

Simulating Sustainability

Einsatzmöglichkeiten von Simulationssoftware zur Bewertung und Entscheidungsunterstützung von betrieblichem Prozessrefactoring im Hinblick auf den Nachhaltigkeitsgedanken

Konzeption und prototypische Entwicklung einer Software zur Optimierung ökologischer, ökonomischer und sozialer Faktoren im betrieblichen Kontext und Evaluierung ihrer Wertkorrelationen

An der Universität Hamburg eingereichte

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Dr. rer. nat.

an der Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften

eingereicht beim Fach-Promotionsausschuss Informatik von

Andi H. Widok

Berlin/Hamburg, August 2016

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. Bernd Page
Fachbereich Informatik
Arbeitsbereich Modellbildung und Simulation (MBS)
Universität Hamburg

Prof. Dr. Volker Wohlgemuth
Fachbereich 2 - Ingenieurwissenschaften - Technik und Leben
Arbeitsbereich Betriebliche Umweltinformatik (BUI)
Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

Prof. Dr. Winfried Lamersdorf
Fachbereich Informatik
Arbeitsbereich Verteilte Systeme und Informationssysteme (VSIS)
Universität Hamburg

Vorsitzender der Prüfungskommission:

Prof. Dr. Matthias Rarey
Fach-Promotionsausschussvorsitzender Informatik
Zentrum für Bioinformatik
Universität Hamburg

Tag der Disputation:

Mittwoch, den 1. Februar 2017 (12:00 Uhr)

am Informatikum der Universität Hamburg, Raum G-102,
Vogt-Kölln-Str. 30, 22527 Hamburg

Vorwort

Bei der vorgelegten Arbeit handelt es sich um eine Monographie, die eine Fragestellung der betrieblichen Umweltinformatik und Modellbildung/Simulation berührt, welche bisher nicht zufriedenstellend gelöst und durch Simulationswerkzeuge unterstützt werden konnte. Es handelt sich im Kern um die Frage, wie die soziale Säule der Nachhaltigkeit in einem integrierten Simulationsmodell abgebildet werden kann, um eine ganzheitliche Analyse und Bewertung von betrieblichen Produktionssystemen, d.h. unter gleichrangiger Beachtung von ökonomischen, ökologischen und sozialen Kriterien, zu erlauben. Dabei werden sowohl Aspekte der Nachhaltigkeitswissenschaften in Bezug auf die Messung und Bewertung von sozialen Aspekten als auch Fragestellungen der Angewandten Informatik, im Besonderen der Modellbildung und Simulation, hinsichtlich einer integrativen Modellierungsmöglichkeit aller Aspekte der Nachhaltigkeit in einem Simulationsmodell bei Beachtung softwarearchitektonischer Belange und unter Usabilitygesichtspunkten berührt.

Die Motivation der Arbeit liegt in dem Wunsch, die soziale Seite der Nachhaltigkeit besser bei betrieblichen Entscheidungen mit einbeziehen zu können, als dies bisher der Fall ist. Dementsprechend muss die Arbeit auf Seite des Anwendungsgebietes der Produktionssimulation einen starken Fokus auf die Abbildung sozialer Kriterien legen, was sich auch daraus ergibt, dass die Beachtung sozialer Entscheidungskriterien und ihre wissenschaftliche Aufarbeitung im Kontext der Simulation von Produktionssystemen hinter ökologischen und ökologischen Kriterien zurückbleiben. In diesem Sinne hat der Autor in seiner Arbeit eine Softwareunterstützung konzipiert und entwickelt, die komponentenbasiert die Definition, Parametrisierung und Simulation insbesondere auch sozialer Kriterien bei der Analyse betrieblicher Produktionsprozesse ermöglicht. Damit steht die Arbeit in direkter Tradition zu den Arbeiten, die in den letzten Jahren am ehemaligen Arbeitsbereichs ASI des Fachbereichs Informatik der Universität Hamburg begonnen und an der Hochschule für Technik und Wirtschaft im Studiengang Betriebliche Umweltinformatik weiterentwickelt wurden. Sie setzt zudem auf den Ergebnissen meines Dissertationsprojektes auf, das die ökologische mit der ökonomischen Säule der Nachhaltigkeit in einem komponentenbasierten Simulationsansatz erschlossen hat, und erweitert diese nun um die sozialen Aspekte. Damit gelingt es erstmalig, in einem ganzheitlichen Modellierungsansatz alle Säulen der Nachhaltigkeit für die Simulation von Produktionssystemen zu erschließen, ohne eine Modellkopplung über Schnittstellen implementieren zu müssen. Dies wird sicherlich die wissenschaftliche Diskussion innerhalb der betrieblichen Umweltinformatik weiter inspirieren.

Berlin, im Mai 2017

Prof. Dr. Volker Wohlgemuth

Betriebliche Umweltinformatik

Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Berlin

Zusammenfassung

Im Rahmen der Arbeit wird ein Konzept entwickelt und prototypisch realisiert, welches das Weltbild der Modellierung und Simulation mit der sozialen Perspektive von Produktion verknüpft. Dabei ist zu bedenken, dass sich der klassische Fokus der Produktionssimulation hinsichtlich ökonomischer Messgrößen (Optimierung der In- und Outputrelationen, Kosten, Durchlaufzeiten, Auslastung von Lagern, Maschinen und Ressourcen) in den letzten zwei Jahrzehnten zur Integration auch ökologischer Messgrößen (stärkerer Fokus auf Material- und Stoffflüsse, Emissionen, Abfall) gewandelt hat. Der Innovationsgehalt der Arbeit liegt nun darin, diese bestehenden Perspektiven zusätzlich mit einer sozialen Perspektive zu verbinden und so ökonomische, ökologische und soziale Aspekte von Produktionen in einem einzigen Simulationsmodell abbilden zu können. In dem Maße, wie dadurch auch integrative Vergleichsanalysen ermöglicht werden, ist es ferner ein Ansatz, um dem Ideal einer ganzheitlichen, nachhaltigen Sichtweise auf Produktionssysteme näher zu kommen.

Im Zuge der Arbeit wird eine prinzipielle Vorgehensweise zur Nachhaltigkeitsoptimierung in Produktionsbetrieben diskutiert, in der die Simulation als ein Baustein genutzt wird. Es wird eine Kennzahl zur Bestimmung einer aggregierten sozialen Wirkung erarbeitet. Der starke Fokus der Arbeit auf soziale Kriterien ergibt sich dabei daraus, dass diese bisher in ihrer wissenschaftlichen Aufarbeitung, im Anwendungskontext, hinter ökonomischen und ökologischen Kriterien zurückblieben. Einen großen Teil der Arbeit bilden schließlich die Konzeption und Entwicklung von verschiedenen Softwarekomponenten, die die Definition, Parametrisierung und Simulation der sozialen Kriterien in einem Simulationsmodell ermöglichen. Die entwickelten Komponenten erweitern dabei die bestehende Simulationssoftware um einen weiteren Blickwinkel und sollen so den sozialen Bereich exemplarisch erschließen.

Sowohl die Entwicklung als auch die Verwendung der Komponenten werden innerhalb der Arbeit anhand eines Beispiels in der Kunststoffherstellung/-technik demonstriert. Anhand dieses Praxisbeispiels werden die Vorteile der Verwendung der Simulationstechnik im Anwendungsrahmen aufgezeigt, ohne dabei die kritische Diskussion der Ergebnisse und des Ansatzes im Generellen zu vernachlässigen.

Diese Arbeit untersucht die informationstechnische Aufbereitung sozialer Kriterien im Kontext der Simulation von Produktionsbetrieben. Dabei stehen die Forschungsfragen der generellen Machbarkeit, einer möglichen Kategorisierung bzw. Abgrenzung von geeigneten Kriterien, der Verfahren ihrer Inklusion, sowie einem Proof of Concept im Vordergrund. Darüber hinaus sind diese Fragen eingebettet in eine umfassendere Sichtweise einer nachhaltigen Verbesserungsstrategie, wobei die soziale Ebene einen Blickwinkel dieser darstellt. Der besondere Fokus auf den sozialen Blickwinkel der Nachhaltigkeit ergibt sich aus seiner bisherigen ungenügenden Aufarbeitung im Kontext der Simulation von Produktionsbetrieben.

Abstract

In this thesis a concept is developed and based on a prototype implemented, which combines the aspects of modelling and simulation with a social perspective for manufacturing entities. In this context one has to consider that the classical focus of manufacturing simulation, which was largely based on economical values (such as the optimization of input, output relations, costs, throughput times, storage utilization and maximization, as well as machines and resources) changed in the last two decades, which included a higher focus on environmental key figures (such as material and substance flows, emissions, waste, etc.). The innovation of this thesis is based on the addition of another perspective (i.e. the social perspective) within a singular modelling approach and hence combine economic, environmental and social perceptions of manufacturing entities in an integrated modelling and simulation approach. Considering the possible evaluation of integrated comparisons of these different perspectives, it is furthermore an approach to come closer to the ideal of holistic and sustainable perceptions of manufacturing systems.

In this regard, this thesis provides a general approach for sustainability optimization in manufacturing entities which uses simulation as a building block for the evaluation and comparison of different measures. Furthermore a key figure for the aggregated social impacts is developed. The strong focus of the thesis on social criteria is largely deduced by the fact that social impacts in manufacturing entities are lacking conceptual clarity and operational measuring approaches. This does not imply, that there are none, quite the opposite, however different scientific concepts and different operational approaches have yet to mature and improve on validity, especially in the given domain of manufacturing simulation. Following these convictions, a big part of the thesis focusses on the conceptualization and implementation of different software components that allow the definition parametrization and simulation of different social criteria in a simulation model. These developed components are expanding the existing simulation software by an additional angle and are hence intended to exemplarily develop the social field in manufacturing simulation.

The development, as well as the usage of the different components are furthermore explained on a use case in the plastic fabrication industry. Based on this operational example, the benefits of this approach are demonstrated, without ignoring a following general critical discussion of the approach, as well as the existing and possible results.

In addition, the modelling and formalization of social aspects is discussed from a general point of view and in manufacturing entities in particular. In this context the research issues of general feasibility, possible categorization, the delimitation of social criteria and lastly the proof of concept of the integration of social criteria in a modelling and simulation approach for manufacturing entities are paramount.

Inhaltsübersicht

<u>Vorwort</u>	<u>I</u>
<u>Zusammenfassung</u>	<u>II</u>
<u>Abstract</u>	<u>III</u>
<u>Inhaltsübersicht</u>	<u>IV</u>
<u>Inhaltsverzeichnis</u>	<u>VII</u>
<u>Abbildungsverzeichnis</u>	<u>XIII</u>
<u>Tabellenverzeichnis</u>	<u>XVI</u>
<u>Abkürzungsverzeichnis</u>	<u>XVII</u>
<u>Danksagung</u>	<u>XIX</u>
<u>1 Einleitung</u>	<u>1</u>
<u>2 Modellierung und Simulation im Kontext der Optimierung von betrieblicher Produktion</u>	<u>13</u>
<u>3 Nachhaltigkeit als normatives Leitbild betrieblicher Restrukturierung</u>	<u>58</u>
<u>4 Integration des Sozialen in die Simulation von Produktionsbetrieben</u>	<u>100</u>
<u>5 Konzeption und Entwurf der neuen Softwareelemente für die Produktionssimulation</u>	<u>158</u>
<u>6 Prototypische Umsetzung und Leistungsspektrum</u>	<u>195</u>
<u>7 Anwendungsbeispiele und aufbereitete Ergebnisse</u>	<u>216</u>
<u>8 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen</u>	<u>237</u>
<u>Anhang A – Funktionale Anforderungen</u>	<u>253</u>
<u>Anhang B – Datenmodelle des Prototyps</u>	<u>261</u>
<u>Anhang C – Abhängigkeitsgraphen der neuen Projekte</u>	<u>265</u>
<u>Anhang D – Fallbeispiel-Modelle</u>	<u>267</u>
<u>Anhang F – Vollständige Liste der aus der Dissertation hervorgegangenen Veröffentlichungen</u>	<u>274</u>
<u>Anhang G – Kurzzusammenfassung der Ergebnisse in deutscher und englischer Sprache</u>	<u>275</u>
<u>Literaturverzeichnis</u>	<u>276</u>
<u>Eidesstattliche Versicherung</u>	<u>320</u>

Inhaltsverzeichnis

VORWORT	I
ZUSAMMENFASSUNG	II
ABSTRACT	III
INHALTSÜBERSICHT	IV
INHALTSVERZEICHNIS	VII
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	XIII
TABELLENVERZEICHNIS	XVI
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	XVII
DANKSAGUNG	XIX

1	<u>EINLEITUNG</u>	1
1.1	MOTIVATION UND PROBLEMSTELLUNG	1
1.1.1	EINFÜHRUNG	1
1.1.2	MOTIVATION	2
1.1.3	PROBLEMSTELLUNG	6
1.2	ABGRENZUNG UND ZIELSETZUNG	7
1.2.1	ABGRENZUNG	7
1.2.2	ZIELSETZUNG	10
1.3	VORGEHENSWEISE UND AUFBAU DER ARBEIT	11
1.3.1	VORGEHENSWEISE	11
1.3.2	AUFBAU DER ARBEIT	12
2	<u>MODELLIERUNG UND SIMULATION IM KONTEXT DER OPTIMIERUNG VON BETRIEBLICHER PRODUKTION</u>	13
2.1	EINFÜHRUNG	13
2.2	INHALT UND IMPLIKATIONEN DER BEGRIFFE MODELLIERUNG UND SIMULATION	14
2.2.1	DEFINITIONEN UND FACHBEGRIFFE	14
2.2.1.1	System	14
2.2.1.2	Modell	17
2.2.1.3	Prozess	18
2.2.1.4	Dynamik	19
2.2.1.5	Experiment	21
2.2.1.6	Simulation	21
2.2.1.7	Validierung und Verifikation	22
2.2.2	GRUNDLAGEN DER ANWENDUNG DER MODELLBILDUNG UND SIMULATIONEN	23
2.2.2.1	Gründe für den Einsatz von Simulation	23
2.2.2.2	Ziele und Nutzen der Simulation	23
2.2.2.3	Schwachstellen und Nachteile der Simulation	25
2.2.2.4	Modellierungs- und Simulationsprozess	27
2.3	SIMULATION UND OPTIMIERUNG	30
2.3.1	GRUNDSÄTZLICHES ZU SIMULATION UND OPTIMIERUNG	30

2.3.1.1	Einführung	30
2.3.1.2	Optimierungsprobleme	31
2.3.1.3	Komplexität diskreter Optimierungsprobleme	33
2.3.1.4	Überblick Optimierungsverfahren	34
2.3.2	MULTI-KRITERIEN OPTIMIERUNG	35
2.3.2.1	Charakteristika multikriterieller Optimierung	35
2.3.2.2	Ersatzzielbildung und Normierung bei komplexen Problemen	36
2.3.2.3	Vorgehen bei schwer miteinander vergleichbaren Zielstellungen	38
2.4	ANWENDUNG VON SIMULATIONSVERFAHREN IM BETRIEBLICHEN KONTEXT	39
2.4.1	SYSTEMTHEORETISCHE BETRACHTUNG VON BETRIEBEN & BETRIEBLICHER PRODUKTION	39
2.4.1.1	Einführung	39
2.4.1.2	Definitionen und Abgrenzung	39
2.4.1.3	Betriebliche Umsysteme und Spannungsfelder	40
2.4.1.4	Dynamische Betrachtung	42
2.4.2	ANWENDUNG DER MODELLBILDUNG UND SIMULATION IN DER PRODUKTION	44
2.4.2.1	Prinzipielle Einsatzfelder und Einsatzziele	44
2.4.2.2	Übliche Modellelemente und Komponenten	45
2.4.2.3	Anforderungen bei der Simulation von Produktionsbetrieben	46
2.4.2.4	Generelles Anwendungsbeispiel und spezifische Anforderungen	48
2.4.3	AKTUELLE BEISPIELE DES EINSATZES VON SIMULATION IN PRODUKTION & LOGISTIK	50
2.4.3.1	Einführung	50
2.4.3.2	Entwicklungstendenzen und bezugnehmende Beispiele	51
2.4.3.3	Relevante systemtheoretische Bezüge ausgewählter Beispiele	55
2.4.3.4	Zusammenfassung und Überleitung	57
3	<u>NACHHALTIGKEIT ALS NORMATIVES LEITBILD</u>	
	<u>BETRIEBLICHER RESTRUKTURIERUNG</u>	58
3.1	INHALT UND IMPLIKATIONEN DES BEGRIFFES „NACHHALTIGKEIT“	58
3.1.1	URSPRUNG, DEFINITIONEN UND PRINZIPIELLE ANSÄTZE	58
3.1.1.1	Einführung	58
3.1.1.2	Trennung der Begriffe „Nachhaltige Entwicklung“ und „Nachhaltigkeit“	59
3.1.1.3	Hintergründe und Definitionen von Nachhaltigkeit	60
3.1.1.4	Kapitalansätze als Bestimmungsgrundlage der zu erhaltenden „Werte“	63
3.1.1.5	Grundsätzliche Strategien zur Förderung von Nachhaltigkeit	64
3.1.2	VON KLASSISCHEN MODELLEN ZU NEUEN ANSÄTZEN	65
3.1.2.1	Ausgangsbasis Drei-Säulen-Modell	65
3.1.2.2	Nachhaltigkeitsdreieck und wohlfahrtsökonomische Nutzenfunktionen	66
3.1.2.3	Starke und schwache Nachhaltigkeit	69
3.1.2.4	Nachhaltigkeitsrahmenwerke und Ausdifferenzierung der Dimensionen	71
3.1.2.5	Von Entwicklungspolitik zu betrieblicher Nachhaltigkeit	73
3.2	NACHHALTIGKEIT IM BETRIEBLICHEN KONTEXT	75
3.2.1	DIFFERENZIERTE BETRACHTUNG VON NACHHALTIGKEIT IN BETRIEBEN	75
3.2.1.1	Einführung in die Strategien betrieblicher Nachhaltigkeit	75
3.2.1.2	Ökologische Nachhaltigkeit und die stoffliche Perspektive betrieblichen Wirkens	77
3.2.1.3	Von volkswirtschaftlicher Veränderung zur Nachhaltigkeit betrieblichen Wirtschaftens	80

3.2.1.4	Soziale Nachhaltigkeit im betrieblichen Kontext	83
3.2.2	VERFAHREN DER BETRIEBLICHEN NACHHALTIGKEIT MIT SIMULATIONSBEZUG	85
3.2.2.1	Vorarbeiten und Einführung	85
3.2.2.2	Rahmenwerke und kennzahlenbasierte Instrumente	86
3.2.2.3	Auf Lebenszyklus-Analyse basierende Konzepte	89
3.2.2.4	Nachhaltigkeitsoptimierung durch Simulationsanalysen von Systemen	91
3.2.2.5	Zusammenfassung	93
3.3	ABGRENZUNG DES NACHHALTIGKEITSKONZEPTE FÜR DIE SOFTWAREERSTELLUNG	95
3.3.1	ZUSAMMENFASSUNG DER HERAUSFORDERUNGEN UND PROBLEME	95
3.3.1.1	Vorbemerkung	95
3.3.1.2	Definitionsproblematik	95
3.3.1.3	Zeitneutrale Mess- und Bewertungsproblematik	95
3.3.1.4	Zeitabhängige Mess- und Bewertungsproblematik - Historizität	96
3.3.1.5	Herausforderungen an die Modellierung und Simulationssysteme	97
3.3.2	VERFOLGTER ANSATZ ZUR BEWERTUNG VON BETRIEBLICHER NACHHALTIGKEIT	98
3.3.2.1	Abschließende Definitionsbestimmung	98
3.3.2.2	Ebenenprinzip, Systemtheorie, Ganzheitlichkeit	98
3.3.2.3	Ausdifferenzierung des Kapitalansatzes und Indikatorbildung	99
3.3.2.4	Parameterabgrenzung und Bewertung	99
3.3.2.5	Simulation, Optimierung und Management	99
3.3.2.6	Soziale Seite der Nachhaltigkeit	99
4	<u>INTEGRATION DES SOZIALEN IN DIE SIMULATION VON PRODUKTIONSBETRIEBEN</u>	100
4.1	DEFINITIONEN UND ABGRENZUNG SOZIALER NACHHALTIGKEIT	100
4.1.1	EINFÜHRUNG	100
4.1.1.1	Zur Notwendigkeit der Detailbetrachtung des Sozialen	100
4.1.1.2	Einleitende begriffliche Abgrenzung	103
4.1.2	HAUPTUNTERSCHIEDE DES SOZIALEN ZU ANDEREN NACHHALTIGKEITSDIMENSIONEN	104
4.1.2.1	Relativität – Erhöhte Abhängigkeit von kulturellen/regionalen Räumen	104
4.1.2.2	Multi-Polarität der sozialen Dimension	106
4.1.2.3	Komplexität und Unbestimmtheit der Wirkungszusammenhänge	107
4.1.2.4	Schwierigkeit der Kategorisierung und Themenvielfalt	108
4.1.2.5	Probleme der Quantifizierbarkeit	109
4.1.2.6	Schwierigkeit von Messungen und der Datenaufnahme	111
4.1.2.7	Probleme durch Zuständigkeitsvielfalt, -überschneidung, und -unklarheit	112
4.1.2.8	Zusammenfassung der Herausforderung einer allgemeingültigen Definition	113
4.1.3	INHALT UND IMPLIKATIONEN SOZIALER NACHHALTIGKEIT UND SOZIALEN KAPITALS	115
4.1.3.1	Einführung und Ausblick	115
4.1.3.2	Einleitende Hinweise auf Definitionen sozialer Nachhaltigkeit	116
4.1.3.3	Theoretische Unterschiede sozialen Kapitals und sozialer Nachhaltigkeit	117
4.1.3.4	Bestimmung sozialer Kategorien und Indikatoren durch Stakeholderbezüge	122
4.1.3.5	Definition sozialer Indikatoren, ein industrielles Vorgehensbeispiel	124
4.1.3.6	Zusammenfassung	125
4.2	KONKRETISIERUNG SOZIALER ASPEKTE AUF BETRIEBS-/PRODUKTIONSEBENE	127

4.2.1	DIFFERENZIERTE BETRACHTUNG SOZIALER ASPEKTE IN DER PRODUKTION	127
4.2.1.1	Spezifizierung der Messbarkeit von Sozialkapital in der Produktion	127
4.2.1.2	Spezifizierung der Messbarkeit von Humankapital in der Produktion	130
4.2.1.3	Konkretisierung weiterer sozialer Aspekte mit Produktionsbezug	134
4.2.1.4	Zusammenfassung relevanter sozialer Inhalte auf Produktionsebene	137
4.2.2	RELEVANTE VERFAHREN DES BETRIEBLICHEN MANagements SOZIALER ASPEKTE MIT ÜBERSCHNEIDUNGSPUNKTEN ZUM VERFOLGTEN SIMULATIONSANSATZ	139
4.2.2.1	Überblick und Kategorisierung betrieblicher Konzepte und Instrumente	139
4.2.2.2	Überschneidungspunkte zu Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin	140
4.2.2.3	Überschneidungspunkte zu statistischen Verfahren	141
4.2.2.4	Überschneidungspunkte zu SIA und Anspruchsgruppendefinitionen	142
4.2.2.5	Überschneidungspunkte zu Social LCA und Environmental LCA	143
4.2.2.6	Überschneidungspunkte zu Managementansätzen (Anlehnung an CSR)	144
4.2.2.7	Zusammenfassung der Anknüpfungs- und Überschneidungspunkte	146
4.3	ABGRENZUNG SOZIALER NACHHALTIGKEIT FÜR DIESE ARBEIT UND ZUR NUTZUNG IN KOMBINATION MIT DER PRODUKTIONSSIMULATION	147
4.3.1	ZUSAMMENFASSUNG DER HERAUSFORDERUNGEN UND PROBLEME	147
4.3.1.1	Vorbemerkung	147
4.3.1.2	Multipolarität, Kulturelle Relativität und Anspruchsgruppenbildung	147
4.3.1.3	Probleme der Messbarkeit, Bewertungen und Vergleiche des Sozialen	147
4.3.1.4	Aggregationsprobleme des Kapitalansatzes im Kontext des Sozialen	148
4.3.2	VERFOLGTER ANSATZ ZUR BEWERTUNG SOZIALER NACHHALTIGKEIT IM KONTEXT DER PRODUKTIONSSIMULATION	148
4.3.2.1	Definition sozialer Kapitalstöcke als inhaltliche Indikatorgrundlage	148
4.3.2.2	Abschließende Definition sozialer Nachhaltigkeit	150
4.3.2.3	Relatives Aggregationsprinzip zur Messung sozialer Nachhaltigkeit	150
4.3.2.4	Integrative Betrachtung der drei Nachhaltigkeitssäulen in einem Modell	152
4.3.2.5	Nutzung des Simulationsansatzes bzgl. des Nachhaltigkeitsmanagements	153
4.3.2.6	Abgrenzung des Ansatzes gegen bestehende Verfahren und aktuelle Veröffentlichungen	154
5	<u>KONZEPTION UND ENTWURF DER NEUEN SOFTWAREELEMENTE FÜR DIE PRODUKTIONSSIMULATION</u>	158
5.1	VORARBEITEN ZUR SIMULATIONSSOFTWARE	158
5.1.1	KONZEPTIONELLE VORARBEITEN	158
5.1.1.1	Vorbemerkung	158
5.1.1.2	Verbindung von DES und MFA	158
5.1.1.3	Verbindung von DES, MFA und LCA	158
5.1.1.4	Evaluierung der Integration sozialer Aspekte	158
5.1.2	SOFTWARETECHNISCHE VORARBEITEN	159
5.1.2.1	Komponentenorientierter Ansatz als Ausgangsbasis	159
5.1.2.2	Erste Neuentwicklung in einer Plugin-Architektur für Windows-Systeme	159
5.1.2.3	Zweite Neuentwicklung Windows Presentation Foundation, Data binding	159
5.2	METHODISCHE KONZEPTION	160
5.2.1	EINLEITENDER ÜBERBLICK ÜBER DIE KONZEPTION	160
5.2.1.1	Zusammenfassung der Ziele und Restriktionen	160

5.2.1.2	Verständnisbildender Überblick zum Modellierungs-Ablauf	161
5.2.1.3	Grundsätzlicher Berechnungsablauf	162
5.2.2	BERECHNUNG SOZIALER EINFLÜSSE	163
5.2.2.1	Überblick über die Quantifizierung von sozialen Einflüssen	163
5.2.2.2	Beispielrechnung von Risikowerten und Aggregation von Abweichungen	168
5.2.2.3	Belastungsanstieg und Erholungsrate	170
5.2.3	ZUWEISUNG SOZIALER EINFLÜSSE	173
5.2.3.1	Zuweisung von Tätigkeitseinflüsse	173
5.2.3.2	Zuweisung von Interaktionseinflüssen	173
5.2.4	AUSWERTUNG UND ERGEBNISSE	174
5.2.4.1	Neue Anforderungen an Simulationsergebnisse bzgl. sozialer Einflüsse	174
5.2.4.2	Auswertungen und Ergebnisse	174
5.3	SOFTWARETECHNISCHE KONZEPTION UND ANFORDERUNGSANALYSE	175
5.3.1	ANFORDERUNGSDEFINITION	175
5.3.1.1	Vorbemerkung	175
5.3.1.2	Anforderungs- und Anwendungsfallbeschreibung	175
5.3.1.3	Definition der grundsätzlichen funktionalen Anforderungen	179
5.3.1.4	Definition der nicht funktionalen Anforderungen	180
5.3.1.5	Abweichungsanalyse (Bestandsaufnahme, Soll-/Ist-Vergleich)	180
5.3.2	SCHNITTSTELLEDEFINITION, DATEN- UND INTERAKTIONSMODELLE	183
5.3.2.1	Domänenübersicht	183
5.3.2.2	Datenmodelle	184
5.3.2.3	Stakeholder-Abgrenzung und Nutzer-Interaktion	185
5.3.2.4	Initial konzipierte interne Datenschnittstellen	188
5.3.2.5	Externe Datenschnittstellen	188
5.3.3	ABGRENZUNG DER PROTOTYPISCHEN UMSETZUNG	189
5.3.3.1	Ziel der prototypischen Umsetzung	189
5.3.3.2	Anforderungen der prototypischen Umsetzung	189
5.3.3.3	Einschränkungen der prototypischen Umsetzung und Machbarkeitsanalyse	190
5.3.4	ZUSAMMENFASSUNG	192
5.3.4.1	Ressourcenorientierung der softwaretechnischen Umsetzung	192
5.3.4.2	Modellierung und Berechnung von Tätigkeitseinflüssen	192
5.3.4.3	Modellierung und Berechnung von Interaktionseinflüssen	193
5.3.4.4	(S-)LCA Daten und betriebsexternes Wirken	194
6	<u>PROTOTYPISCHE UMSETZUNG UND LEISTUNGSSPEKTRUM</u>	195
6.1	SOFTWARETECHNISCHE GRUNDLAGEN UND ENTWICKLUNGSHINTERGRÜNDE	195
6.1.1	ENTWICKLUNGSSPEZIFISCHE GRUNDLAGEN UND GENUTZTE SYSTEME	195
6.1.1.1	Vorbemerkung	195
6.1.1.2	.Net Framework und Programmiersprache C#	195
6.1.1.3	Windows Presentation Foundation als Grundlage des Prototyps	196
6.1.1.4	Caliburn Micro zur Vereinfachung von Zuweisungen	196
6.1.1.5	LINQ zur Vereinheitlichung von Datenabfragen	197
6.1.1.6	JSON zur Persistierung	197
6.1.2	TESTGETRIEBENE ENTWICKLUNG MIT VISUAL STUDIO 2015 UND DOTCOVER	198

6.1.2.1	Kurzbeschreibung testgetriebener Entwicklung	198
6.1.2.2	ReSharper, dotCover und Testabdeckung	198
6.1.3	SOFTWAREARCHITEKTUR UND HIERARCHIEN	200
6.1.3.1	Hintergründe zum grundsätzlichen Aufbau der Software	200
6.1.3.2	Projektspezifische Zusammenfassung von Ressourcen und Einflüssen	200
6.1.3.3	Ressourcen- und Einfluss-Projekte und Projektabhängigkeiten	201
6.1.3.4	Interne Abhängigkeiten und hierarchische Struktur der neuen Elemente	201
6.2	FUNKTIONALITÄTSUMFANG DES PROTOTYPS	203
6.2.1	MODELLERSTELLUNG UND PARAMETRISIERUNG	203
6.2.1.1	Generelle Beschreibung der Modellerstellung	203
6.2.1.2	Initiale Definition von Einflüssen und tätigkeitsbezogene Parametrisierung	205
6.2.1.3	Parametrisierung von ressourcentypspezifischen Einflüssen	208
6.2.2	DURCHFÜHRUNG VON SIMULATIONSEXPERIMENTEN	211
6.2.2.1	Einstellung der Experimentparameter	211
6.2.2.2	Grundlagen der Simulationsergebnisse, Observer-Klassen	212
6.2.2.3	Verweildauer von Ressourcen, Ergebniserstellung und -bereitstellung	213
6.2.2.4	Experimentergebnisse	214
7	<u>ANWENDUNGSBEISPIELE UND AUFBEREITETE ERGEBNISSE</u>	216
7.1	FALLBEISPIEL IN DER NOVAPAX GMBH	216
7.1.1	EINLEITUNG UND ANWENDUNGSFALLBESCHREIBUNG	216
7.1.1.1	Firmenprofil und Ausgangssituation	216
7.1.1.2	Generelle Informationen zu den erhobenen Daten und Vorgehensweisen	217
7.1.1.3	Untersuchungsfallbeschreibung und Fragestellungen	218
7.1.2	MODELLERSTELLUNG UND SIMULATIONSABLAUF	219
7.1.2.1	Einleitung und Datenaufbereitung	219
7.1.2.2	Modelleigenschaften und untersuchungsrelevante Aspekte der Produktion	221
7.1.2.3	Grundlagen für die Eruiierung der sozialen Perspektive der Produktion	224
7.1.3	SIMULATIONSERGEBNISSE UND VALIDIERUNG	226
7.1.3.1	Ergebnisse der Untersuchungsfragestellung zu den Hebevorgängen	226
7.1.3.2	Ergebnisse zu den Unterschieden zwischen Männer und Frauen	228
7.1.3.3	Adaption der Ergebnisse hinsichtlich einer Nachhaltigkeitsbetrachtung	229
7.2	FALLBEISPIEL ERK ECKROHRKESSEL GMBH	231
7.2.1	EINLEITUNG UND ANWENDUNGSFALLBESCHREIBUNG	231
7.2.1.1	Firmenprofil und Ausgangssituation	231
7.2.1.2	Untersuchungsfallbeschreibung und Fragestellungen	232
7.2.2	MODELLERSTELLUNG UND SIMULATIONSABLAUF	233
7.2.2.1	Einleitung und Datenaufbereitung	233
7.2.2.2	Modelleigenschaften und Untersuchungsrelevante Fragestellungen	233
7.2.2.3	Bestimmung der Belastungsraten zur Modellierung der sozialen Aspekte	235
7.2.3	ERGEBNISSE UND BEURTEILUNG	236
7.2.3.1	Ergebnisse der Untersuchungsfragestellung	236
7.2.3.2	Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbetrachtung	236

8	ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	237
8.1	ZUSAMMENFASSUNG DER DISSERTATION	237
8.1.1	THEMENSCHWERPUNKTE DER ARBEIT	237
8.1.2	ZIELABGLEICH DER ARBEIT	238
8.2	DISKUSSION UND KRITISCHE AUSEINANDERSETZUNG MIT DEN ERGEBNISSEN	239
8.2.1	STILISTISCHE HINTERFRAGUNG VON KAPITALANSÄTZEN ZUR INDIKATORDEFINITION	239
8.2.2	VALIDIERUNG VON EINFLUSSAUSWIRKUNGEN UND INTERAKTIONSEINFLÜSSEN	239
8.2.3	FEHLENDE INTEGRATION VON S-LCA-DATEN UND BERECHNUNGEN	240
8.2.4	REDUZIERUNG DER FALLBEISPIELE AUF ERGONOMISCHE ASPEKTE	240
8.2.5	AUTOMATISIERUNG VON GRENZWERTEN STOFFLICHER INTERAKTIONEN	241
8.2.6	EINBINDUNG VON MENSCHENBEZOGENEN PRODUKTIVITÄTSKRITERIEN	241
8.2.7	ERGONOMIE AM PRODUKTIONSSTANDORT DEUTSCHLAND	242
8.2.8	HINTERFRAGUNG DER OPERATIONALISIERBARKEIT VON NACHHALTIGKEIT	243
8.3	INNOVATIVE BEITRÄGE UND ANKNÜPFUNGSPUNKTE ZUKÜNFTIGER FORSCHUNG	244
8.3.1	INNOVATIVE BEITRÄGE DER ARBEIT UND GRUNDSÄTZLICHE ANKNÜPFUNGSPUNKTE	244
8.3.2	AUSBLICK AUF ANSTEHENDE WEITERENTWICKLUNGEN DES PROTOTYPS	248
8.3.3	WEITERFÜHRENDE ANKNÜPFUNGSPUNKTE FÜR ZUKÜNFTIGE FORSCHUNGEN	249
8.3.4	ZUR UTOPIE EINER GESUNDHEITSORIENTIERTEN ARBEITSWELT	250
	ANHANG A – FUNKTIONALE ANFORDERUNGEN	253
	ANHANG B – DATENMODELLE DES PROTOTYPS	261
	ANHANG C – ABHÄNGIGKEITSGRAPHEN DER NEUEN PROJEKTE	265
	ANHANG D – FALLBEISPIEL-MODELLE	267
	ANHANG F – VOLLSTÄNDIGE LISTE DER AUS DER DISSERTATION HERVORGEGANGENEN VERÖFFENTLICHUNGEN	274
	ANHANG G – KURZZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE IN DEUTSCHER UND ENGLISCHER SPRACHE	275
	LITERATURVERZEICHNIS	276
	EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG	320

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Arbeitsunfähigkeit 2013 - Welche Krankheit, wie lange</i>	3
<i>Abbildung 2: Initiale Abgrenzung der Inhalte dieser Arbeit</i>	7
<i>Abbildung 3: Aufbau der Arbeit</i>	12
<i>Abbildung 4: Grundlegende Systembegriffe</i>	16
<i>Abbildung 5: Modell als Abbildung eines Systems</i>	17
<i>Abbildung 6: Simple Prozessansicht</i>	18
<i>Abbildung 7: Prozess innerhalb eines Systems</i>	19
<i>Abbildung 8: Diskrete und kontinuierliche Zeitfortschritte</i>	20
<i>Abbildung 9: Ereignis, Aktivität und Prozess am Beispiel Auftragsbearbeitung</i>	20
<i>Abbildung 10: Validierung und Verifikation</i>	22
<i>Abbildung 11: Ablaufplan einer Simulationsstudie</i>	27
<i>Abbildung 12: Optimierungsverfahren</i>	34
<i>Abbildung 13: Optimierung mit mehreren Zielen und einer Variable</i>	35
<i>Abbildung 14: Bewertungshierarchie für eine Nutzwertanalyse</i>	38
<i>Abbildung 15: Systemtheoretische Wahrnehmung von Betrieben – Fokus Umsysteme</i>	40
<i>Abbildung 16: Systemtheoretische Wahrnehmung von Betrieben – Fokus Betriebe</i>	41
<i>Abbildung 17: Systemtheoretische Wahrnehmung von Betrieben – Fokus Produktion</i>	43
<i>Abbildung 18: Typische Modellelemente in der Produktion</i>	45
<i>Abbildung 19: Ausschnitt einer Produktionsanlage mit exemplarischer Darstellung</i>	48
<i>Abbildung 20: Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit</i>	65
<i>Abbildung 21: Nachhaltigkeitsrahmenwerk</i>	66
<i>Abbildung 22: Visualisierung und „Berechnung“ von Nachhaltigkeit am Nachhaltigkeitsdreieck</i>	68
<i>Abbildung 23: Visualisierung von Ergebnissen eines Rahmenwerkes</i>	71
<i>Abbildung 24: Effizienz, Suffizienz und Konsistenz</i>	76
<i>Abbildung 25: Stoffstrommanagement</i>	78
<i>Abbildung 26: Grobübersicht betriebliche Perspektive der sozialen Nachhaltigkeit</i>	83
<i>Abbildung 27: Einsatz betrieblicher Nachhaltigkeitsinstrumente</i>	85
<i>Abbildung 28: Assessment framework of operational initiatives</i>	88
<i>Abbildung 29: Aggregation und Kommunikation</i>	93
<i>Abbildung 30: Zeitabhängige Bewertungsproblematik der Nachhaltigkeit von Maßnahmen</i>	96
<i>Abbildung 31: Verschiedene Wahrnehmungen der Wechselwirkungen des Sozialen</i>	106
<i>Abbildung 32: Verschiedene Darstellungsformen sozialen Kapitals</i>	118
<i>Abbildung 33: Zuordnung und Unterschiede des Sozialen in Kapitaltheorie und Nachhaltigkeitstheorie</i>	120
<i>Abbildung 34: Stakeholdergruppen im UNEP/SEPTAC-Framework</i>	122
<i>Abbildung 35: Stärkung von Sozialkapital als positiver Treiber innerbetrieblicher Verbesserungen</i>	127
<i>Abbildung 36: Soziale Wirkungen in der Produktion</i>	138
<i>Abbildung 37: Schematische Darstellung der ISO 26000</i>	144
<i>Abbildung 38: Individuelle Relativität zwischen Einfluss und Schwellwerte</i>	151
<i>Abbildung 39: Stark abstrahierter Ablauf des Zusammenspiels zwischen Modellierung und Simulation</i>	161
<i>Abbildung 40: Einfache Berechnung von Einflüssen, die auf einen Menschen wirken</i>	164
<i>Abbildung 41: Einfache Berechnung von Einflüssen, die auf mehrere Menschen wirken</i>	165
<i>Abbildung 42: Gewichtete Betrachtung mehrerer Menschen und Auswirkungen von Eigenschaften</i>	166
<i>Abbildung 43: Algorithmus der Entstehung des Bewertungsmodells der Ergonomie-Datenbank in einer Laborstudie</i>	167
<i>Abbildung 44: Berechnungsbeispiel eines Hebelast-Einflusses anhand der Leitmerkmalermethode</i>	168
<i>Abbildung 45: Prozentuale Abweichungen zwischen abstrahiertem Risikowert und Schwellwerten</i>	168
<i>Abbildung 46: Einflussteilungsraten und Belastungsraten bei täglichem Ausgleich</i>	170
<i>Abbildung 47: Einflussteilungsraten und Belastungsraten bei wöchentlichem Ausgleich</i>	171
<i>Abbildung 48: Längere Erholungsphase bei reduzierter Belastungsrate und Schichtunterschiede</i>	172

Abbildung 49: Einfluss von Ressourcenverfügbarkeit bzgl. Stress	181
Abbildung 50: Überblick über Elemente der Domäne	183
Abbildung 51: Grober Überblick über die Einflussbezüge der sozialen Domäne	183
Abbildung 52: Relationen zwischen Ressourcenpools, Ressourcentypen und Ressourcen	184
Abbildung 53: Konzeptionelle Implementierung der grundlegenden Klassen der sozialen Perspektive	185
Abbildung 54: Hinweis auf die verschiedenen Dateneingaben (Masken) für verschiedene Nutzer.....	186
Abbildung 55: Initiale Konzeption der Modellierung von Tätigkeits- und Interaktionseinflüssen	187
Abbildung 56: Initiale Konzeption interner Schnittstellen zur Erstellung und Parametrisierung	188
Abbildung 57: Arbeitssystem/Ressourcen	192
Abbildung 58: Unit Test zur Überprüfung, ob Einflüsse mit leerem Namen erstellt werden.....	199
Abbildung 59: Grundsätzlicher Aufbau einer mit Visual Studio erstellten Software-Applikation	200
Abbildung 60: Projektabhängigkeiten der neuen Entwicklungsprojekte	201
Abbildung 61: Abhängigkeitsgraph der neuen Elemente mit Fokus auf die Einflusserstellung.....	202
Abbildung 62: Fokus auf die Abhängigkeiten der ressourcenspezifischen Elemente.....	202
Abbildung 63: Anlegen und Laden eines neuen Produktionsmodells	203
Abbildung 64: Leere Modellierungsansicht der Software.....	203
Abbildung 65: Anlegen von Modellelementen.....	204
Abbildung 66: Beschreibungen der grafischen Modellelemente.....	204
Abbildung 67: Beispielmmodell in MILAN	205
Abbildung 68: Definition und Auswahl eines Tätigkeitseinflusses.....	206
Abbildung 69: Unterschiedliche tätigkeitsbezogene Einflussteilungsraten für den gleichen Einfluss	206
Abbildung 70: Hinzufügen eines InfluenceRateEditorViewModel zum WorkstationEditViewModel	206
Abbildung 71: Ein weiteres ViewModel im Editor, das ChainedParameterSetCommandViewModel.....	207
Abbildung 72: Ressourcentypspezifische Parametrisierung von Einflüssen.....	208
Abbildung 73: Elementare Einflussklassen und -schnittstellen mit Attributen	209
Abbildung 74: Bezugsherstellung von Ressourcentypen und -pools, sowie Auswahl an Arbeitsstationen	209
Abbildung 75: Zuweisung von Ressourcenpools und Ressourcentypen zu Arbeitsstationen	210
Abbildung 76: Experimentieransicht der Simulationssoftware MILAN.....	211
Abbildung 77: ResourceRetentionObserver und seine Abhängigkeiten	212
Abbildung 78: Klassen bzgl. der Zeiten von Ressourcen und zur Einflussrisikowertberechnung.....	213
Abbildung 79: Eine Methode zur Aktualisierung der Statistiken beim Auftreten eines Ereignisses	213
Abbildung 80: Simulationsläufe mit einer Anzahl von Experimenten und Simulationsergebnisse	214
Abbildung 81: Excel-Ergebnis Datei mit Fokus auf Ressourcen-Einflüsse	214
Abbildung 82: Herstellung von Verbundteilen auf Kunststoffbasis	216
Abbildung 83: Möglichkeiten der Modellierung von Belastungsentwicklungen mittels des Prototyps.....	217
Abbildung 84: Maschinenhalle der Novapax GmbH	218
Abbildung 85: Datenaufbereitung und Ableitung von Parametern für die Simulationsmodelle	220
Abbildung 86: Herstellung unterschiedlicher Produkte an einer Maschine	221
Abbildung 87: Screenshot des Infopanel einer genutzten Maschine in der Novapax GmbH	222
Abbildung 88: Ursachen für Ausschuss	222
Abbildung 89: Simulationsevents mit Ressourcenbezug	223
Abbildung 90: Events mit Bezug zu der Wartung von Ereignissen	223
Abbildung 91: Produktionsmodell zur Eruierung physischer Belastungen an Mitarbeiter	224
Abbildung 92: Berechnung der möglichen abstrahierten Risikowerte anhand der Leitmerkalmethode	227
Abbildung 93: Rechnungen mit der Leitmerkalmethode zur Veranschaulichung der Schwachstellen	227
Abbildung 94: Unterschiede von Männern und Frauen hinsichtlich der Hebetätigkeiten.....	228
Abbildung 95: Schwierigkeiten beim Nachhaltigkeitsvergleich von Produktionsprozessen	229
Abbildung 96: Vergleichende Analyse sozialer, ökonomischer und ökologische Prozesskennzahlen	230
Abbildung 97: Nebenformstrukturierungsanlage der EckRohrkessel GmbH.....	231
Abbildung 98: Manuelle Rohrführung in die Nebenformstrukturierungsanlage	232
Abbildung 99: Nachbearbeitungszeiten von bearbeiteten Stahlrohren.....	233
Abbildung 100: Ausgangsmodell zur Überprüfung der Simulierbarkeit der Bearbeitungsprozesse.....	233

<i>Abbildung 101: Verteilungen</i>	234
<i>Abbildung 102: Simulationsmodell ERK mit allen Produkten</i>	234
<i>Abbildung 103: Parametrisierung der Nachbearbeitung</i>	234
<i>Abbildung 104: Evaluation des Risikowertes der Nachbearbeitung anhand der Leitmerkmalmethode</i>	235
<i>Abbildung 105: Vergleichende Analyse sozialer, ökologischer und ökonomischer Kennzahlen</i>	236
<i>Abbildung 106: Innovationszyklen</i>	246
<i>Abbildung 107: Überblick über mit Oberflächen-Elektromyografie gut erfassbaren Muskelgruppen und Ableitung von physiologischen Funktionseinheiten</i>	248

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Zeitaufwand des TSP bei Lösung durch vollständige Enumeration [vgl. Gehlsen, 2004, S. 31].....</i>	<i>33</i>
<i>Tabelle 2: Starke/schwache Nachhaltigkeit [vgl. Pelenc, et al., 2015, S. 3], [vgl. Mancebo, 2013, S. 32 ff.]</i>	<i>69</i>
<i>Tabelle 3: Problemdimensionen im 21. Jahrhundert (nachhaltige Ökonomie) [vgl. Rogall, 2013, S.124]</i>	<i>81</i>
<i>Tabelle 4: Anwender von Nachhaltigkeitsinstrumenten und Simulationsbezug [vgl. BMU, 2007, S. 5]</i>	<i>94</i>
<i>Tabelle 5: Probleme bei der Definition und Abgrenzung von Nachhaltigkeitsbegrifflichkeiten</i>	<i>95</i>
<i>Tabelle 6: Grundformen der Arbeit [vgl. Rudow, 2014, S. 6], nach [Luczak, 1998]</i>	<i>131</i>
<i>Tabelle 7: Grobe Bewertung von Hebelast anhand der Leitmerkmalmethode [vgl. BAuA, 2001, S. 3]</i>	<i>151</i>
<i>Tabelle 8: Parameter aus Ergonomie-Datenbanken zur Berechnung [vgl. Mühlstedt, 2012, S. 113]</i>	<i>166</i>
<i>Tabelle 9: Funktionale Anforderungen für Anwendungsfall 1</i>	<i>179</i>
<i>Tabelle 10: Bestandsaufnahme und Fertigstellungsgrade im Hinblick auf die Anwendungsfälle</i>	<i>182</i>

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Aufl.	Auflage
Art.	Artikel
BUIS	Betriebliches Umweltinformationssystem
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
cm, cm³	Zentimeter, Kubikzentimeter
CC	Corporate Citizenship
CSR	Corporate Social Responsibility
CR	Corporate Responsibility
CS	Corporate Sustainability
d.h.	das heißt
DLL	Dynamic Link Library
DDM	Domain Driven Design/Development
Ed.	Edition
E-LCA	Environmental life cycle assessment
engl.	Englisch
ERP	Enterprise Resource Planning
et al.	et alii (und andere)
etc.	et cetera (und so weiter)
f.	folgende (nächste Seite)
ff.	folgende (nächste Seiten)
FIFO	first-in, first-out
ggf.	gegebenenfalls
griech.	griechisch
Hrsg., hrsg.	Herausgeber, herausgegeben
HTML	HyperText Markup Language
i.d.R.	in der Regel
Jg.	Jahrgang
Jh.	Jahrhundert
Kap.	Kapitel
KI	künstliche Intelligenz
KIT	Kommunikations- und Informationstechnologie
lat.	Lateinisch
LCA	Life cycle assessment

MDA	Model-driven Architecture
mm	Millimeter
Nr.	Nummer
o.g.	oben genannte(s)
OR	Operations Research, Online-Ressource
PPS	Produktionsplanung und –steuerung
Red.	Redakteur
s.	siehe
S.	Seite, Seiten
SC	Social Capital
S-LCA	Social life cycle assessment
s.o., s.u.	siehe oben, siehe unten
sog.	so genannt, sogenannte
SS	Social Sustainability
Suppl.	Supplement
SV	Soziale Verantwortung
Tab.	Tabelle
TDD	Test driven Design/Development
u.a.	und andere, unter anderem
UML	Unified Modelling Language
USA	United States of America
usw.	und so weiter
VDI	Verein deutscher Ingenieure
vgl.	vergleiche
XML	Extensible Markup Language
z.B.	zum Beispiel

Danksagung

Einleitend möchte ich mich bei meinen beiden Betreuern - Prof. Dr. Volker Wohlgemuth und Prof. Dr.-Ing. Bernd Page bedanken - bei Herrn Prof. Dr. Volker Wohlgemuth in erster Linie für die jahrelange gute wissenschaftliche Zusammenarbeit und für den resultierenden Wachstumsprozess, der nicht nur zu diversen gemeinsamen Veröffentlichungen führte, sondern auch das eigene wissenschaftliche, intellektuelle und moralische Arbeiten förderte. Herrn Prof. Dr.-Ing. Bernd Page möchte ich für die jahrelange Betreuung, die zahlreichen Treffen, Diskussionen und Verbesserungshinweise danken, die in die eigene Arbeitsweise kontinuierlich eingeflossen sind.

Bei Herrn Dr. Daniel Moldt möchte ich mich für seine klaren, direkten und stets hilfreich gemeinten Anmerkungen bedanken.

Dr. Johannes Göbel möchte ich für seine organisatorischen Mühen über die Jahre danken und für die aufbauenden und ruhigen Worte, welche einem in Zeiten, in denen es mal nicht so gut lief, stets Perspektive vermittelten. Die ausgestrahlte Ruhe und Freundlichkeit waren dabei immer eine sehr begrüßte Abwechslung zum oftmals nicht so ruhigen Umfeld.

Dr. Phillip Joschko möchte ich für die gute Zusammenarbeit im gemeinsam bearbeiteten Forschungsprojekt und für den Austausch über die Jahre hinweg danken. Vor allem der Wahrnehmungsaustausch und die Gradlinigkeit der Arbeitsweise waren dabei oftmals Inspiration.

Lars Schiemann, Paul Jahr und Maximilian Schneider möchte ich zuerst für die kontinuierliche gute Zusammenarbeit danken, mit der ausdrücklichen Hoffnung, dass noch viele gute und gemeinsame Jahre folgen werden.

Birgit Kribben und Igor Arnoldt kann ich nicht genug für die moralische Unterstützung danken.

Zuletzt der Gedanke an meine Eltern und Familie, deren Förderung, Unterstützung und Hingabe endlos sind, so wie mein Dank.

1 Einleitung

1.1 Motivation und Problemstellung

1.1.1 Einführung

Den Kern dieser Arbeit bildet die Erschließung der sozialen Seite der Nachhaltigkeit im Rahmen der Simulation von Produktionsbetrieben¹. Dieses Ziel reiht sich in den größeren Kontext ein, Simulationssoftware als Analysewerkzeug zu nutzen, um Produktionen nachhaltiger zu gestalten². Der starke Fokus der Arbeit auf soziale Kriterien³ ergibt sich daraus, dass diese bisher in ihrer wissenschaftlichen Aufarbeitung, im Anwendungskontext, hinter ökonomischen und ökologischen Kriterien zurückbleiben⁴.

Im Zuge der Arbeit wird eine Vorgehensweise zur Nachhaltigkeitsoptimierung in Produktionsbetrieben vorgestellt⁵, in der die Simulation als ein Baustein genutzt wird. Zudem wird eine Kennzahl zur Bestimmung der sozialen Wirkung eingeführt⁶. Die Arbeit beschreibt darüber hinaus die Konzeption und Entwicklung von verschiedenen Softwarekomponenten⁷, die die Definition, Parametrisierung und Simulation der sozialen Kriterien in einem Simulationsmodell ermöglichen. Die entwickelten Komponenten erweitern dabei die bestehende Simulationssoftware, die bereits über ökonomische und ökologische Performanceindikatoren verfügt, um einen weiteren Blickwinkel und sollen so den sozialen Bereich exemplarisch erschließen. In dem Maße, wie es dabei auch zu einer Integration der drei Perspektiven kommt, ist es ferner ein Ansatz, um dem Ideal einer ganzheitlichen, nachhaltigen Sichtweise auf Produktionssysteme näher zu kommen⁸.

¹ Einleitend kann hier Nachhaltigkeit als ein ideelles Konstrukt verstanden werden, das als langfristiges Ziel impliziert, positiv wirkende Veränderungen auf Mensch, Umwelt und Gesellschaft zu stärken. Der Operationalisierung dieser Idee wird eine Reihe von unterschiedlichen Verfahren zugeordnet, die genauer in Kapitel 3 erläutert werden. Zudem wird Nachhaltigkeit i.d.R. mit einer Dreiteilung auf die Bereiche Ökonomie, Ökologie und Soziales beschrieben. Diese perspektivische Trennung dient in erster Linie der Verständnisvereinfachung der oftmals interdisziplinären Ansätze und ist nicht als Trennung der Wirkungszusammenhänge zu verstehen. Diese können hingegen oft zu Problemen, hinsichtlich der Analyse von Verfahren und Maßnahmen, führen, da Wirkungen oft im Kontext von Untersuchungsfragestellungen abstrahiert werden, s. Kap. 3.

² Dabei werden Simulationen genutzt um Entscheidungen bzgl. betrieblicher Veränderung zu unterstützen, indem verschiedene Szenarien durch Parametrisierung eruiert werden und ihre Ergebnisse hinsichtlich der Untersuchungszwecke verglichen werden. Die Optimierung ist dabei kein Bestandteil der Simulation, sondern folgt der Analyse der Simulationsergebnisse [vgl. Gehlsen, 2004, S. 72] (siehe auch Kapitel 2.3, S. 30).

³ Einleitend können soziale Kriterien hier als solche verstanden werden, die in einem direkten Bezug zum menschlichen Wohlbefinden stehen. In dieser Arbeit wird noch spezifischer getrennt und in erster Linie auf die physische Gesundheit von Individuen eingegangen. Eine detaillierte Abgrenzung folgt in Kapitel 3 und 4.

⁴ Dies hat viele Gründe, u.a., liegt es daran, dass sie schwer quantifizierbar und qualifizierbar sind [vgl. Omann & Spangenberg, 2002, S. 4 ff.], s. auch [Benoît & Vickery-Niederman, 2010, S. 3 ff.] und Kap. 4 (S. 104 ff).

⁵ Zu finden unter S. 98 ff. und S. 150 ff. bereits diskutiert in [Widok & Wohlgemuth, 2013, S. 517-521].

⁶ Das Aggregationsprinzip wird ab S. 150 diskutiert und in Kap. 7 aufgegriffen, um Kennzahlen zu bestimmen.

⁷ Softwarekomponenten werden einleitend als Bausteine nach klaren Spezifikationen (Design Patterns, siehe [Gamma, et al., 1993, S. 406 ff.] und [Gamma, et al., 2009, S. 3]) verstanden, welche als übergeordnetes Ziel eine hohe Wiederverwendbarkeit des Programmcodes haben [vgl. Szyperski, et al., 1999, S. 184 ff.]. Die hauptsächliche Unterscheidung zu der verwandten Objektorientierten Programmierung zeichnet sich durch die Auflösung der Bindung an die Realität bei der Erstellung der Bausteine aus.

⁸ Im Kontext kann nur näherungsweise vorgegangen werden, da es zu einer Abwägung zwischen Aussagekraft und Komplexität bzw. Ganzheitlichkeit und Abstraktion kommt, wobei der Untersuchungszweck die entscheidenden Rahmenbedingungen festlegt, diese aber durch den Modellierungsaufwand begrenzt werden.

1.1.2 Motivation

Der angesprochene größere Zielhorizont, Simulationssoftware als Analysewerkzeug zu nutzen, um Produktionen nachhaltiger zu gestalten, ergibt sich aus der dringenden Notwendigkeit bestehende Produktionsmuster zu verändern. Diese Notwendigkeit hat ihre Begründung hauptsächlich in dem Verständnis von ökologischen Wirkungszusammenhängen, die nicht nur Grenzen⁹ aufzeigen, sondern konkrete Gefahren¹⁰ verdeutlichen, sollte es zu keinen weitreichenden Anpassungen kommen. Veränderung ist somit zwingend notwendig; allerdings können Veränderungen an Systemen, die in ihren komplexen Wechselwirkungen nicht vollständig verstanden werden, unbekannt, negative Konsequenzen nach sich ziehen und Potentiale ungenutzt lassen¹¹. In diesem Sinne gibt es zwar eine Reihe von internationalen, nationalen und regionalen Organisationen¹², die in verschiedenen Regelwerken Standards, sowohl für die Aufnahme, als auch für das Management von sozialen Kriterien formuliert haben, dennoch werden den Menschen betreffende Aspekte zu oft nur unzureichend wahrgenommen¹³ oder schlichtweg ignoriert¹⁴. Darüber hinaus verfügen bestehende Softwarelösungen für die Simulation von Produktionssystemen nur in sehr wenigen Fällen über Komponenten, die sich auf soziale Faktoren beziehen¹⁵. Die geringe Verbreitung von Lösungen und die Notwendigkeit, soziale Faktoren bei der Veränderung von Produktionsprozessen samt ihrer Auswirkungen und zusätzlich zu ökologischen und ökonomischen Größen, also integriert, zu betrachten, werden folglich als erster Punkt der Motivation deklariert.

⁹ Die möglichen Grenzen wurden in den 1960er Jahren diskutiert [Perez-Carmona, 2013, S. 83] und öffentlich bekannt seit 1972 u.a. durch „The limits to growth“ [Meadows, et al., 1972, S. 45 ff.], siehe auch [Meadows, 2010, S. 203 ff.]. Aktueller noch werden sie angesprochen in [Pimentel, et al., 1999, S.20 ff.], im Kontext des Bevölkerungswachstums in [Jäger, 2010, S. 31 ff.] und in Bezug auf Informations- und Kommunikationstechnologie in [Hilty & Ruddy, 2010, S. 8-12], zusammengefasst u.a. in [Perez-Carmona, 2013, S. 85 ff.].

¹⁰ An dieser Stelle soll die sog. Draft Deklaration des Weltressourcenforums zitiert werden, da sie die Zusammenhänge explizit verdeutlicht: „*Globalizing the traditional model of economic growth is leading to rapidly increasing consumption of limited natural resources, followed by ecological disruption. (...) Rising global consumption of raw materials (...) is beginning to affect the life-sustaining services of the earth, which are not replaceable by technical means. (...) Today, the fundamental flaw in human activities is the enormous consumption of natural resources per unit output of value or service. (...) The environmental safety threshold has already been surpassed, as is evident from various developments (...). And yet, only some 20 per cent of humankind enjoy the full benefits of the mainstream economic model, while all people – in particular the poor – have begun to suffer (...)*“ [vgl. WRF, 2008, S. 1 in Hilty & Ruddy, 2010, S. 10].

¹¹ So ist der ökologisch verheerende Eingriff schließlich nicht auf den Wunsch des Menschen zurückzuführen die Umwelt nachhaltig zu schädigen, sondern auf die Abwesenheit entsprechender Regularien, die zu einem Ausgleich zwischen dem Gewinnstreben von Konzernen und Gemeinwohl bzw. umweltbedingten Schwellenwerten führen. Die OECD schreibt dazu: „*(...) economic growth alone is not enough to solve the world’s problems: the economic, social and environmental aspects of any action are interconnected. Considering only one of these at a time leads to errors in judgment and “unsustainable” outcomes. Focusing only on profit margins for example, has historically led to social and environmental damages that cost society in the long run. But taking care of the environment and providing the services that people need depends at least in part on economic resources.*“ [OECD, 2008, S. 2]

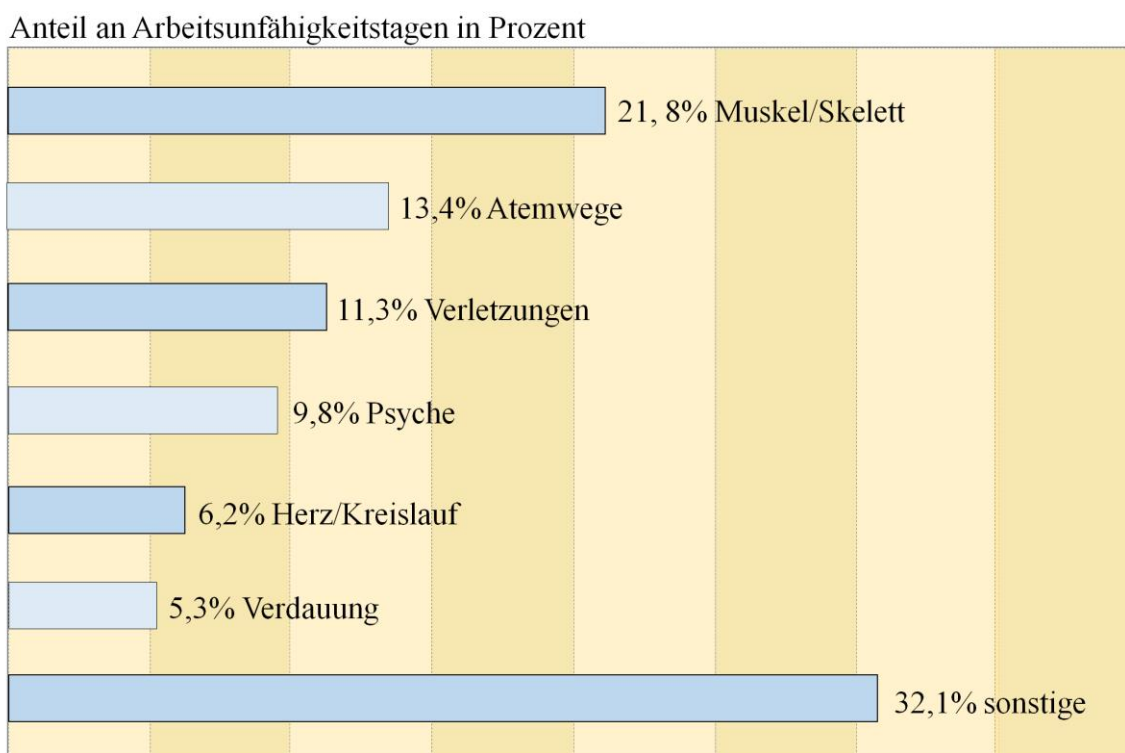
¹² Im internationalen Maßstab ist hier bspw. die Global Reporting Initiative (GRI) mit den „G4 Sustainability Reporting Guidelines“ [GRI, 2013, S. 142 ff.] zu nennen. National ist die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) ein Vorreiter bei der Bereitstellung von Materialien. Dies schließt die meisten Legislativen ein, geht aber auch darüber hinaus mit aktuellen Forschungsergebnissen zu Grenzwertbestimmungen.

¹³ Eine Vielzahl von Beispielen mit ökonomischen Auswirkungen findet sich in [Dubielzig, 2008, S. 2 f.]

¹⁴ Anders sind Extrembeispiele, wie beschrieben von Chan et al., bzgl. der unsäglichen Praxen in Apples Produktion in China [Chan, et al., 2013, S. 108 ff.] und von Amnesty International, bzgl. des systematischen Ausnutzens von Wanderarbeitern im Bausektor [Amnesty International, 2013, S. 31 ff.], nicht zu erklären.

¹⁵ Einen Überblick über existierende Lösungen, Funktionsumfänge und eine Abgrenzung erfolgt in Kapitel 4.

Die konkrete Gefährdung von Mitarbeitern in der Produktion und die Entwicklung einer Software zur (planungsbezogenen) Prävention werden als zweiter Punkt der Motivation deklariert. Zwangsläufig gibt es bei dem Gefährdungspotential bzgl. der großen Unterschiede des Arbeitsschutzes (in verschiedenen Ländern) und seiner Umsetzung (in Betrieben) eine weite Streuung. Auch die vergleichsweise weitreichenden deutschen Standards erweisen sich allerdings noch nicht als ausreichend, um entsprechend allgemeingültig schützend zu wirken¹⁶. So sind die größten Faktoren für Arbeitsunfähigkeitstage in Deutschland heute Muskel- und Skelettbeschwerden (s. Abb. 1), wobei einige davon betriebsbedingter Über- und Fehlbelastung zuzuordnen sind. Auch Atemwegserkrankungen können durch verfehlte Beachtung von Grenzwerten ausgelöst werden, bspw. bei der Nutzung von Kühlschmierstoffen¹⁷. Dabei ist die Verbindung der stofflichen Perspektive der Materialflussanalyse mit der Ortsbestimmung von Mitarbeitern und der einhergehenden Visualisierungsmöglichkeit von Belastungsdynamiken zu beachten, da es hier zu Erkenntnisgewinnen kommen kann.



Quelle: Fehlzeiten-Report des WIdO (Wissenschaftliches Institut der AOK) [vgl. Badura, et al., 2014]

Abbildung 1: Arbeitsunfähigkeit 2013 - Welche Krankheit, wie lange

¹⁶ Hier ist zu beachten, dass auch deutsche Standards sich ständig weiterentwickeln und noch immer nicht alle auf den Menschen einwirkenden Kräfte passgenau quantifiziert werden können. „So galt“ bspw. „noch vor zwei Jahren 85 dB (A) als Grenzwert für die potenzielle Schädigung des Gehörs und als Auslöseschwelle von geeigneten Lärminderungsmaßnahmen (z.B. Gehörschutz, Kapselung der Lärmquelle etc.). Seit 2007 gelten nunmehr laut Lärm- und Vibrationsverordnung europaweit 80 dB (A)“ [Badura, et al., 2010 (b), S. 108], siehe auch bzgl. fehlenden, dringend benötigten wissenschaftlichen Erkenntnissen [Luczak, et al., 2002, S. 87]. Die Passgenauigkeit für Individuen stellt zudem eine weitere Schwierigkeit dar und wird in Kapitel 4 diskutiert.

¹⁷ Zu bedenken ist, dass der „Nachweis unspezifischer (...) Einflüsse im Einzelfall mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden sein kann, da viele Krankheiten - wie z.B. Hauterkrankungen oder allergische Atemwegserkrankungen - weit verbreitet sind und in Beziehung zu“ anderen Belastungen stehen [vgl. Biendarra & Weeren, 2008, S. 131]. Psychische Belastungen spielen eine besondere Rolle, da sie, im Gegensatz zu physischen Belastungen, zunehmen [vgl. Busch & Clasen, 2014, S. 12], [vgl. Oppolzer, 2010, S. 13], s. auch die Anmerkungen in der relevanten Gefährdungsbeurteilung der Bundesanstalt für Arbeitsschutz [BAuA, 2014, S. 22 ff.].

Als weiterer Punkt wird angeführt, dass die Wechselwirkungen von Belastungen (untereinander) von großer Bedeutung sind, die softwaretechnische Betrachtung dieser jedoch kaum unterstützt wird. Es bestehen bereits einige operationale Lösungen, die ergonomische Kriterien abbilden können¹⁸, zumeist wird im Anschluss allerdings lediglich der Vergleich zwischen der Belastung und einem Grenzwert vorgenommen. Die Möglichkeit, dass ein Belastungsfaktor einen anderen verstärkt und/oder anderweitig beeinflusst, wird bisher (softwareseitig) kaum funktional bedient. „*Forschungsfunde belegen aber, dass der durch die Arbeitsbelastungen entstehende Stress an der Entstehung kurz- und langfristiger physischer sowie psychischer Erkrankungen beteiligt ist [Bamberg, et al., 2003], [Bamberg, 1991], [Zapf & Semmer, 2004]*“ [Busch & Clasen, 2014, S. 12]. Es braucht deshalb ein Instrumentarium, das auch die dynamischen Wechselwirkungen von sozialen Faktoren abbilden kann.

Als vierter Punkt soll die Stärkung der unternehmerischen Kräfte, die sich für sozio-ökologische Anstrengungen einsetzen, angeführt werden. Dazu muss die Argumentationsgrundlage für nachhaltige Entscheidungen, besonders soziale, durch reproduzierbare Kennzahlen und konkrete Ergebnisse verbessert werden. Dies folgt dem Verständnis, dass soziale Anstrengungen oftmals als weiche, schwer zu quantifizierende Faktoren wahrgenommen werden, was ihre Durchsetzung in innerbetrieblichen Entscheidungen, im Gegensatz zu ökonomischen Faktoren, erschweren kann¹⁹. Dem Ideal der Nachhaltigkeit zufolge ist es jedoch erforderlich, „*dass die drei Dimensionen über eine ausgewogene Abwägung zu einem synergetischen Wertgewinn verknüpft werden*“ [Rabe von Pappenheim, 2009, S. 87]²⁰. Um eine Analyse der Wertigkeiten durchführen zu können, müssen sozialem Engagement und Umweltanstrengungen ein ökonomischer Wert zugemessen [vgl. Rabe von Pappenheim, 2009, S. 87] oder ein anderes, vergleichbares Maß für die Perspektiven genutzt werden²¹.

¹⁸ U.a. erwähnt in [Lind, et al., 2009, S.11, S.20], [Sharma, 2012, S.1 ff.], sowie [Makhbul, et al., 2011, S.1 ff.], aber auch kommerzielle Lösungen, in Bezug auf Mensch-Maschine-Schnittstellen können Grenzwertbelastungen bewerten, bzw. Gefährdung bei der Interaktion verhindern, siehe [Wischmann, et al., 2015, S. 154].

¹⁹ Darüber hinaus dauert die generelle Diskussion an, inwieweit soziales Engagement für Unternehmen notwendig, sinnvoll und gewinnbringend ist. Noch in den 1970er Jahren argumentierte der Nobelpreisträger Milton Friedman hier, „*dass die einzige gesellschaftliche Verantwortung von Unternehmen darin bestünde, ihre Profite zu steigern*“ [Dubielzig, 2009, S. 1]. Der Fakt, dass diese Profite mit der sozialen Wahrnehmung der Unternehmen durch die Steuerungsfunktion von Kunden in Wechselwirkungen stehen (zumindest bei Großunternehmen), wird leider oft ignoriert (siehe bspw. [Chan, et al., 2013, S. 101 ff.]). Im Gegensatz dazu leitet Machning sein Buch „*Welchen Fortschritt wollen wir*“ u.a. mit der Feststellung ein, dass ein neues Fortschrittsverständnis benötigt wird, welches: „*an erster Stelle und als Ausgangspunkt den Menschen in den Blick nehmen und die Frage nach gutem Leben wieder in den Mittelpunkt politischen Handelns stellen*“ muss [Machning, 2011, S. 8]. Diese Beispiele beziehen sich eher auf betriebsexternes Engagement. Zum Zusammenhang zwischen innerbetrieblichen Anstrengungen gibt es auch zahlreiche wissenschaftliche Studien [Badura, et al., 2010 (b), S. 4], die Problematik liegt jedoch dabei diese aufzuschlüsseln bzw. zu nutzen, um spezifische Maßnahmen durchzusetzen. Hier fehlt es in der innerbetrieblichen Diskussion oft an quantifizierbaren Zusammenhängen zwischen Studienergebnissen und der betrieblichen Leistung. Simulationssoftware kann, unter Nutzung von wissenschaftlich eruierten Verteilungen, helfen diesen Zusammenhang herzustellen.

²⁰ Auf Basis der unterschiedlichen betrieblichen Akteure, werden hier meist Zielkonflikte nicht final aufgelöst, was sich in den Softwarelösungen zeigen kann. So werden „*bei einem Fokus auf Umweltdaten in Informationssystemen soziale Aspekte relativ wenig bis gar nicht berücksichtigt*“ [Schaltegger, et al. 2009, S. 105].

²¹ Wenn man sich Legal Compliance im Umweltsektor verdeutlicht, fungiert bspw. eine Strafzahlung aufgrund von verfehlten Einflussgrenzwerten, als die Normierung eines Umweltwertes in der ökonomischen Perspektive. Das gleiche Prinzip gibt es im Kontext des Arbeitsschutzes, hier sind die Grenzwerte leider jedoch nicht immer eindeutig. In der Konsequenz führt die Abwesenheit von „Umrechnungsmöglichkeiten“ oft zur Nichtbeachtung relevanter Faktoren. Ferner ist anzumerken, dass die rein ökonomische Umrechnung vielfach kritisch gesehen wird, siehe auch Nutzwert(-analyse) in VDI 3633 [VDI 3633, 2013, S. 13 ff.] und Kapitel 3, 4.

In der ökologischen Perspektive haben sich hier u.a. das Global Warming Potential (GWP), die Umweltbelastungspunkte (UBP) bzw. die Nutzung von CO₂-Äquivalenten als Kennzahlen wissenschaftlich etabliert. Diese werden zwar nicht immer direkt monetär umgerechnet, jedoch gibt es bspw. durch den EU-Emissionshandel (EU ETS) bereits Mechanismen, die eine Umrechnung forcieren und dabei Umweltziele kontinuierlich wertvoller machen²². Zudem führen die Akzeptanz und der Bekanntheitsgrad der Kennzahlen zu einer verbesserten Möglichkeit des Vergleichs. Für die soziale Bewertung gibt es derart verbreitete Verrechnungen bzw. anerkannte Verfahren fast nur in Form von Gesetzen und Verordnungen. Betrieblich besteht eine Fülle von sehr verschiedenen Ansätzen, die in der Praxis nur selten zusammengeführt, bzw. nur selten zu aggregierten Kennzahlen kombiniert werden²³.

Als letzter, eher visionärer Punkt, kann die ungenügende Steuerungsfunktion von Konsumenten angeführt werden. Dies impliziert, dass die Möglichkeit, Produkte bzgl. ihrer ökologischen und sozialen Wirkung hin zu vergleichen, zumindest ohne ausgiebige Recherche, schlichtweg einer wissenden Minderheit vorbehalten oder gar, aufgrund der fehlenden Möglichkeit auf entsprechende Daten zugreifen zu können, gänzlich ausgeschlossen ist. Ohne die Möglichkeit Produkte anhand von validen Indikatoren vergleichen zu können, ist eine Bewertung der ökologischen/sozialen Anstrengungen von Unternehmen durch die Kaufkraft der Kunden jedoch kaum gegeben²⁴. Ohne die Steuerungsfunktion ist wiederum der Anreiz für Unternehmen, sich ökologisch und sozial zu engagieren, bzw. ihre Produktionen so auszurichten, geringer²⁵. Diese Arbeit dient deshalb auch dazu, Nachhaltigkeitsindikatoren in der Produktion zu stärken und unterstützend darauf hinzuwirken, dass Produkte zukünftig anhand ökologischer und sozialer Indikatoren besser verglichen werden können.

Zusammenfassend wird diese Arbeit motiviert durch:

- die Notwendigkeit der Veränderung von Produktionen, inkl. sozialer Faktoren,
- den Bedarf an Unterstützung des Arbeitsschutzes durch dynamische Betrachtung von Wirkfaktoren und die Möglichkeit zur Überprüfung von Langzeitwirkungen,
- die häufige Abwesenheit und Notwendigkeit der Berücksichtigung von Wechselwirkungen zwischen sozialen Faktoren,
- die Stärkung der Argumentationsgrundlage für nachhaltige Entscheidungen durch eine verbesserte Vergleichbarkeit der verschiedenen Perspektiven,
- die prinzipielle Stärkung der Steuerungsfunktion von Kunden durch die Weiterentwicklung von produktbezogenen Nachhaltigkeitsindikatoren.

²² Da die Zahl für die Zertifikate pro Jahr sinkt und es somit (eigentlich) langfristig zu einer Verteuerung der gleichen Menge produzierten CO₂'s kommen müsste, siehe auch [Joschko, et al., 2011, S. 229].

²³ Dies kann wiederum dazu führen, dass die Bereiche getrennt voneinander wahrgenommen werden und wechselseitige Wirkzusammenhänge nicht erfasst werden.

²⁴ Eine Erläuterung zu diesem Punkt kann in Weizsäcker, et al. gefunden werden, die sich u.a. auf den UN-koordinierten „Marrakesch-Prozess“ beziehen, im Kontext eines besseren Verhältnisses zwischen Wohlstand und Umweltauswirkungen (und des Verbraucherbewusstseins), siehe [Weizsäcker, et al., 2010, S. 358, ff.], auch Hilty bezieht sich im diesen Punkt und thematisiert auch die Investorensseite [Hilty, 2008, S. VII].

²⁵ Gleichzeitig kann es zu dem bereits beschriebenen verstärkten Ausnutzen der Unterschiede im Arbeitsschutz und ökologischen Legislativen auf Kosten der regionalen Arbeiter bzw. der Umwelt kommen [Golden, et al., 2010, S. 1], eben auch aus dem Grund, dass die soziale Rückkopplung durch die Bewertung des Kunden wegfällt. Gleichzeitig zeigen die Beispiele in Dubielzig, dass es bei medial wirksamen Ereignissen zu diesen Rückkopplungen kommt [Dubielzig, 2008, S. 2 f.]. Demnach sind Anstrengungen bzgl. „Sustainable Product Indexing“ zu unterstützen, um eben jene Steuerungsfunktion zu stärken [Golden, et al., 2010, S. 1 ff.].

1.1.3 Problemstellung

Aus den beschriebenen Inhalten ergeben sich eine Reihe von Forschungsfragen und konsequente, technische Problemstellungen, die hier zusammengefasst werden.

Es kann beobachtet werden, dass aktuelle Veröffentlichungen zur Produktionssimulation mit sozialen Kriterien fast ausschließlich auf ergonomische Kriterien fokussieren²⁶. Diesbezüglich stellen sich folgende Fragen bzgl. sozialer Kriterien:

- Welche sozialen Kriterien sind in der Anwendungsdomäne der Produktionssimulation, zusätzlich zur Ergonomie, prinzipiell mess- und simulierbar?
- Wie können diese kategorisiert werden?
- Wie werden sie gemessen/erhoben und wie stellt sich der Prozess von Aufnahme und Modellierung dar?
- Welche Ansätze zum Umgang mit den komplexen Wechselwirkungen gibt es?

Darüber hinaus stellen sich die Fragen der Verschneidung im Kontext der Nachhaltigkeit:

- Können die verschiedenen Perspektiven sinnvoll aggregiert und abgebildet werden?
- Wie können sie miteinander verglichen und in Bezug gestellt werden?²⁷
- Kann ein Vorgehensmodell zur Nachhaltigkeitsoptimierung entwickelt werden?

Folgend kommt es zu softwaretechnischen Herausforderungen, hier stellen sich die Fragen:

- Was sind die funktionalen Anforderungen an eine Softwarelösung, die die soziale Perspektive sinnvoll integriert?
- Welche Komponenten müssen entwickelt werden und wie interagieren diese (interne Schnittstellen)?
- Welche Schnittstellen zu anderen Systemen sind denkbar und werden als lohnenswert eingestuft (Beispiele: S-LCA, Menschmodell-Anbindungen)?

Letztlich besteht im Bezug zur Validierung des Modellierungsansatzes die Notwendigkeit:

- die Realisierung zu testen und sowohl die Ergebnisse, als auch den Ansatz im Allgemeinen auf seine Güte zu prüfen und zu diskutieren.

Schließlich steht über diesen Fragestellungen die allgemeine Herausforderung der Modellbildung, den passgenauen Mittelweg zwischen Abstraktion und Komplexität zu finden. Hier eröffnet sich in der Diskussion die Frage, ob der Mehrwert der Verbindung der Perspektiven in einem Modell und in den Ergebnissen den erhöhten Modellierungsaufwand rechtfertigt.

²⁶ Ausschließlich ergonomische Kriterien finden sich bspw. in [Lind, et al., 2009, S.11, S.20] und [Sharma, 2012, S.1 ff.], auch [Makhbul, et al., 2011, S.1 ff.] bzw. [Makhbul, et al., 2013, S.1 ff.]. In beiden Veröffentlichungen von Makhbul et al. wird auch genereller auf Stress eingegangen wird. Die Erste bezieht sich allerdings nicht auf das produzierende Gewerbe, sondern auf die Finanzbranche.

²⁷ Hier kommt es zu komplexen Problemen, z.B. bei der Bewertung der Einführung einer neuen Maschine in eine Produktion, die Mitarbeitern zwar Arbeit abnimmt und somit mögliche zukünftige Rückenprobleme erspart, aber gleichzeitig schlechtere ökologische Auswirkungen hat. Nimmt man zudem noch ökonomische Kriterien in die Bewertung mit auf, kann es zu Zielkonflikten kommen, die nur schwer aufzulösen sind.

1.2 Abgrenzung und Zielsetzung

1.2.1 Abgrenzung

Abbildung 2 visualisiert einen Überblick über die für diese Arbeit relevanten Inhalte und Verfahren; eine Ausführung dieser Einordnung schließt sich im Folgenden an. In den entsprechenden Kapiteln werden die Inhalte zudem detailliert abgegrenzt. Dabei ist zu beachten, dass sowohl das Prinzip der Nachhaltigkeit, als auch die Modellbildung und Simulation ihren Ansätzen nach interdisziplinär ausgerichtet sind, was die Abdeckung aller relevanten Aspekte erschwert. Deshalb kommt es hier zu konkreten Einschränkungen der untersuchten Aspekte. Dabei gibt es drei hauptsächliche Fokusse: die Eruierung der Messbarkeit und Simulierbarkeit sozialer Kriterien, die Verbindung der verschiedenen Perspektiven und die Erstellung eines simulierbaren Computermodells, das diese einschließt.

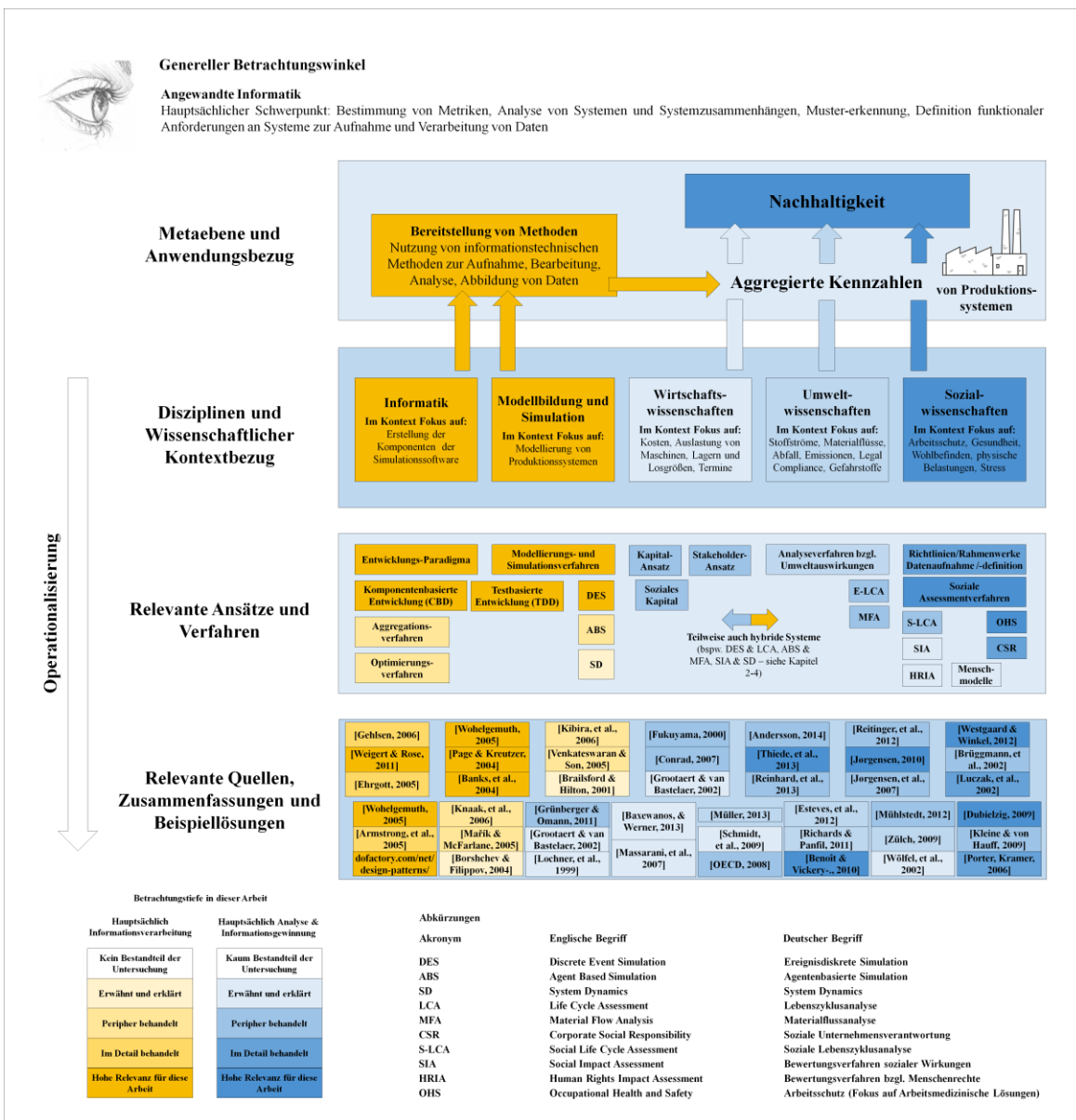


Abbildung 2: Initiale Abgrenzung der Inhalte dieser Arbeit

Für den technischen Teil dieser Arbeit werden Grundkenntnisse der Programmierung vorausgesetzt, d.h. softwaretechnische Grundlagen werden kaum behandelt, jedoch werden Aspekte der komponentenbasierten Programmierung und softwarerelevante Fachkonzepte der Simulation in Kapitel 2, 5 und 6 aufgegriffen und entsprechend erläutert. Ferner werden in Kapitel 6 ausgewählte Codefragmente in ihrer Funktionsweise erklärt und das Zusammenspiel von verschiedenen Softwarekomponenten genauer betrachtet.

Bezüglich der theoretischen Grundlagen sind in den Kernbereichen, d.h. der Produktions-Simulation und der (sozialen) Nachhaltigkeit bereits erhebliche Vorarbeiten²⁸ geleistet worden. Angesichts dieser Vorarbeiten wird in vielen Bereichen auf entsprechende Quellen verwiesen, ohne die teilweise sehr umfangreichen Erklärungen in dieser Arbeit zu wiederholen. Optimierungsverfahren werden im Kontext der Notwendigkeit des Untersuchungszweckes in Kapitel 2 behandelt. Eine Relativierung des Ansatzes bzgl. der ausgewählten Methodik erfolgt in der Diskussion.

Bezüglich der Messbarkeit von Nachhaltigkeit wird von einem Kapital-Ansatz²⁹ als Grundlage ausgegangen, dies schließt eine mathematische Aggregation von einzelnen Indikatoren zur Bildung von übergeordneten Kennzahlen ein. Aspekte, die nach eingehender wissenschaftlicher Aufarbeitung so nicht behandelt werden können, wie eine Reihe von sozialen Faktoren³⁰, werden in Kapitel 4 diskutiert. Auf Basis dieser Diskussion kommt es zu einem relativen Aggregationsansatz, der in Kapitel 4 vorgestellt und in Kapitel 5 ausgeführt wird. Auch bei wechselwirkenden Umweltfaktoren kommt es zu einer Abstraktion. Man kann beide Bereiche grundlegend zusammenfassen, indem davon ausgegangen wird, dass die Modellierung von komplexen sozialen und ökologischen (Wechsel-)Wirkungen durch Experten in den jeweiligen Bereichen vorgenommen werden muss und die entwickelte Software nur die benötigten Komponenten für diese Modellierung bereitstellt, ohne die Berechnungen in ihrer fachlich-methodischen Gültigkeit zu überprüfen³¹. Es kommt somit zu relativ freien Definitionen von sozialen Kriterien, die durch eine Wissensbasis und Schnelltests

²⁸ So wurde der Einsatz von Simulationsverfahren im Kontext des betrieblichen Umweltschutzes bereits in der Dissertation von Wohlgemuth ausführlich dargelegt [Wohlgemuth, 2005, S.169 ff.]. Die Integration von Optimierungsverfahren in Simulationsstudien wurde in Gehlsen's Dissertation beschrieben [Gehlsen, 2004, S. 97 ff.]. Eine umfangreiche Auseinandersetzung mit (betrieblicher) Nachhaltigkeit und Kapital-Ansätzen ist in Langers Dissertation zu finden [Langer, 2011, S. 9 ff.]. Menschmodelle wurden in der Dissertation von Mühlstedt in ihrer Anwendung zum Schutz vor Überbelastungen erprobt [Mühlstedt, 2012, S. 121 ff.]. Das Management sozialer betrieblicher Aspekte wurde in Dubielzigs Dissertation behandelt [Dubielzig, 2009, S. 37 ff.]. Ergonomische Kriterien wurden von Berlin in ihrer Dissertation bzw. den zu Grunde liegenden Veröffentlichungen untersucht [Berlin, 2011, 5 ff.]. Schließlich haben Westgaard und Winkel diverse Metastudien bzgl. der Wirksamkeit von Arbeitsschutzmaßnahmen veröffentlicht [Westgaard & Winkel, 2011, S. 261 ff.].

²⁹ Siehe bspw. [Stern, 1997, S. 145 ff.], [Woolcock & Narayan, 2000, S. 225 ff.] oder [McElroy, et al., 2007, S. 229 ff.] für einen Überblick zu entsprechenden Ansätzen. Dabei ist zu beachten, dass die vormalig erwähnte Dreiteilung auf die Bereiche Ökonomie, Ökologie und Soziales in vielen bestehenden Ansätzen bereits erweitert bzw. verändert wurde (etwa durch Anthrokapital in McElroy oder auf die Bereiche Naturkapital, Humankapital). Der Kern des Ansatzes bleibt dabei allerdings erhalten. Auf die Unterschiede und generelle Handhabung wird in Kapitel 3 eingegangen.

³⁰ Gerade im psychologischen Bereich gibt es hier natürlich eine große Anzahl an Wechselwirkungen, die zum jetzigen Zeitpunkt schwer mathematisch auszudrücken sind.

³¹ Das schließt eine mathematisch-logische Validierung nicht aus (d.h. diese findet statt), sondern bezieht sich auf eine softwareseitige Überprüfung, ob ein modellierter Einfluss in seiner Sinnhaftigkeit korrekt ist. Diese Form der Validierung kann aufgrund der schieren Bandbreite der Möglichkeiten bzw. der freien Definition von Einflussfaktoren in dieser Arbeit nicht abgedeckt werden.

(bspw. der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin) unterstützt werden können. Generell folgt die entsprechende Konzeption auch der Überzeugung, die jeweiligen Komponenten einfach und erweiterbar zu halten, was in Kapitel 5 und 6 verdeutlicht wird.

Die Komplexität von kommerziellen Lösungen ergonomische Kriterien betreffend (wie bspw. Siemens PLM Ergonomics³², Dassault Delmia, teilweise auch ProModel, AnyLogic und Arena)³³, von denen manche über 3D-Fabrikmodelle³⁴ und sehr ausgefeilte, spezifische Funktionen, wie die Bewegungspfade von Mitarbeitern, inklusive ihrer Sehfelder, verfügen, kann in der softwaretechnischen Realisierung dieser Arbeit nicht erreicht werden. Anstatt sich auf einzelne, soziale Gebiete zu spezialisieren, liegt der Fokus dieser Arbeit in der Bereitstellung eines Baukastens, um diverse soziale Einflüsse modellieren zu können und diese mit bestehenden Elementen der Produktionssimulation in Bezug zu setzen.

Im Bereich der Erhebung und des betrieblichen Managements von sozialen Faktoren gibt es viele verschiedene Methoden und Ansätze, wie bspw. Social Impact Assessment (SIA), Corporate Social Responsibility (CSR), Social LCA (S-LCA), generelle Richtlinien wie die ISO 26000, die GRI4 Guidelines, Ergonomie Richtlinien wie die VDI-Richtlinie 1449 und weitere. Diese werden in Kapitel 4 erwähnt und das Ziel des bestehenden Ansatzes dagegen abgegrenzt. Der Fokus liegt hier darauf, die möglichen Überschneidungspunkte mit diesen Ansätzen bzgl. Definition von Kriterien und Datenerhebung zu nutzen (bspw. mit S-LCA), eine Detailbetrachtung der verschiedenen Ansätze (wie bspw. von Jørgensen, et al. [Jørgensen, et al., 2010]) wird nicht vorgenommen, sondern auf entsprechende Quellen verwiesen.

Bei der Definition von sozialen Ressourcen bzw. Humanressourcen werden im kommerziellen Bereich oft Menschmodelle³⁵ aus verschiedenen Datenbanken verwendet³⁶. Dabei werden regionale Unterschiede in den mathematischen Verteilungen bzgl. der Parameter der Ressourcen mit eingeschlossen. Die Funktionalität und Bedeutungen eines solchen Imports werden diskutiert, eine tiefergehende Analyse der Menschmodelle und der notwendige Datenabgleich jedoch nicht durchgeführt. Gleichzeitig wird das manuelle Anlegen und die entsprechende manuelle Parametrisierung von Typen von Humanressourcen ermöglicht.

Die Integration von Daten aus Zulieferketten, bzw. über die Wertschöpfungskette von Produkten, wird durch den Import von Lebenszyklusanalysedaten (LCA-Daten) ermöglicht, entsprechende Realisierungen bzgl. S-LCA-Daten werden in den Kapiteln 5-7 beschrieben.

³² In Kim et al. kann man das Leistungsspektrum aus den entsprechenden Klassendiagrammen erahnen, wobei die Veröffentlichung auf Basis einer Vorgängerversion der Software entstand [Kim, et al., 2008, S. 1048 ff.].

³³ Für weitere Informationen siehe auch die entsprechenden Webseiten von Siemens PLM Ergonomics (www.plm.automation.siemens.com), Dassault Delmia (www.3ds.com/products-services/delmia/) ProModel (www.promodel.com/), AnyLogic (www.anylogic.com/) und Arena (www.arenasimulation.com).

³⁴ In der Regel werden diese manuell erstellt, es gibt mittlerweile die Möglichkeit gibt, via Kamera(s) eine Fabrikhalle zu scannen (auf Lasergenauigkeit) und diesen Scan zu importieren. Im Anschluss werden die Entitäten zugewiesen, inklusive der Integration der lokalen Maße [Berglund, et al. 2014, S. 2990 ff.].

³⁵ Ein Menschmodell besteht dabei aus einer Ansammlung von Eigenschaften, wie bspw. Lebensalter, Geschlecht, Größe, usw., diese liegen, verknüpft mit regional üblichen Variationen, d.h. der relativen Häufigkeit, in Datenbanken vor und können so bei der Erstellung von virtuellen Humanressourcen genutzt werden. Die häufigste Verwendung finden sie in der Robotik bzw. bei der Fabrikplanung, um bspw. ergonomische Kriterien zu überprüfen. [Jürgens, et al., 1998, S. 2 ff.], [Mühlstedt, 2012, S. 26 ff.]

³⁶ Siehe bspw. das 3D-Menschmodell RAMSIS der Human Solutions GmbH (<http://www.human-solutions.com/>). Weitere Erläuterungen zu Modellen auch in Mühlstedt, et al. [Mühlstedt, et al., 2008, S. 80 ff.].

1.2.2 Zielsetzung

Neben der „*dissertatio*“ (lat. Auseinandersetzung) mit den in der Problemstellung formulierten Fragestellungen ist das Kernziel der Arbeit, den Nachweis zu erbringen, ob ein praktischer Mehrwert dabei entstehen kann, die drei Perspektiven der Nachhaltigkeit, repräsentiert durch entsprechende Kriterien, in einem Simulationsmodell für Produktionsbetriebe abbilden zu können. Der potentielle Mehrwert wird dabei im Bereich eines erhöhten Verständnisses der Systemzusammenhänge verortet und bezieht sich hauptsächlich auf die Möglichkeit der Betrachtung physischer Einflussfaktoren auf Humanressourcen. Gleichzeitig soll die Möglichkeit eröffnet werden, durch eine freie Definition sozialer Einflussfaktoren auch komplexere Wechselwirkungen von sozialen Einflussfaktoren modellieren und untersuchen zu können, wobei die Frage nach einem Mehrwert offen gelassen wird. Mit diesem Hintergrund steht die Arbeit in einer Tradition, die Anwendung der Modellbildung und Simulation für die Analyse komplexer Systeme zu nutzen. In Bezug auf Produktionssysteme hat sich dabei in den letzten zwei Jahrzehnten die klassische, eher outputorientierte Sichtweise gewandelt, indem verstärkt auch ökologische Faktoren durch diverse Verfahren mit in die Betrachtung einbezogen wurden. Es ist das Ziel, diese Entwicklung fortzuführen und die bestehende Betrachtung um eine weitere Perspektive anzureichern.

Um dieses Kernziel zu erreichen, müssen die in der Problemstellung angedeuteten Schwierigkeiten überwunden werden, entsprechend wird eine Reihe von Teilzielen für diese Arbeit definiert:

- Die Aufarbeitung und Präsentation des Standes der Wissenschaft und Technik zur Modellierung und Simulation im Bereich der Produktionssimulation, mit dem speziellen Fokus auf die Nachhaltigkeit von Produktionen. Von besonderem Interesse sind diesbezüglich verschiedene Indikatorkonzepte und Strategien. Die Ergebnisse dieser Auseinandersetzungen werden in Kapitel 2 und 3 beschrieben.
- Die Abgrenzung sozialer Kriterien sowie ihre Qualifikation und Kategorisierung gemäß der jeweiligen Bedeutung für die Produktionssimulation (dies schließt die wissenschaftliche Aufarbeitung der in der Abgrenzung erwähnten sozialen Ansätze mit ein). Die Ergebnisse dieser Auseinandersetzung werden in Kapitel 4 beschrieben.
- Auf der Basis der Kategorisierung kommt es zu einer ersten Auswahl (von Kriterien) für die prototypische Realisierung der Software, dem folgt als Ziel die softwaretechnische Konzeption, wie welche Kriterien in die bestehende Simulationssoftware integriert werden können. Die Ergebnisse werden in Kapitel 5 beschrieben.
- Die Entwicklung der notwendigen Komponenten wird als nächstes Teilziel deklariert. Ein Überblick über die Komponenten wird in Kapitel 5 und 6 gegeben, sowie in den Datenmodellen im Anhang und auf der beiliegenden CD mitgeliefert.
- Schließlich werden zwei Anwendungsszenarien skizziert und die Software an zwei realen Produktionen getestet. Dabei kommt es zum sog. „Proof of Concept“ (Machbarkeitsnachweis). Ferner können die Simulationsergebnisse, bzw. der funktionale Ablauf der Tests als Teilziel deklariert werden, die den Kreis schließen und als Basis für die Diskussion des Gesamtergebnisses der Arbeit dienen werden. Dies wird schließlich in den Kapiteln 7 und 8 erfolgen. Ein genauer Überblick schließt sich an.

1.3 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit

1.3.1 Vorgehensweise

Dieser Abschnitt erläutert, mit welcher Vorgehensweise die definierten Ziele erreicht werden und wie die Problemstellung bearbeitet wird. Gleichzeitig wird auf die verschiedenen Abschnitte der Arbeit eingegangen; ein Überblick über den so geschaffenen Aufbau der Arbeit erfolgt in visueller Form auf der nächsten Seite.

Prinzipiell sind die Kapitel 2-4 sowie 5-7 nach Grundlagen und Anwendung zu trennen, dabei kommt es in den ersten drei Kapiteln zu Wissensaufbau sowie Abgrenzungen des Ansatzes und in den folgenden zur Konzeption, Umsetzung und zum sog. „Proof of Concept“, d.h. zum Machbarkeitsnachweis.

In Kapitel 2 wird die Basis für ein systemtheoretisches Verständnis von Betrieben, bzw. Produktionsbetrieben gelegt. Ferner werden Aspekte der Modellbildung und Simulation, inklusive ihrer Fachbegriffe erklärt. Schließlich wird auf Optimierungsverfahren eingegangen und das Zusammenspiel zwischen Simulation und Optimierungsverfahren verdeutlicht. In Kapitel 3 wird der Grundstein für das Verständnis von Nachhaltigkeit gelegt und das eigentliche Ziel einer Optimierung, die Veränderung von Produktionssystemen nach Nachhaltigkeitskriterien, diskutiert. Der Fokus liegt darauf zu erläutern, was der in vielen Facetten ausgeprägte Begriff der Nachhaltigkeit für Produktionssysteme und ihre Optimierung bedeutet. Nach dieser Abgrenzung und der Herausstellung der Vorgehensweise bei der simulationsgestützten Optimierung von Produktionsbetrieben wird verstärkt auf die sozialen Aspekte der Nachhaltigkeit fokussiert. So folgt in Kapitel 4 eine Übersicht über den Stand der Wissenschaft und Technik, eine Betrachtung diverser Verfahren zur Aufnahme und zum Management von sozialen Kriterien, mit dem Ziel, den bestehenden Ansatz abzugrenzen sowie die Definition sozialer Kriterien für die Simulation wissenschaftlich zu begründen. Bei dieser Betrachtung möglicher Kriterien ergeben sich bereits zwangsläufig Anforderungen an ein technisches System, welches besagte Kriterien abbilden und simulieren könnte. Eine genaue Konzeption des entwickelten Systems schließt sich dem an und wird in Kapitel 5 spezifiziert. Hier liegt der Fokus auf der Anforderungsanalyse und dem folgenden Systementwurf. Kapitel 6 greift diesen Entwurf auf und stellt die entwickelte Software inklusive ihres Leistungsspektrums dar. Besondere Programmteile werden dabei detailreich vorgestellt, um das Ineinandergreifen der Softwarekomponenten zu verdeutlichen. Im Anschluss an die Vorstellung aller wesentlichen Komponenten werden zwei Anwendungsbeispiele der Software vorgestellt. Dabei handelt es sich u.a. um ein Beispiel der Auswertung von physischen Belastungen, die beim Nachfüllen von Maschinen in einer Plastikfabrik auftreten. Die Ergebnisse der entsprechenden Simulationsstudien werden in Kapitel 7 vorgestellt und anhand der gemachten Erfahrungen diskutiert. Kapitel 8 fasst letztendlich die Ergebnisse der gesamten Arbeit zusammen. Zudem werden die Simulationsergebnisse und der Ansatz kritisch diskutiert, ein Vergleich mit ähnlichen Ansätzen durchgeführt und die gesammelten Erkenntnisse beim Einsatz der Software subsumiert. Darüber hinaus werden Hinweise auf Anknüpfungspunkte, sowie ein Ausblick auf mögliche künftige Weiterentwicklungen gegeben.

1.3.2 Aufbau der Arbeit



Abbildung 3: Aufbau der Arbeit

2 Modellierung und Simulation im Kontext der Optimierung von betrieblicher Produktion

2.1 Einführung

Der Ansatz der Modellbildung und Simulation wird bereits seit längerer Zeit zur Analyse komplexer Systeme eingesetzt. Bereits im Jahr 1966 veröffentlichten Naylor, et al. „*Computer Simulation Techniques*“ [Naylor, et al., 1966] und beschrieben Rahmenbedingungen, für die der Gebrauch von Simulationstechniken nutzbringend ist [vgl. Banks, et al., 2005, S. 4]. Seitdem konnten, auch durch das Erstarben der Rechenleistung von Computern, immer komplexere Sachverhalte simuliert und neue Anwendungsfelder erschlossen werden³⁷. Im Kontext der Produktionssimulation, die eines der ersten Anwendungsgebiete der computergestützten Simulation war, hat sich der Fokus im Laufe der Zeit gewandelt. In der Vergangenheit lag das hauptsächliche Ziel in der Optimierung der ökonomischen In- und Output-Relationen, mit einem Fokus auf Kosten, Durchlaufzeiten und Auslastungen von Maschinen und Lagern. Aktuelle Veröffentlichungen in diesem Bereich fokussieren nunmehr u.a. auch auf Materialien, Substanzen, Emissionen und Energie sowie prinzipiell auf die Eingliederung neuer Kriterien und auf die Betrachtung des Systems der Produktion aus neuen Blickwinkeln³⁸. Eine dieser Entwicklungen ist die Verbindung des „*Weltbilds*“ der Modellierung und Simulation mit der „*stoffstromorientierten Perspektive des betrieblichen Umweltschutzes*“, die von Wohlgemuth hergestellt wurde [Wohlgemuth, 2005, S. 1 ff.]. Seine Arbeit demonstriert dabei die generelle Machbarkeit der sinnvollen Verbindung verschiedener, vormals getrennter Perspektiven in einem Simulationsmodell. Zudem wird auch die nutzbringende Kombination unterschiedlicher Verfahren aufgezeigt, da die Perspektiven hauptsächlich aus den Verfahren der Materialflussanalyse (MFA) und der Ereignisdiskreten Simulation (DES) erschlossen werden. Auch die Lebenszyklusanalyse (LCA) konnte im Zuge von Forschungsprojekten in dieselbe Simulationssoftware integriert werden, was die perspektivische Kombination von ökologischen und ökonomischen Kenngrößen erweitert [Widok, et al., 2012 (a), S. 264 ff.]. Die vorliegende Arbeit steht damit in der Tradition, diese Erweiterung im Anwendungskontext von Produktionsbetrieben fortzusetzen, mit dem Ziel ein ganzheitlicheres Verständnis von Produktionssystemen zu fördern.

Für den folgenden Abschnitt ist zu beachten, dass bereits von einer Reihe von Autoren umfangreiche Vorarbeiten im Bereich der Modellbildung und Simulation geleistet worden sind³⁹. Dies impliziert, dass die Grundlagen bereits mehrfach veröffentlicht und diskutiert

³⁷ Heutzutage findet man Simulationen in vielen Bereichen des öffentlichen Lebens (bspw. im Verkehr oder der Wettervorhersage) sowie im Kontext komplexer Fragestellungen, die mit anderen mathematischen Verfahren nicht gelöst werden können. Für generelle Anwendungsfelder siehe Page [Page, 1991, S. 19], sowie [Banks, et al., 2005, S. 9 f.], für Fallbeispiele in der Produktion März, et al., [März, et al., 2011, S. 47 ff.] und im Kontext von Nachhaltigkeit und Produktion Seliger [Seliger, 2012, S. 3 ff.].

³⁸ Dies erfolgt zusätzlich zu dem kontinuierlichen Bestreben einer verbesserten Anwendung von Simulationsverfahren. Einen Überblick über den Stand der Technik im ökologischen Bereich ist zu finden in Thiede [Thiede, et al., 2013, S. 80 ff.]. Für Anwendungsbeispiele siehe Seliger [Seliger, 2012, S. 3 ff.].

³⁹ Zu nennen sind hier u.a. Page [Page, 1991] und Kreutzer [Page & Kreutzer, 2005], Košturiak und Gregor [Košturiak & Gregor, 1995], Sauerbier [Sauerbier, 1999], Law und Kelton [Law & Kelton, 2000], Gehlsen [Gehlsen, 2004], Banks, et al. [Banks, et al., 2005] und Wohlgemuth [Wohlgemuth, 2005].

wurden, sodass der folgende Abschnitt sich auf die Präsentation der nötigen Verständnisgrundlagen beschränkt. Allerdings wird sich dieses Kapitel, nachdem in den Punkten 2.2 und 2.3 das Grundverständnis für Simulation im Generellen und die Verbindung von Simulation und Optimierung geschaffen wurde, auf aktuelle Entwicklungen und insbesondere auf die fortschreitende Kombination verschiedener Verfahren konzentrieren. Dies erfolgt, da die Verbindung verschiedener Ansätze, gerade in Bezug auf eine ganzheitlichere Sicht, voraussichtlich noch an Relevanz gewinnen wird⁴⁰.

2.2 Inhalt und Implikationen der Begriffe Modellierung und Simulation

2.2.1 Definitionen und Fachbegriffe

In der Richtlinie 3633 des Vereins der deutschen Ingenieure (VDI) wird der Begriff Simulation definiert als „*Verfahren zur Nachbildung eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind*“ [VDI 3633, 2013, S. 16]. Um diese Definition von Simulation korrekt interpretieren zu können, muss eine Reihe von Fachbegriffen, beginnend mit dem „System“, im Bezug erläutert werden. Im Folgenden werden die Begriffe Modell, Prozess, Dynamik und Experiment genauer beleuchtet. Darüber hinaus wird auf die Überprüfung von Modellen eingegangen, indem ihre Validierung und Verifikation erklärt werden.

2.2.1.1 System

Ein System ist die ideelle Verbildlichung eines Raumes, der durch eine Struktur gekennzeichnet ist. Die Struktur ihrerseits wird durch Elemente und ihre Verbindung charakterisiert. Der altgriechische Ursprung des Begriffes „σύστημα“ bedeutet sinngemäß „aus (Einzel-)Teilen Zusammengesetztes“. Die Verbildlichung schließt sich dabei, i.d.R., der Wahrnehmung eines Realsystems an; sie kann aber auch ausgelöst werden durch kognitives Erkennen von Strukturen zwischen abstrakten oder virtuellen Elementen und der folgenden Grenzziehung zwischen dem Raum, der die Elemente einschließt, und der Systemumgebung. Das Wahrnehmen von System-Räumen und System-Zusammenhängen wird dabei auch als „Denken in Systemen“ titulierte. Diese Begriffsfolge entspricht einer Haltung (komplexe) Zusammenhänge in Systemen zu erfassen und zu verstehen⁴¹. Ihr Zweck entspricht dem Verständnis, durch die Systembildung komplexe Beziehungsgefüge so abzubilden, dass sie in ihrer Komplexität leichter erfassbar sind und aufgrund dieser Abstraktion einfacher als das Realsystem analysiert werden können⁴². Die Komplexität wiederum ergibt sich

⁴⁰ So gibt es bspw. mittlerweile verschiedene Ansätze der Kombination von Verfahren bei der Betrachtung des Lebenszyklus von Produkten. Einerseits werden dabei LCA Daten mit ereignisdiskreten Simulationsmodellen (DES Modellen) verbunden (siehe Widok [Widok, et al., 2012 (a), S. 264 ff.] und Andersson [Andersson, et al., 2012, S. 1761 ff.]). Andererseits kann der Lebenszyklus als System Dynamics (SD) Modell evaluiert werden, während die Produktionsphase wiederum mit DES Modellen dargestellt wird (siehe [Jain, et al., 2013, S. 1996 ff.] und [Venkateswaran & Son, 2005, S. 4397 ff.]). Auch Verbindungen mit agentenbasierten Modellen/Simulation (ABS) wurden bereits in diesem Kontext realisiert (siehe [Potchanasin, 2008, S. 54 ff.]). Eine Erläuterung der Relevanz dieser Verbindungen erfolgt in Abschnitt 2.4. Grundsätzlich wird die Anwendung von ABS und SD in dieser Arbeit jedoch nicht vertieft. Für Einsatzgebiete und Anwendungsbeispiele in der Produktion s. allerdings [Mařík & McFarlane, 2005, S. 32] und die verfahrenübergreifenden Quellen.

⁴¹ Auch „da der reine Ursache-Wirkung-Ansatz nicht mehr erfolgreich ist“ [vgl. Grützner, 1997, S. 3].

⁴² Page nennt dies aus ein Ausklammern „à priori“ aufgrund der „problemabhängigen“ Definition von Systemen in der Systemanalyse [vgl. Page, 1991, S. 2].

durch die Anzahl und Art der Verbindungen der Systemelemente (strukturelle Komplexität⁴³) oder auch „*Verflechtungsgrad*“ genannt [vgl. Wohlgemuth, 2005, S. 10], [vgl. Page, 1991, S. 3]. Dieser steigt mit der Anzahl von Verbindungen im Verhältnis zu der Anzahl von Elementen an [vgl. Page, 1991, S. 3]. In Forrester's Definition wird zusätzlich noch ein Interaktionszweck der Elemente angenommen. Er schreibt: „*Ein System ist eine Menge miteinander in Beziehung stehender Elemente, die zu einem gemeinsamen Zweck operieren.*“ [Forrester, 1972, S. 9]. Der „*gemeinsame Zweck*“ ist dabei nicht mit dem Untersuchungszweck zu verwechseln, sondern beschreibt eher den Umstand, dass Elemente, die keine substantielle Veränderung zum Systemverhalten beisteuern, abstrahiert werden könnten. Konsequenterweise würden, in einem wohl definierten System, alle enthaltenen Elemente zu einem Zweck interagieren, bzw. zu einem bestimmten Output beisteuern⁴⁴. Banks, et al. schreiben dazu: „*A system is defined as a group of objects that are joined together in some regular interaction or interdependence toward the accomplishment of some purpose.*“ [Banks, et al., 2005, S. 9]. Law und Kelton verwenden fast die gleiche Definition mit dem Unterschied, dass die Begriffe „*objects*“ und „*purpose*“ durch „*entities*“ und „*logical end*“ ersetzt werden [Law & Kelton, 2000, S. 3]. Als Beispiel für die zweckgebundene Interaktion führen Banks, et al. ferner die Maschinen einer Produktion als Systemelemente an, deren Interaktion auf den Zweck ausgerichtet ist, ein Automobil zu fabrizieren. Dieses Beispiel beschreibt dabei schon die Grundzüge der Produktionssimulation, bzw. der Modellierung von Produktionssystemen, in denen durch Elemente zuerst Maschinen, später auch Lager und Ressourcen repräsentiert wurden. Als Charakteristika von Systemen unterscheidet Wohlgemuth zwischen:

- statischen und dynamischen Systemen (mit oder ohne Zustandsveränderung, d.h., einer Veränderung der Zustände von Elementen),
- kybernetischen und nicht kybernetischen (mit oder ohne Rückkoppelungsschleifen, siehe Abb. 4 auf der nächsten Seite),
- offenen und geschlossenen (mit oder ohne Interaktion mit der Systemumgebung)⁴⁵
- und führt darüber hinaus das zeitliche Entwicklungsverhalten an,
- sowie die Substitution von Elementen durch Systeme (Subsysteme) [vgl. Wohlgemuth, 2005, S. 10 f.]⁴⁶.

⁴³ Meadows fasst die Struktur betreffend zusammen: „*Systemstruktur ist die Quelle des Systemverhaltens. Systemverhalten offenbart sich als Abfolge von Ereignissen im Zeitverlauf*“ [Meadows, 2010, S. 109], was in der Folge noch anhand der Systemdynamik (2.2.1.4) erläutert wird.

⁴⁴ Die Grenze zwischen dem gemeinsamen Interaktionszweck und dem Untersuchungszweck kann jedoch teilweise schwer zu trennen sein, da die Systemelemente logisch auf Basis des Untersuchungszweckes mit ins System aufgenommen werden und schlussfolgernd ihre Interaktion auch in Relation zum Untersuchungszweck steht. Für weitere Informationen siehe auch Sauerbier, der sich auf Kaaz Systemdefinition stützt [Kaaz, 1972, S. 537 ff.] und den Systemzweck als „*definitorisches Merkmal*“ diskutiert (wobei er sich wiederum auf Law und Kelton [Law & Kelton, 1991, S. 3] bezieht) und schließlich ausschließt [Sauerbier, 1999, S. 17].

⁴⁵ Generell ist davon auszugehen, dass es geschlossene Systeme nur abstrahiert gibt (d.h., sie kommen in der Realität nicht vor) [vgl. Page, 1991, S. 3]. Als quasi geschlossenes System kann bspw. ein unterirdischer See in der Arktis gelten, dessen Systemelemente nicht (bzw. so gut wie nicht) von außen beeinflusst werden. Das Verständnis der zeitlichen Komponente führt dazu, dass die Abgeschlossenheit nicht absolut, sondern temporär zu sehen ist. Prinzipiell kann zusammengefasst werden, dass die Geschlossenheit eines Systems nur auf Basis zeitlicher, räumlicher oder perspektivischer Restriktion existiert. Auch Bossel greift den Aspekt auf, als Überführung von offenen („*exogener*“) zu geschlossenen („*autonomen*“) Systemen [vgl. Bossel, 1992, S. 39].

⁴⁶ Sauerbiers Aufgreifen der Definition von Kaaz folgt dabei einer generelleren Charakterisierung nach realen oder abstrakten Systemen, der Umgebung, der Verhaltensfunktion und der Struktur [Sauerbier, 1999, S. 17].

In Abbildung 4 ist ein System mit den wesentlichen Systembegriffen visualisiert. Generell ist die Systemgrenze besonders zu beachten, da die Grenzziehung einerseits die Komplexität des Systems beeinflusst und sie gleichzeitig Ausgangspunkt dafür ist, ob das gebildete System im Kontext des Untersuchungszweckes adäquat ist, d.h., ob keine für das Systemverhalten relevanten Elemente ausgeschlossen wurden [vgl. Banks, et al., 2005, S. 9]⁴⁷. Die Pfeile der Abbildung markieren die Flussrichtung der Interaktionsbeziehungen, wobei davon auszugehen ist, dass es durch die Beeinflussung der Systemelemente untereinander zu chronologischer Abfolge von Zustandsveränderungen kommen würde⁴⁸. In dem Fall würde es sich um ein dynamisches System handeln. Ferner sind zwei Rückkoppelungsschleifen abgebildet, eine direkte und eine indirekte, welche beide auf das Systemelement 3 wirken. Demnach ist es ein kybernetisches System. Die indirekte Beeinflussung erfolgt durch ein Wirken von Element 3 auf 2, welches auf 4 wirkt und schließlich einen Wirkkreis bildet, da Element 4 wiederum auf das Ausgangselement 3 wirkt. Weiterhin gibt es Einfluss/Input von außen (Systemeingang) und einen Rückfluss/Output nach Außen (Systemausgang), somit ist es ein offenes System. In Analogie zu dem Beispiel von Banks, et al., könnten die Systemelemente Maschinen repräsentieren, welche Teile des Automobils bearbeiten. In dem Fall kann das zeitliche Entwicklungsverhalten darüber Auskunft geben, welche Maschine arbeitet oder was der Stand eines Produktes ist, bzw. wann es fertiggestellt wird (davon ausgegangen, dass entsprechende Eigenschaften der Elemente abrufbar, bzw. chronologisch nachvollziehbar sind). Schließlich kann man sich eine dieser Maschinen wiederum als System vorstellen, wobei die Systemelemente des Subsystems Maschine, die Komponenten sein könnten, aus denen die Maschine zusammengesetzt ist und die als Interaktionszweck das reibungslose Funktionieren selbiger haben (bspw. Zahnräder, Schaltungen, etc.).

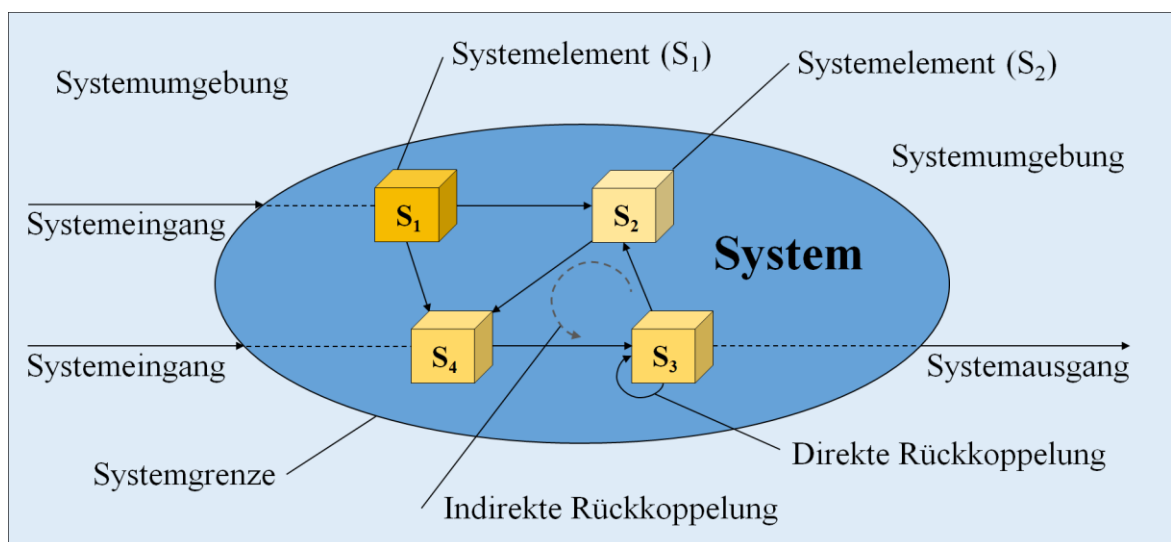


Abbildung 4: Grundlegende Systembegriffe [vgl. Page 1991, S. 3]; [vgl. Wohlgemuth, 2005, S. 13]

⁴⁷ Im Kontext der Dynamik von Systemen ist zudem zu bemerken, dass die Grenze auch das Wachstum und die Wachstumsmöglichkeiten beeinflusst. „In physisch, exponentiell wachsenden Systemen“ bspw. „kann angenommen werden, dass es mindestens eine selbstverstärkende Rückkopplung gibt, die das Wachstum steuert und mindestens eine ausgleichende, weil kein physisches System in einer begrenzten Umgebung ständig weiter wachsen kann“ [Meadows, 2010, S. 78]. So besteht eine direkte Relation zwischen Systemgrenze und den Wachstumsmöglichkeiten/der Dynamik von Systemen, die speziell im ökologischen (aber auch ökonomischen) Verständnis von Nachhaltigkeit eine bedeutende Rolle spielen, siehe Abschnitt 3.1.2.

⁴⁸ Der Zustand des Gesamtsystems ist dabei die Gesamtheit der Zustände der Systemelemente. Das Systemverhalten wird in der Regel auch als Vektor dargestellt [vgl. Page & Kreutzer, S. 5].

2.2.1.2 Modell

Das Ziel der Systembildung - das verbesserte Systemverständnis - wird i.d.R. durch das Verstehen der Qualität und der Quantifizierung der Wechselwirkungen der Systemelemente bestimmt. Diese können durch den Verflechtungsgrad jedoch zu komplex für eine Mustererkennung auf Basis einfachen Betrachtens werden, sodass die Systembildung hier an Grenzen stößt. In diesem Fall ist die Modellierung ein Ansatz zur Komplexitätsreduktion. Dabei ist ein Modell nach den beschriebenen System-Charakteristika auch ein System [vgl. Wohlgemuth, 2005, S. 13], allerdings können von einem System viele verschiedene Modelle erzeugt werden, die alle unterschiedliche Ausprägungen aufweisen. Die Ausprägungen erlauben dann einen Ausschnitt des Systems detaillierter zu betrachten und für den Untersuchungszweck nicht relevante Aspekte zu vernachlässigen. Somit steht die Modellbildung prinzipiell unter einem Untersuchungszweck, der die Überföhrungsfunktion beeinflusst. Die Fokussierung auf einen bestimmten Bereich des Systems kann als Abstraktion tituliert werden, wobei diese genereller zu sehen ist, da auch ohne Fokussierung prinzipiell abstrahiert wird. Generell ist sie Teil des sog. Abbildungsmerkmals, welches Abstraktion und Idealisierung von Systemausschnitten einschließt. Das bedeutet, dass bezugnehmend auf den Untersuchungszweck unwesentliche Elemente, Beziehungen und Korrelationen nicht als Teil des Modells definiert (Abstraktion) oder entsprechend einer mathematischen Leitlinie verändert werden (Idealisierung). Wohlgemuth schreibt bzgl. der Idealisierung, dass sie „das Außerachtlassen von unerwünschten Schwankungen oder nicht relevanten Unregelmäßigkeiten im Systemverhalten“ impliziert [Wohlgemuth, 2005, S. 14]. Abbildung 6 visualisiert die Abstraktion im Bezug zu den Systemelementen 2 und 3.

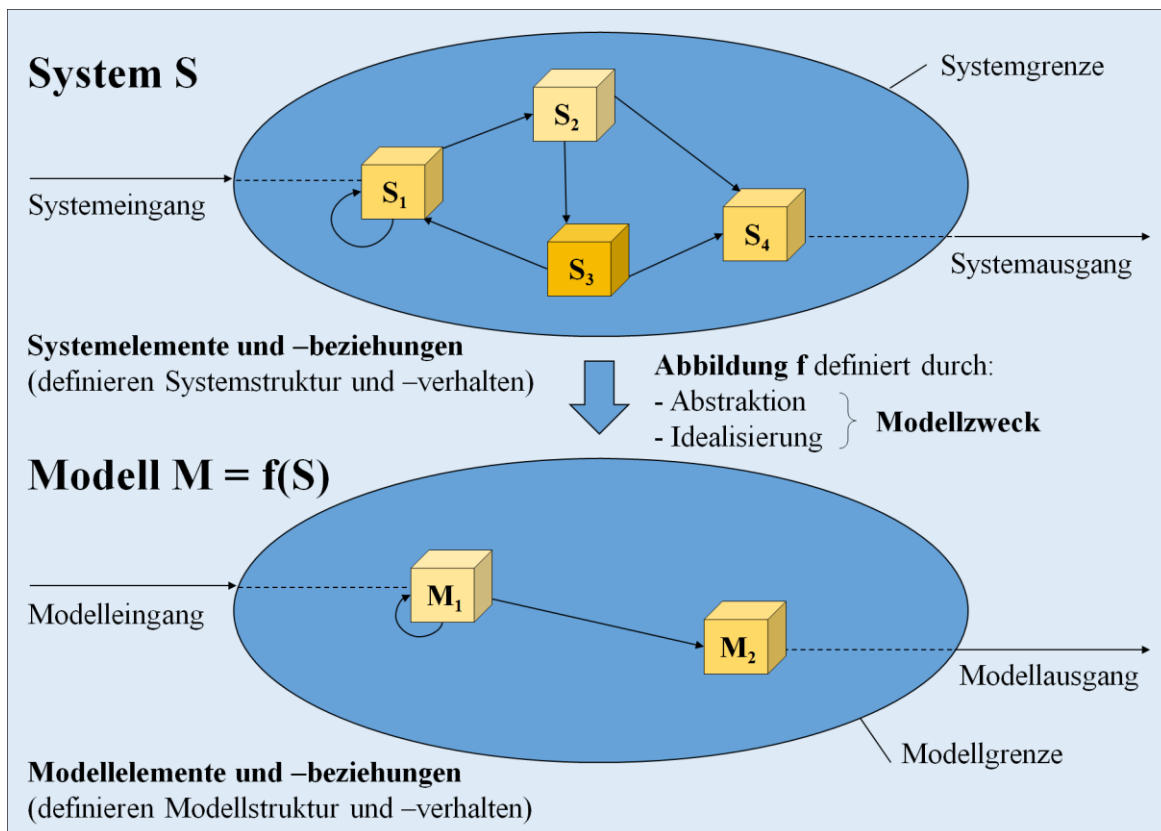


Abbildung 5: Modell als Abbildung eines Systems [vgl. Wohlgemuth, 2005, S. 14]

Zusätzlich zum Abbildungsmerkmal werden das Verkürzungsmerkmal und das sog. pragmatische Merkmal als Überführungsmerkmale erwähnt [vgl. Häuslein 1993, S. 8], [vgl. Wohlgemuth, 2005, S. 14]. Das Verkürzungsmerkmal spezifiziert, dass nur Teilausschnitte des Gesamtsystems in die Betrachtung bzw. in das Modell einfließen und präzisiert diese. Das System wird verkürzt wiedergegeben. Sokolowski und Banks sprechen hier zusammenfassend auch von der „*approximation of real world events*“ [Sokolowski & Banks, 2009, S. 5]. Generell ist zu beachten, dass das Modellverhalten nicht stark vom Systemverhalten abweichen oder zumindest, entsprechend der Überföhrungsfunktion, eindeutig korrelieren sollte. Das pragmatische Merkmal bezieht sich auf die Überföhrung des Originalsystems, im Hinblick auf den Untersuchungszweck, d.h., je nach Zweck kann es mehrere Modelle geben, die spezifisch auf diesen zugeschnitten sind. Dabei wird die Auswahl an Elementen und Beziehungen in Anbetracht des Untersuchungszweckes - pragmatisch - entschieden.

Eine detaillierte Erläuterung zu unterschiedlichen Modelltypen ist in Page [Page, 1991, S. 4 ff.] zu finden. Er klassifiziert Modelle nach:

- Untersuchungsmethode (analytische Modelle und Simulationsmodelle),
- Abbildungsmedium (materielle, verbale, grafisch-deskriptive, mathematische und grafisch-mathematische Modelle),
- nach Art der Zustandsübergänge (statisch, dynamisch, und respektive deterministisch und stochastisch für verschiedene zeitdynamische Betrachtungen),
- sowie nach Verwendungszweck (Erklärungsmodelle, Prognosemodelle, Gestaltungsmodelle und Optimierungsmodelle) [Page, 1991, S. 4 ff.].

Da nicht alle Modelle für diese Arbeit relevant sind, wird bzgl. einer tieferen Erläuterung auf obige Quellen verwiesen⁴⁹. Die relevanten Aspekte werden jedoch in der Folge vertieft.

2.2.1.3 Prozess

Die unter Punkt 2.2.1 erwähnte Definition von Simulation erwähnt zusätzlich die „dynamischen Prozesse“, die als Eigenschaft des zu modellierenden Systems erwähnt werden⁵⁰. Ein Prozess ist prinzipiell durch eine Überföhrungsfunktion charakterisiert, die einen Input in einen Output transformiert. Er wird bspw. bei Konzeptmodellen als Verb gekennzeichnet, da er selbst kein Element ist und i.d.R. ohne eigenen Zustand qualifiziert wird (siehe Abbildung 7). Das Substitutionsprinzip von Systemen gilt dabei auch für Prozesse.

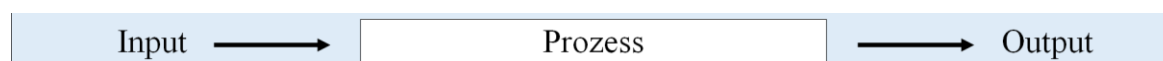


Abbildung 6: Simple Prozessansicht

Entsprechend einer offenen Systemdefinition verfügt jedes System über Eingangs- und Ausgangsgrößen und stellt somit in seiner Gesamtheit einen Transformationsprozess dar. In

⁴⁹ Bzgl. weiterer Klassifikationen von Modellen siehe auch Wohlgemuth [Wohlgemuth, 2005, S. 14 ff.], Sauerbier [Sauerbier, 1999, S. 18] sowie Košturiak und Gregor 1995 [Košturiak und Gregor 1995, S. 7]. Klassifikationen von Umweltmodellen, d.h. von Modellen mit stärkerem Fokus auf den Umweltbezug, werden u.a. auch von Grützner ausgeführt [Grützner, 1997, S. 7].

⁵⁰ Zur Erinnerung, die Formulierung lautete verkürzt: „(...) eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen“.

dem Sinne können ganze Systeme, inklusive ihrer Elemente, als Prozess definiert werden. Detaillierter betrachtet, bezieht sich der Begriff auf die Folgen von Aktivitäten und Ereignissen, die die Einwirkungen auf die Zustände der Systemelemente widerspiegeln. Abbildung 8 visualisiert eine Folge von Systemelementen mit ihren Interaktionsbeziehungen als Produktions-Prozess. Dies ist im Kontext von Produktionssystemen insofern relevant, da oftmals Fragestellungen nach dem Austausch von (Bearbeitungs-)Prozessen gestellt werden, die verschiedene Maschinen und Bearbeitungsschritte mit einschließen.

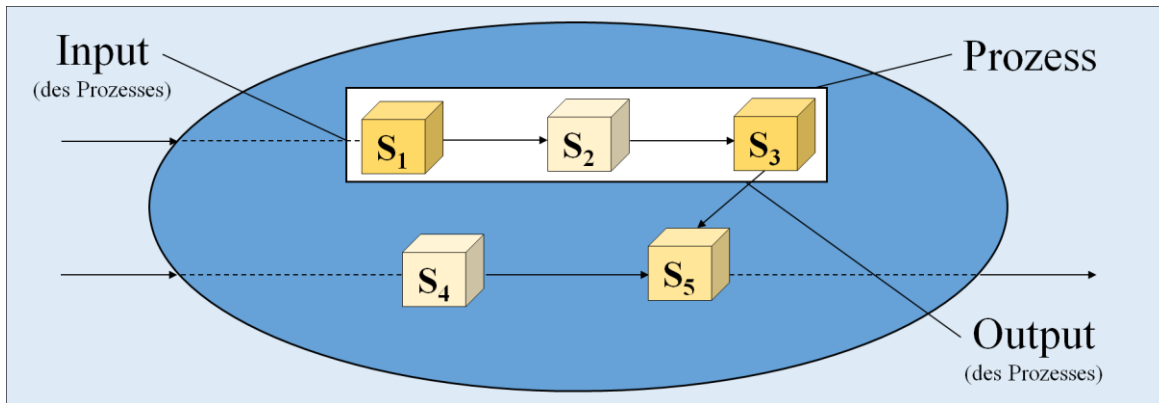


Abbildung 7: Prozess innerhalb eines Systems

In Anbetracht dieser Wahrnehmung sollte jedoch vorsichtig getrennt werden; der VDI spezifiziert diesbezüglich, dass es sich „unter einem auf ein Modellelement bezogenen Prozess“ um „eine Folge von zusammengehörenden Ereignissen und Aktivitäten in einem Zustandsraum“ handelt [VDI 3633, 2013, S. 15]. Es gibt also die Möglichkeit, auf ein Element fokussiert zu definieren. Gleichzeitig kann jedoch der Objekt- und Zeitbezug ausreichen (wie oben), so definiert Page einen Prozess als die Folge von objektbezogenen, Zeit verbrauchenden Aktivitäten [vgl. Page, 1991, S. 27]. Diese können im Prozessverlauf mehrere Elemente/Objekte in ihren Zuständen verändern (da sie mehrere Aktivitäten und Ereignisse elementübergreifend einschließen können). In Anbetracht unterschiedlicher Disziplinen kann hier die, eher aus der Wirtschaftswissenschaft stammende, Definition eines Produktionsprozesses weiter gefasst werden; sie charakterisiert sich aber ebenso durch das Prinzip der Input-/Outputtransformation. Im Simulationskontext liegt der hauptsächliche Fokus auf den verschiedenen Ansätzen zur Berechnung von Zustandswerten über die Zeit. Hier trennt man u.a. nach ereignisorientierter, aktivitätsorientierter und prozessorientierter Zeitwahrnehmung, was in der Folge an der Dynamik eines Systems ausgeführt wird.

2.2.1.4 Dynamik

Die Dynamik eines Systems beschreibt die Art und Weise, wie die Zustandsübergänge von Elementen definiert sind. Aus den Zuständen der Elemente des Systems ergibt sich wiederum der Zustand des Gesamtsystems⁵¹. Als statisches Modell kann man sich das Modell eines Architekten vorstellen, dessen Zweck ist, das Endresultat von Bauarbeiten vor dem eigentlichen Bau darzustellen. Das Modell ändert sich nach seiner Fertigstellung nicht mehr

⁵¹ Wobei die Struktur auch durch die Zustände der Elemente beschrieben werden kann, wenn man die Verbindungen der Elemente zueinander und ihre Wechselwirkungen als Eigenschaften der Elemente begreift.

oder nur noch auf Basis neuer Anforderungen. Im Falle von dynamischen Systemen sind nicht nur das Endresultat relevant, sondern auch die internen Abläufe, die zu diesem Resultat führen⁵². Das bedeutet, dass die Zustände der Elemente zu verschiedenen Zeitschritten betrachtet werden können. Dadurch kann der Einfluss, den die Elemente aufeinander haben, beobachtet und ggf. besser verstanden werden. Man unterscheidet zwischen diskreten und kontinuierlichen Zeitfortschritten, wobei es bei diskreten Fortschritten zu keinen Zustandsveränderungen zwischen zwei Zeitschritten kommt (siehe Abbildung 8, linke Seite). Dies entspricht ereignis- und zeitgesteuertem Simulationsablauf [vgl. VDI 3633, 2013, S. 17].

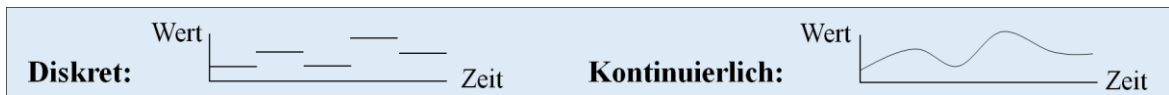


Abbildung 8: Diskrete und kontinuierliche Zeitfortschritte [vgl. Wohlgemuth, 2005, S. 17]

Banks, et al. geben als Beispiel für die diskreten Wertebelegungen die Kundenanzahl in einer Warteschlange an, d.h. es gibt keine $1\frac{1}{2}$ Kunden die warten und keinen anderen Zwischenwert, sondern nur ganze Zahlen/Kunden zu eindeutig definierten Zeitpunkten. Diese definierten Zeitpunkte werden durch Ereignisse gekennzeichnet. Ein entsprechendes Ereignis wäre das Eintreffen eines Kunden. Daraufhin würde das Ereignis der Bearbeitung des Kundenanliegens folgen. Sobald dieses initiiert wird, tritt gleichzeitig eine Zustandsveränderung auf (da ein Kunde die Warteschlange verlässt) und der Wert des Zustands „springt“, ohne dass Zeit verstreicht bspw. von 3 auf 2. Für die kontinuierlichen Werte geben sie, im Vergleich, die Wassersäule an einem Damm an [Banks, et al., 2005, S. 12]⁵³. Die Behandlung des Zusammenspiels zwischen Zeit und Aktivität wird in Simulationen u.a. anhand von Ereignissen, Aktivitäten und Prozessen geregelt. Abbildung 9 verbildlicht die Relationen zwischen diesen, für mehr Informationen siehe Abschnitt 2.4 und Page [Page, 1991, S. 27].

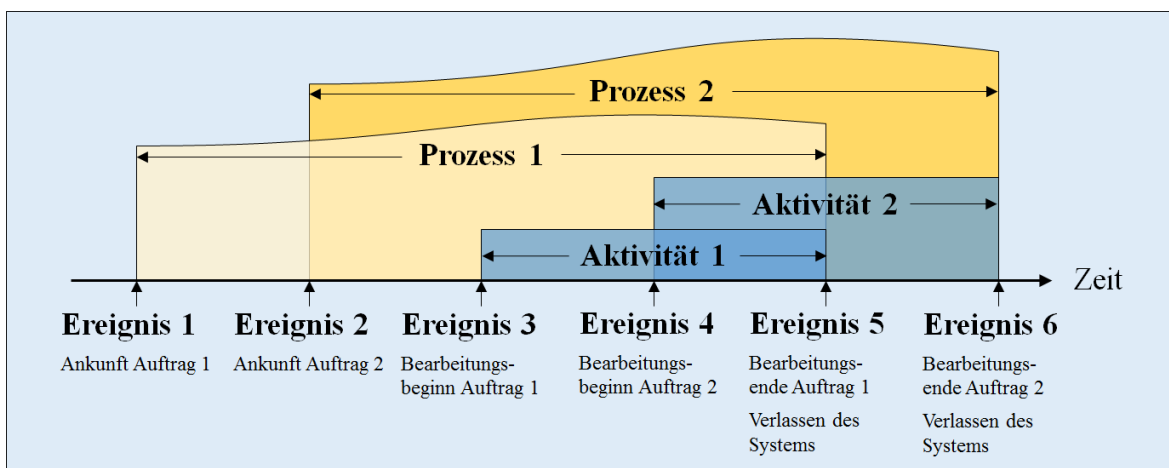


Abbildung 9: Ereignis, Aktivität und Prozess am Beispiel Auftragsbearbeitung [vgl. Page, 1991, S. 27]

⁵² Ferner sind Struktur und Interaktionsbeziehungen von Relevanz, da Systeme mit gleicher Rückkopplungsstruktur das gleiche dynamische Systemverhalten erzeugen [vgl. Meadows, 2010, S. 68]. Zudem können sich komplexe Verhaltensweisen ergeben, wenn die relativen Stärken von Rückkopplungen sich verändern und so erst die eine und später eine andere Rückkopplung das Verhalten dominiert [vgl. Meadows, 2010, S. 62].

⁵³ Es ist noch zu erwähnen, dass die kontinuierliche Wahrnehmung in Anbetracht kleinster beobachtbarer Teile oder Rechenschritte wiederum diskret zu sehen ist. Für das Beispiel des kontinuierlichen Zeitfortschrittes (Wassersäule) ist die Anzahl an Wassermolekülen (als diskrete Größe) allerdings schwer messbar und in ihrer Aussagekraft vernachlässigbar im Vergleich zur „normalen“ Standanzeige. Die Erfassung der kleinsten „messbaren“ Größe ist aus diesem Grund i.d.R. nicht als Untersuchungsziel zu werten.

Es ist festzuhalten, dass der wesentliche Unterschied zwischen der prozessorientierten Simulation und der ereignisorientierten sich auf die Handhabung des Zeitfortschritts bezieht⁵⁴. Dabei ist die *„wesentliche Eigenschaft der prozessorientierten Simulation, dass zwischen dem Aufruf der Methode eines Objekts und der Rückkehr aus dem Aufruf Simulationszeit vergehen kann“* [Sauerbier, 1999, S. 32], [vgl. Page, 1991, S. 31], [vgl. Spaniel & Hoff, 1995, S. 9]. Es kann hier bspw. Warteweisungen geben (d.h. „warte 1 Minute, dann führe fort“). Im Gegensatz dazu kann bei der ereignisorientierten Simulation *„während des Aufrufs eines Objekts keine Zeit verstreichen“* [vgl. Sauerbier, 1999, S. 33].

Die in der VDI-Definition von Simulation genutzte Formulierung von *„dynamischen Prozessen“* impliziert somit, dass ein System über zeitverbrauchende Veränderungsmuster von Zustandswerten verfügt. Sie spielt nicht auf die Art und Weise der Zeitbehandlung an, sondern nutzt den Prozessbegriff bzgl. zeitverbrauchender Input-/Outputtransformationen. Diese zeitlichen Muster sind die Grundlage der Dynamik des *„experimentierbaren“* Simulationsmodells. Was der Begriff des Experimentierens impliziert, wird in der Folge erläutert.

2.2.1.5 Experiment

Das Experimentieren mit Simulationsmodellen bezieht sich auf die Veränderungen von Eingangsparametern (*„Steuerungsgrößen“* [Wohlgemuth, 2005, S. 18]), um Szenarien inkl. der Zustandsveränderungen durchzuspielen. Als Parameter werden dabei die veränderlichen Eigenschaften benannt, welche die Elemente und der Einfluss ins System aufweist. Ein Element kann eine Reihe von Eigenschaften haben. In dem Beispiel der Autofabrik kann bspw. der Stromverbrauch der Maschinen als Eigenschaft festgestellt werden, der sich in Abhängigkeit der Maschinenfunktion über die Zeit verändert. Mögliche Eingangsparameter wären bspw. in welchem Arbeitszustand die Maschine ist oder wann sie das letzte Mal gewartet wurde. *„Die konkreten Wertebelegungen aller zur Berechnung eines Modells notwendigen Eingangsgrößen und Parameter lassen sich als Eingabevektor bezeichnen“* [Wohlgemuth, 2005, S. 19]. Der Eingabevektor entspricht dabei der mathematischen Formalisierung der Zustände der Elemente und Zuflussgrößen; auf seiner Basis kann die Wertebelegung zu einem Endzustand des Modells berechnet werden⁵⁵. Der Untersuchungszweck kann sich bspw. auf das Endresultat, die Dynamik der Zustände oder ihre Wertebelegung zu Zeitpunkten beziehen. Prinzipiell geht es entweder um das Systemverhalten oder Kenngrößen.

2.2.1.6 Simulation

Je nach Verallgemeinerungstiefe wird Simulation unterschiedlich definiert und bezieht sich mit mehr oder weniger Details auf die bisher beschriebenen Inhalte. Da für einen Simulationslauf ein Modell benötigt wird, wird selbst der Prozess des Modellierens bei mancher

⁵⁴ Daraus ergibt sich die Unterteilung nach „event-driven“, d.h. ereignisgesteuert, und „time-driven“, d.h. zeitgesteuert, welche als charakteristischer Unterschied der Ablaufsteuerung der Simulation festzuhalten ist. Siehe auch Page und Kreutzer [Page & Kreutzer, 2005, S. 11] und Page, et al., [Page, et al., 2000, S. 6].

⁵⁵ Dabei ist zwischen deterministischen und nicht-deterministischen Modellen zu unterscheiden. Deterministische Modelle würden bei gleicher Wertebelegung immer das gleiche Resultat liefern, wobei nicht-deterministische Modelle u.a. durch stochastische Verteilungen gekennzeichnet sind, welche die Zustandsgrößen und das Resultat pro Experiment variieren. Auf diese Varianz und die Unterschiede der mathematischen Behandlung wird noch eingegangen, siehe auch Kapitel 4 über statistische Verfahren in Page [Page, 1991, S. 103 ff.].

Definition der Simulation mit eingeschlossen. Generell kann aber der Vorgang des Experimentierens mit einem Modell, welches auf Basis eines Systems erstellt wurde und wiederum einen dynamischen Prozess abbildet, als Simulation definiert werden. Dies entspricht der VDI-Definition. Banks, et al. schreiben genereller: „*A simulation is the imitation of the operation of a real-world process or system over time.*“ [Banks, et al., 2005, S. 3]. Wobei die Formulierung „*a simulation*“ sich auf einen Simulationslauf beziehen kann und damit wiederum auf den Vergleich zwischen dem Ablauf des realen Prozesses und dem Berechnen des Modells. Eine Simulation wäre somit bereits das einmalige Durchführen eines Experiments. Genereller kann man feststellen, dass die Simulation ein Verfahren der Systemanalyse ist und sich durch die zeitdynamische Betrachtungsweise gegenüber anderen Verfahren (wie bspw. Operations Research) abgrenzt (siehe auch Abschnitt 2.2.2)⁵⁶.

2.2.1.7 Validierung und Verifikation

Es gibt zwei hauptsächliche Methoden, zur Überprüfung von (Simulations-)Modellen, die Validierung und die Verifikation. Dabei ist der Verifikationsprozess i.d.R. chronologisch vor der Validierung anzusetzen. In ihm wird überprüft, ob das Modell mit den Hypothesen, die das Originalsystem beschreiben, übereinstimmt. Es handelt sich bei der Verifikation also um den Abgleich zwischen (initialen) Spezifikationen und der Umsetzung dieser (bezogen auf jeden „*Einzelschritt*“ [Sauerbier, 1999, S. 103]). Die Validierung erfolgt i.d.R. nach Modellierung und Simulation. Sie prüft, ob das Modellverhalten mit dem des Originalsystems korreliert. Sauerbier spricht bzgl. der Übereinstimmung von „*hinreichend genau*“ [Sauerbier, 1999, S. 103], Göbel analog von „*sufficiently exact*“ [Göbel, 2012, S. 22]. Abb. 10 verdeutlicht beide Ansätze. Bzgl. der Gültigkeit von Modellen kann nach Struktur, Verhalten, Empirie und Anwendung geprüft werden [vgl. Bossel, 1992, S. 36]. Für weitere Informationen siehe Page [Page, 1991, S. 145 ff.] und Sauerbier [Sauerbier, 1999, S. 103 ff.]⁵⁷.

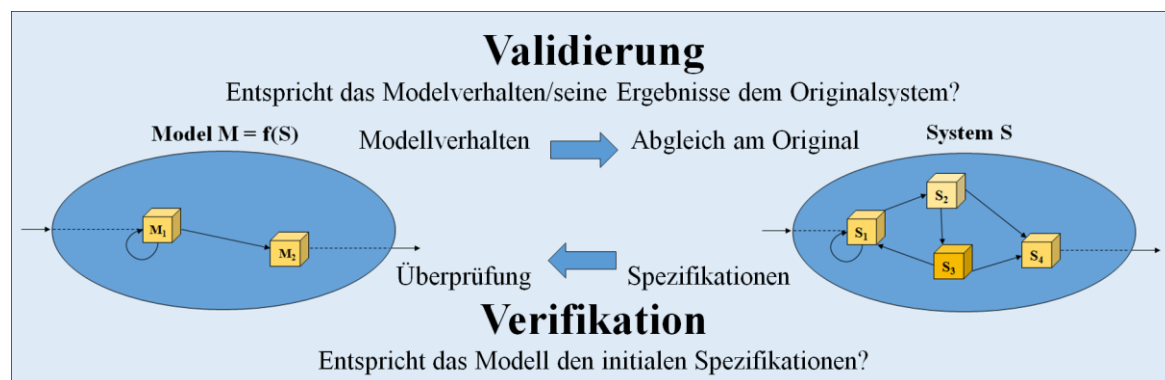


Abbildung 10: Validierung und Verifikation

⁵⁶ Die zugrundeliegende Modelldefinition wird allerdings teilweise auch weit gefasst. So kann es sein, dass das Verändern von Eingabewerten in Masken, die einen dynamischen Prozess beschreiben, und das anschließende Berechnen von Ausgangswerten als Simulation bezeichnet wird. Meistens kommt es allerdings nicht zu einer Betrachtung der Dynamik des Systems, weshalb diese Definition oft nicht verwendet wird. Auch da das „Modell“ in dem Fall eine gewisse Statik aufweist, die nicht exemplarisch für Simulationsmodelle ist.

⁵⁷ Bzgl. der Abbildungsfunktion durch Modelle notiert Meadows, dass Modelle die Welt nur sehr unvollkommen widerspiegeln. „*In unseren Köpfen können wir nur über sehr wenige Variablen gleichzeitig die Übersicht behalten. Wir ziehen aus korrekten Voraussetzungen oft unlogische Schlüsse, oder wir ziehen aus unrichtigen Annahmen logische Schlussfolgerungen. Die meisten von uns sind beispielsweise vom Ausmaß des Wachstums überrascht, das ein exponentieller Prozess hervorbringt. Nur wenige von uns können intuitiv erkennen, wie Schwingungen in einem komplexen System zu dämpfen sind*“ [Meadows, 2010, S. 106 f.].

2.2.2 Grundlagen der Anwendung der Modellbildung und Simulationen

2.2.2.1 Gründe für den Einsatz von Simulation

Abgesehen von den folgenden, eher projektbezogenen Zielen der Simulation, können generelle Gründe für den Einsatz von Simulation angeführt werden. Diese sind:

- **die Undurchführbarkeit von Untersuchungen am Originalsystem**, aufgrund:
 - der Abwesenheit des Originalsystems (Beispiele: Modelle eines noch nicht gebauten Formel 1 Motors, das Strömungsverhalten von Flugzeugtragflächen vor ihrem tatsächlichen Bau),
 - der „Unzugänglichkeit des zu untersuchenden Originalsystems“ [Wohlgemuth, 2005, S. 20 f.] (Beispiele: Strömungsverhalten in der Tiefsee, Prüfung der Existenz von Wasser auf dem Mars),
 - der Unmöglichkeit die zu untersuchenden Prozesse in der Realität herbeizuführen (Beispiele: Erdbeben, Tsunami) [vgl. Sauerbier, 1999, S. 5],
- **hohe Kosten** (Beispiele: Space Shuttle Flüge, der Bau einer neuen Betriebsanlage – hier ist zu eruieren, ob der tatsächliche Bau und die nachgelagerte Veränderung wesentlich teurer wäre, als eine simulationsgestützte Prüfung der Planung),
- **ethische Gründe** (Beispiele: Ausbreitung von Panik und folgenden Fluchtreaktionen von Menschen bei Massenveranstaltungen, Crashtests),
- **zeitliche Restriktionen** (Beispiele: geologische Prozesse (zu langsam), Computerprozessoren (zu schnell)).

Dazu kommen die **Dokumentation** und **Reproduzierbarkeit der Simulationsergebnisse**, die als Ausgangsbasis für Entscheidungen genutzt werden können. Für weitere Beispiele siehe auch Bossel [Bossel, 1992, S. 13], Sauerbier [Sauerbier, 1999, S. 5] und Wohlgemuth [Wohlgemuth, 2005, S. 20 f.] und bzgl. Produktionssimulation März, et al. [März, et al., 2011, S. 3 f.].

2.2.2.2 Ziele und Nutzen der Simulation

Der allgemeinste Ansatz der Simulation ist die Nutzung eines Modells, um das Verhalten eines "Original"-Systems abzubilden und auf dessen Basis Berechnungen durchzuführen [vgl. Wohlgemuth, 2005, S. 9], [vgl. Page 1991, S. 7]. Die Berechnungen können allerdings unterschiedliche Ziele haben. Mehrere Autoren stellen hier den grundsätzlichen Unterschied zwischen „*What if*“ und „*How to*“ Fragestellungen fest und sehen in der Formulierung „Was ist zu tun, um ein bestimmtes Ergebnis zu erreichen?“ die Überleitung zur simulationsgestützten Optimierung [vgl. Banks, et al., 2005, S. 7], [vgl. Wohlgemuth, 2005, 23 ff.], [vgl. Gehlsen, 2004, S. 12 ff.].

Prinzipiell wird Simulation dort eingesetzt, wo andere mathematische Lösungsverfahren aufgrund der Komplexität nicht zu optimalen Lösungen kommen. Hier bietet die Simulation durch ihr Prinzip des Experimentierens die Möglichkeit, sich dem Optimum „*abschätzbar gut*“ anzunähern [vgl. Küll & Stähly 1999, S. 1], [vgl. Wohlgemuth, 2005, S. 23]. Simula-

tion wird daher auch als heuristisches Verfahren angesehen, da nur ein Teil der Lösungsräume betrachtet wird und durch die Komplexitätsreduktion sinnvolle Ergebnisse erst möglich werden (bei komplexen Modellen) [vgl. Wohlgemuth, 2005, S. 23].

Darüber hinaus können Unterschiede bzgl. der Art des Einsatzes von Simulationen gemacht werden. Gehlsen zählt dabei taktisches, strategisches und operatives Vorgehen auf, welche unterschiedliche Schwerpunkte bei der Beantwortung von o.g. Fragestellungen setzen [vgl. Gehlsen, 2004, S. 15]. Abgesehen von den das Systemverhalten eruiierenden „What if“-Fragestellungen, handelt es sich bei den meisten operativen Zielstellungen um Verbesserungen von Kenngrößen. Strategische und taktische Zielstellungen können zusätzlich in einen größeren (Optimierungs-)Prozess eingebunden sein. Dabei werden i.d.R. iterative Verbesserungszyklen durchlaufen, in denen Simulation als ein Baustein zur Bestimmung von den wichtigsten Einflussgrößen genutzt wird [vgl. Gehlsen, 2004, S. 13]. Hier kann es jedoch auch bereits im Vorfeld und im Anschluss an die Nutzung von Simulation zur Nutzung von Methoden kommen, um signifikante Einflussgrößen „auszusieben“, siehe für entsprechende Methoden auch VDI 3633 Blatt 3 [VDI 3633 Blatt 3, 1997, S. 6].

Es kann demnach der grundsätzliche Unterschied gemacht werden zwischen den „lediglich“ beschreibenden Zielstellungen der Simulation und Zielen, die darauf hinsteuern, ein bestimmtes Systemverhalten zu erreichen. Bei Ersteren steht das Systemverständnis im Vordergrund und Szenarien werden zu diesem Zwecke durchgespielt (siehe auch [Sauerbier, 1999, S. 136]). Bei der zweiten Zielvorstellung (bzgl. eines gewünschten Systemverhaltens) werden die Eingabeparameter zu diesem Zweck variiert. Dabei schließt das Interesse des Ansatzes mögliche Ausgangsgrößen und zeitlimitierte Zustandswerte ein und erfüllt demnach Fragestellungen nach der Maximierung oder Minimierung von Zuständen. In dem Sinne handelt es sich bei diesen Fragestellungen um Optimierungsprobleme [vgl. VDI 3633, 2013, S. 13], die per se nicht von der Simulation beantwortet werden. Allerdings liefert diese Hinweise auf Parameter, welche die Optima beeinflussen und Auswirkungen ihrer quantitativen Einstellungen (siehe auch Optimierung, Abschnitt 2.3).

Im Falle von Produktionssystemen können ein Großteil der in Simulationsstudien adressierten Fragestellungen als Optimierungsprobleme verstanden werden. Im klassischen Sinne ging es um die Maximierung/Auslastung von Maschinen und Lagern sowie um die Minimierung von Durchlaufzeiten, Terminabweichungen als auch Personal und Ressourcen [vgl. März, et al., 2011, S. 7 f.]. Auch bei der ökologisch orientierten Betrachtung sind es i.d.R. Minimierungsprobleme, da negative Umwelteinwirkungen verhindert und Materialeinsatz, Emissionen und Abfall reduziert werden sollen⁵⁸. Es gibt in beiden Perspektiven aber auch Fragestellungen bzgl. der Substitution sowie planungsrelevante Fragestellungen, die nach obiger Unterscheidung eher zu der „What if“ Kategorie zuzuordnen sind. Die von einzelnen Simulationsexperimenten gelieferten „quantitativen Ursache-/Wirkungszusammenhänge“

⁵⁸ Prinzipiell kommt es dabei, wie bei vielen Umweltmodellen, oft zu Raum- und Flächebezügen, was gerade auch im Kontext der stofflichen Interaktion und der Wirkungen auf Mensch und Umwelt relevant ist, siehe auch Grützner [Grützner, 1997, S. 5]. Die Relevanz im sozio-ökologischen Kontext entsteht auch dadurch, dass Umwelteinflüsse mit in der Produktion arbeitenden Menschen in Bezug gesetzt werden können. Die Bezüge bzgl. Ausbreitung, Fläche und Dauer von Umwelteinflüssen ermöglichen hier, die Einwirkung physikalischer Kräfte über die Zeit berechenbarer zu machen.

[Gehlsen, 2004, S. 12] dienen dabei als Entscheidungsgrundlage für Veränderungen am Produktionssystem⁵⁹. Operative Fragestellungen wie: „Ist es möglich, ein genutztes Material durch ein anderes zu ersetzen und welche Auswirkungen hat dies?“, können mittels entsprechenden Simulationsmodellen eruiert werden. Darüber hinaus können auch quantitative Bedürfnisse, bspw. an Lager und Mitarbeiteranzahl, generell überprüft werden, ohne initial eine Optimierung anzustreben.

Zusätzlich zu den beschriebenen Nutzen, Zielen und den bereits im Vorfeld beschriebenen Gründen, können noch weitere Vorteile des Einsatzes von Simulationsverfahren definiert werden, siehe dazu u.a. Page [Page, 1991, S. 8 f.], Sauerbier [Sauerbier, 1999, S. 5 f.], Wohlgemuth [Wohlgemuth, 2005, S. 37 ff.] und Banks, et al. [Banks, et al., 2005, S. 6].

2.2.2.3 Schwachstellen und Nachteile der Simulation

Der Einsatz von Simulationsverfahren als Analyseinstrument (in der Produktion, aber auch generell) hat einige Schwachstellen, diese werden hier kurz erklärt:

- **Daten(-beschaffung):** Komplexe Modelle erfordern viele verschiedene Daten, die i.d.R. aus unterschiedlichen Quellen angefordert werden müssen. Dabei kommt es zu zwei Problemen. Einerseits kann es sein, dass die Daten in unterschiedlicher Qualität, ggf. auch Granularität vorliegen. Dies kann entweder zu Mehraufwand bei der Bildung eines funktionalen und aussagekräftigen Modells führen oder sogar ausschließen, dass dies möglich ist. Andererseits müssen möglicherweise verschiedene Akteure bzgl. der Datenbeschaffung involviert werden. Dies bindet zusätzliche Ressourcen, kann zu Verzögerungen führen, da die Daten nicht alle zeitgleich eintreffen und möglicherweise zu sozialen Komplikationen (Kompetenzfragen bzgl. des Datenaustausches, forcierte Zusammenarbeit getrennter Abteilungen, u.v.m.).
- **Notwendigkeit von Experten:** Der Einsatz von Simulationsverfahren braucht Fachkräfte, die sich mit diversen Fragestellungen auskennen. In der Produktionssimulation bspw. gibt es zusätzlich zu den wirtschaftlichen Fragestellungen, technische sowie physikalisch, stoffliche Interaktionen, die von Fachkräften behandelt werden. Folglich ist zur korrekten Parametrisierung etwaiger Modelle Hintergrundwissen erforderlich. Hinzu kommen die simulationsbezogenen Anforderungen an Grundlagen in Statistik/Stochastik, Modellierungstechniken und möglicherweise Informatik (falls es sich um Neu-/Weiterentwicklungen der genutzten Software handelt oder es neue Komponenten braucht, um alle Sachverhalte abbilden zu können). Dieses breite Anforderungsprofil führt i.d.R. dazu, dass mehrere Akteure in Simulationsstudien involviert werden müssen, dabei kann es wiederum zu Ziel- und/oder Interessenkonflikten kommen. Ferner kann sich dementsprechend die Studie verzögern⁶⁰ oder es kann durch die Involvierung mehrerer Partner Unterschiede in der Qualität geben. Siehe dazu auch Wohlgemuth [Wohlgemuth, 2005, S. 36] sowie

⁵⁹ Dies erfolgt bspw. bei der Veränderung von Produktionsstraßen sowie der Mitarbeiterinsatz- und Ressourcenplanung. Dabei ist wiederum die Kommunikation der Ergebnisse zu beachten, siehe auch den nächsten Abschnitt bzgl. der Schwachstellen und VDI 3633 Blatt 3 Abschnitt 7 [VDI 3633 Blatt 3, 1997, S. 17].

⁶⁰ Siehe zu Verzögerungen aufgrund von unterschätzter Komplexität und der folgenden Kundenunzufriedenheit [Liebl, 1995, S. 222] sowie bzgl. des notwendigen Projektmanagements [März, et al., 2011, S. 5].

Sauerbier [Sauerbier, 1999, S. 6]. In Bezug auf das Zusammenspiel von Simulation und Optimierung machen März, et al. zudem prinzipielle Verständigungsschwierigkeiten zwischen Experten und Wirtschaft aus [vgl. März, et al., 2011, S. 5].

- **Fehleranfälligkeit:** Auf Basis der im letzten Punkt beschriebenen Vielfältigkeit an nötigem Hintergrundwissen wird ansatzweise deutlich, wie komplex ein Simulationsmodell sein kann. Diese Komplexität führt zu Anfälligkeiten für Fehler, die „in jeder Phase“ der Modellbildung und Simulation „auftreten können“ [vgl. Wohlgemuth, 2005, S. 40]. Dies kann sich gerade auch im Bezug zu oftmals unwichtig empfundenen Arbeitsschritten [vgl. Wohlgemuth, 2005, S. 40], [vgl. Häuslein 1993, S. 32] und Akkumulationsfehlern in den Berechnungen [vgl. Page, 1991, S. 24] verstärkt äußern, da die Bereiche entsprechend unterschätzt werden könnten⁶¹.
- **Ergebnis- und Modellüberbewertung und Interpretationsspielraum:** Bzgl. investierter Ressourcen kann es zur sog. „sunk cost fallacy“ kommen. Dies kann der Überzeugung entsprechen mit Modellen/Ergebnissen etwas anfangen zu müssen, auch wenn diese nicht die Rückschlüsse erlauben, die für Entscheidungen auf ihrer Basis erforderlich wären. Siehe dazu und bezugnehmend auf die Ergebnisaufbereitung [VDI 3633 Blatt 3, 1997, S. 17] und Banks und Gibson [Banks & Gibson, 1997, S. 1 ff.] sowie im Kontext einer psychologischen Betrachtung (wirtschaftlicher und statistischer) Fehlentscheidungen Kahneman [Kahneman, 2012, S. 396 ff.]⁶².
- **Abwesenheit optimaler Lösung(en):** „Im Gegensatz zu analytischen Verfahren“, bspw. Operations Research, „ist bei der Simulation das Auffinden optimaler Lösungen nicht sichergestellt“ [Page, 1991, S. 9]. Mögliches fehlendes Bewusstsein über den Unterschied zwischen optimaler Lösungen und Simulationsergebnissen kann wiederum zur Ergebnisüberbewertung (wie oben) führen und/oder zu sozialen Spannungen zwischen Anwendern/Fachkräften und dem Management.
- **Softwarepassgenauigkeit/Produktauswahl:** Wenn von Unternehmen Lizenzen von Modellierungs-/Simulationssoftware erworben wurden, werden diese oft genutzt, obwohl andere Software für den Untersuchungsfall besser geeignet wäre (entspricht wiederum „sunk cost fallacy“, siehe Kahneman [Kahneman, 2012, S. 396 ff.]). Anwendern solcher Software können zudem ein Marktüberblick und Kenntnisse in Informatik fehlen. Dies kann dazu führen, dass Modelle nicht vollständig parametrisierbar sind und Wirkungszusammenhänge nicht eruiert werden können.
- **Experimentanzahl:** Sauerbier spricht zusätzlich noch von der Streuung, die durch die Nutzung stochastischer Werte ausgelöst wird und der einhergehenden Notwendigkeit nach einer (großen) Anzahl von Experimenten [vgl. Sauerbier, 1999, S. 6]. Dies kann in Abhängigkeit der Modellkomplexität und der resultierenden Berechnungsdauer zusätzlich zu Zeitverzögerungen beitragen. Im schlimmsten Fall können auch zu wenige Experimente durchgeführt werden und mögliche Schlussfolgerungen auf einer zu niedrigen Datenbasis getroffen werden („kognitive Verzerrung“).

⁶¹ Ein Ansatz um zumindest Spezifikationsübereinstimmung zu überprüfen (im Bezug zu DES) wurde von Akesson vorgestellt [Akesson, 2012, S. 384 f.], siehe auch (<http://www.supremica.org/verification.html>).

⁶² Zudem weisen Banks, et al. darauf hin, dass Simulationsergebnisse oft Interpretationsspielraum lassen und, dass es hier zu Fehleinschätzungen von Korrelationen kommen kann, siehe. „disadvantages“ in Banks, et al. [Banks, et al., 2005, S. 7]. Darüber hinaus sollte auf die Nicht-Linearität hingewiesen werden, s. bspw. [Jäger, 2010, S. 77] oder [Meadows, 2010, S. 88] (mit speziellen Implikationen für ökosoziale Systeme, s. Kap. 3).

2.2.2.4 Modellierungs- und Simulationsprozess

Das Verstehen der Modellbildung und Simulation als Prozess impliziert eine methodische Vorgehensweise von der initialen Problemstellung bis hin zu Simulationsergebnissen und den möglichen Veränderungen am Realsystem. Diese Vorgehensweise wurde in verschiedenen Formen bereits von unterschiedlichen Autoren vorgestellt; eine Ausprägung davon wird in ihren hauptsächlichen Schritten in der Folge erklärt. Abbildung 11 stellt eins der möglichen Ablaufdiagramme einer Simulationsstudie, inklusive ihrer Teilschritte, dar; ähnliche Diagramme, inklusive Erläuterungen, können u.a. in Page [Page, 1991, S. 12], Steinhausen [Steinhausen, 1994, S. 20], Gehlsen [Gehlsen, 2004, S. 14], Wohlgemuth [Wohlgemuth, 2005, S. 35] und Banks, et al. [Banks, et al. 2005, S. 16] gefunden werden. Dabei ist festzuhalten, dass manche Simulationsstudien über einen längeren Zeitraum andauern und es dabei zu zyklischen Anpassungen am Modell kommen kann. Ferner sind auch verschiedene Experimente mit unterschiedlichen Modellen in der gleichen Studie möglich. Auch wenn der vorliegende Ablaufplan auf diese Rückläufe eingeht, so ist der Vorgang in der Realität oft von weniger Stringenz in der Abfolge der einzelnen Schritte gekennzeichnet und kann sich zyklisch sogar auf Zieldefinition und Projektplanung auswirken. Siehe insbesondere auch VDI 3633 Blatt 3 für eine ausführliche Vorgehensbeschreibung im Kontext der Produktion und Logistik [VDI 3633 Blatt 3, 1997, S. 2 ff.].

Der erste Schritt einer Simulationsstudie beschreibt die initiale Problemdefinition, dabei ist zu beachten, dass eine klare Fragestellung zwangsläufig wegweisende Auswirkungen auf die erforderlichen Daten und das entsprechende Modell hat. Daher ist die Frage nach dem Gegenstand der Untersuchung essentiell für die Folge. Banks, et al. weisen hier noch auf das soziale Zusammenspiel zwischen Modellersteller

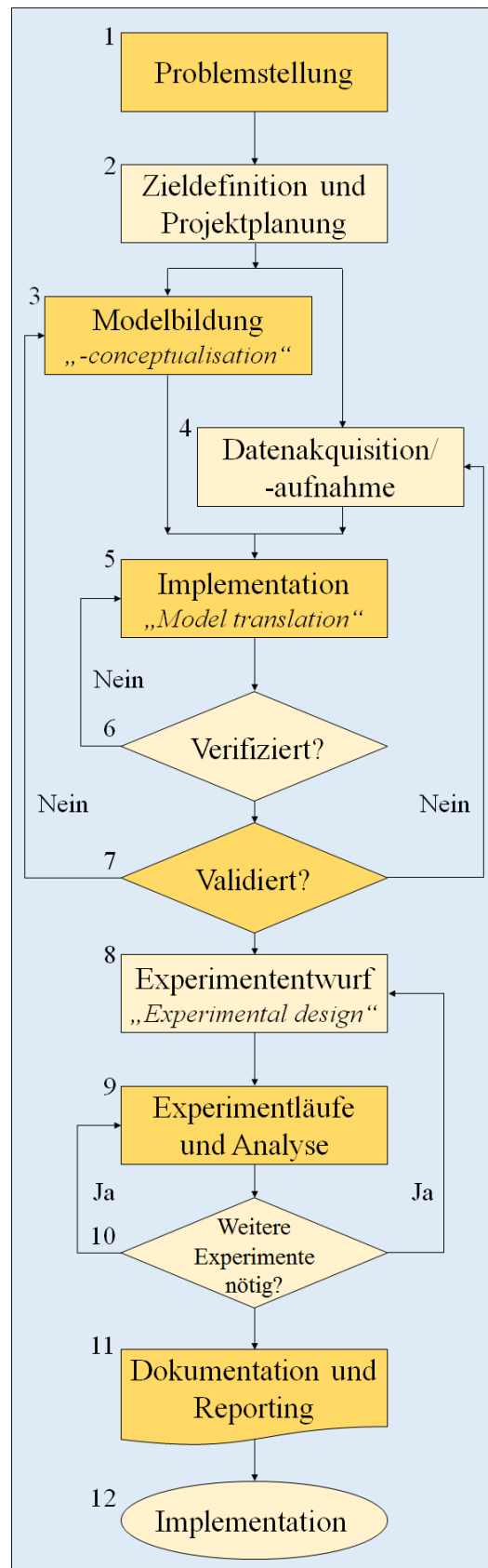


Abbildung 11: Ablaufplan einer Simulationsstudie [vgl. Banks, et al., 2005, S. 16], [vgl. Wohlgemuth, 2005, S. 35]

und etwaigen Entscheidern hin [Banks, et al., 2005, S. 15], die entsprechenden Ebenenmodelle in Wohlgemuth [Wohlgemuth, 2005, S. 36] und Sauerbier [Sauerbier, 1999, S. 15] sind dabei in Abhängigkeit der technischen und fachlichen Anforderungen zusätzlich um weitere Personen zu ergänzen. Gerade in Bezug auf Nachhaltigkeit und das komplexe Zusammenspiel aus ökologischen, ökonomischen und sozialen Kriterien werden voraussichtlich weitere Ansprechpersonen eingebunden werden müssen. Diese verfügen wiederum über unterschiedliche Daten, die für ein vollständiges Modell benötigt werden. In dem Sinne sollte in Schritt 2, bei der Projektplanung klar definiert werden, wann und wie Zugriff auf welche Daten erfolgen kann, bzw. welche Daten gesammelt werden müssen und in welcher Konsistenz diese vorliegen. Der Prozess der Datenaufnahme und –aufbereitung ist meistens der zeitkritischste Faktor bei Simulationsstudien. Generell verfeinert Schritt 2 dabei die Fragestellung und stellt einen Plan für die Folgeschritte auf.

In Schritt 3 wird das Modell konzipiert und in Schritt 4 die notwendigen Daten akquiriert. Grundsätzlich ist der Schritt durch Abstraktion und Fokussierung auf die für die Untersuchung wesentlichen Elemente gekennzeichnet. In Schritt 5 wird das Modell schließlich in ein Computermodell überführt, dabei erfolgen die Schritte 3, 4 und 5 heutzutage oft simultan (Page spricht von dem „*Modellbildungsprozess zeitlich parallel zur Entwurfsphase*“ [Page, 1991, S. 15]). Das liegt zum einen daran, dass die Modellierung sich teilweise nach vorhandenen Daten richten kann und sich im Laufe einer Simulationsstudie dabei Änderungen ergeben (Daten vorhanden/nicht vorhanden/Änderung des Betrachtungswinkels). Zum anderen wird die Analyse eines komplexen Systems oftmals über einige Zeit laufen (Tage/Wochen), was dazu führt, dass Teile bereits modelliert und auf Basis neuer Informationen ergänzt/verändert werden. Darüber hinaus gibt es eine Reihe von Hinweisen und „best practices“ bzgl. der „*Kunst*“ [vgl. Banks, et al., 2005, S. 15] der Modellerstellung, u.a. von Pritsker [Pritsker, 1998, S. 32 ff.].

Schritt 6 und 7 repräsentieren die bereits beschriebenen Verifikations- und Validierungsprozesse und überprüfen das Modell in seiner Gültigkeit und Angemessenheit. Kommt es hier zu Abweichungen, werden die vorliegenden Schritte wiederholt. In Banks, et al. Ablaufdiagramm, welches die Basis für Abb. 11 lieferte, ist hier kein Abbruchkriterium eingezeichnet; allerdings kann es in dieser Phase durchaus vorkommen, dass nach eingehender Prüfung des Modells neue Informationen auftreten, die zum Abbruch führen oder weiter zurück als Schritt 2 reichen. In der Mehrheit kommt es hier allerdings „nur“ zu Anpassungen am Modell und erforderlichen neuen Datenakquisitionen. Page macht einerseits die Zusammenfassung der verschiedenen Verifikations- und Validierungsphasen unter dem Begriff Validierung, verknüpft diese aber zeitgleich mit den unterschiedlichen Modelltypen im Zuge der Modellierung (von informalen konzeptuellen Modellen, über formale hin zu dem Computer-Modell und den resultierenden Ergebnissen) [Page, 1991, S. 12]. Auch die Datenaufnahme wird bei ihm schon mit der Validierung verknüpft gesehen. In dem Sinne sind bei ihm die Überprüfungsphasen deutlich ausgeprägter dargestellt als bei Banks, et al. [Banks, et al., 2005, S. 15] oder Steinhausen [Steinhausen, 1994, S. 20]. Dies mag wiederum an den unterschiedlichen Konnotationen liegen, Page spricht von dem Modellbildungsprozess, während Banks und Steinhausen sich auf das Durchführen einer Simulationsstudie beziehen.

In Schritt 8 werden die Grundlagen für die folgenden Experimente gelegt, dabei werden bspw. Abbruchkriterien für die Simulation festgelegt, sowie die Anzahl der Simulationsexperimente (mit den gleichen Einstellungen). Schritt 9 führt diese durch und Schritt 10 überprüft, ob die Experimente im Rahmen der Studienfragestellung ausreichend waren. Schritt 8 und 9 könnten dabei ebenso zusammengefasst werden. Im Falle eines positiven Befundes kommt es schließlich in Schritt 11 zur Dokumentation der Simulationsergebnisse und zu dem Aufbereiten/Präsentieren dieser. In VDI 3633 Blatt 3 wird bei der Ergebnisbewertung darauf hingewiesen, dass oftmals nicht alle Kriterien eindeutig quantifiziert werden und dass es beim Urteil über die Ergebnisse konsekutiv oftmals zu intuitiven Bewertungen kommt [vgl. VDI 3633 Blatt 3, 1997, S. 17].

Bzgl. Schritt 12 ist zuerst darauf zu verweisen, dass der von Banks, et al. und Gehlsen verwendete Begriff der „Implementation“ irreführend sein kann, da dieser öfter im Kontext der Softwareerstellung genutzt wird. Bei der Implementation des Schrittes 12 handelt es sich aber um die Umsetzung von Veränderungsmaßnahmen auf Basis der gemachten Erkenntnisse. Das bedeutet, dass die gemachten Erfahrungen aus der Simulation insofern aufbereitet wurden, als dass Veränderungspotentiale zu konkreten Handlungsanweisungen formuliert und respektive Entscheidungen hinsichtlich der Veränderung des Original-/Realsystems gefällt wurden. Schritt 12 greift diese auf und setzt sie am Original-/Realsystem um.

Zwei Aspekte, deren Wichtigkeit noch einmal herausgestellt werden sollte, sind einerseits die Datenakquisition und andererseits das Zusammenspiel unterschiedlicher Akteure bei den beschriebenen Schritten. Die Datenakquisition deshalb, da sie entscheidend für die Modellgüte ist. Gleichzeitig nimmt sie, zumindest bei komplexen Modellen, oftmals die größte Zeit in Anspruch. Im Kontext von Produktionsprozessen werden zwar teilweise Daten von Maschinen mitgeschrieben, dennoch ist es die Regel, dass komplexe Sachverhalte verschiedene Datentöpfe anzapfen. Gerade im Kontext dieser Arbeit ist darauf hinzuweisen, dass bspw. soziale Kriterien und Umweltkriterien sowie technische Daten von Maschinen i.d.R. nicht von den gleichen betrieblichen Akteuren genutzt und verwaltet werden. Dies impliziert wiederum eine soziale Komponente bei der Vorgehensweise der Modellerstellung. Es ist wichtig, so früh wie möglich eine Übereinkunft mit allen betreffenden Personen bzgl. der Zielstellung und des Ablaufes der Simulationsstudien zu erreichen, um nicht später die Modellgültigkeit oder einzelne Ziele aufgrund der Abwesenheit von Daten oder schlechter Kommunikation zu verfehlen. Andernfalls kann es zu Verzögerungen und schlimmstenfalls zum Abbruch kommen. Bei fehlenden Daten ist zudem anzumerken, dass in den letzten Jahrzehnten Entwicklungen begonnen haben, nutzbringende generelle Daten teilweise auch frei zur Verfügung zu stellen. Sog. Open Source Ansätze können im Simulationsbereich helfen, ferner sind mit Open LCA Ansätzen und SLCA auch mehr und mehr Daten bzgl. der ökologischen und sozialen Bewertung vorhanden. Diese Entwicklung kann in Zukunft dabei helfen kann, fehlende Datensätze aufzufüllen. Natürlich können nicht unternehmensbezogene Daten bzgl. Ressourcennutzung und Personaleinsatz ersetzt werden, aber Modelle, die bspw. aufgrund fehlender Daten im Bereich der stofflichen Zusammensetzung von Rohmaterialien Datenlücken aufwiesen, können möglicherweise bereits unterstützt werden (siehe auch Punkt 2.4 bzgl. der Verbindung mit LCA und Punkt 3.2 bzgl. einer genaueren Abgrenzung des Ansatzes).

2.3 Simulation und Optimierung

2.3.1 Grundsätzliches zu Simulation und Optimierung

2.3.1.1 Einführung

Nach Sauerbier haben Simulationsmodelle per se lediglich beschreibenden Charakter, da sie unter Angabe von Rahmenbedingungen (d.h. der Elemente, Interaktionsbeziehungen und Eingangsparameter) „nur“ aufzeigen, wie sich ein System verhält [vgl. Sauerbier, 1999, S. 136]. Deshalb ist es sinnvoll, der Simulation weitere mathematische Verfahren zur Seite zu stellen, um nicht nur auf die kognitive Auswahl möglichst dem Optimum annähernder Systemeinstellungen angewiesen zu sein. Verfahren, um optimale Lösungen für die Einstellungen eines Systems hinsichtlich einer Fragestellung herauszufinden, werden Optimierungsverfahren genannt. Sie entsprechen dem generellen Bestreben „nach dem Bestmöglichen“ [Schneider, 1998, S. 599] und ähneln der Simulation in der Weise, „dass sie“ ebenso „auf einer Kausalbeziehung zwischen den Input- und Outputgrößen beruhen“ [Wohlgemuth, 2005, S. 26]. Wie im vorigen Abschnitt beschrieben, stoßen diese Verfahren bei komplexen Systemen jedoch an ihre Grenzen, weshalb das Zusammenspiel mit der Simulation so sinnvoll ist. Simulationsverfahren können bei der Verbindung beider Verfahren die Hinweise darauf liefern, welche Kriterien am ehesten verändert werden sollten, um eine Optimierung zu erreichen. Optimierungsverfahren ihrerseits können die Varianten der Simulation um den Ansatz ergänzen, „unter mehreren möglichen Realisationen eine Alternative zugunsten der besseren (...) herbeizuführen“ [Schwefel, 1977, S. 5].

Für diese Arbeit sind besonders Verfahren interessant, welche sich auf die Optimierung unterschiedlicher, teils in Konfliktbeziehungen stehender Größen anwenden lassen. Dies resultiert einerseits aus dem Ziel, ökonomische, ökologische und soziale Kriterien miteinander in Bezug zu setzen und andererseits aus dem Anwendungskontext von Produktionsbetrieben, da es auch hier bei vielen Problemstellungen zu Kompromisslösungen kommt [vgl. Krug & Rose, 2011, S. 21]. Der Hintergrund dieser sog. multi-Kriterien Optimierung (auch multikriteriellen Optimierung) wird genauer in Abschnitt 2.3.3 erläutert. Dabei soll, aufgrund der Komplexität dieses Teilgebiets der angewandten Mathematik, nur ein Grundverständnis für die entstehenden Probleme gelegt werden und anhand der generellen Vorgehensweise bei Optimierungsproblemen sowie dem Beispiel der Nutzwertanalyse exemplarisch dargestellt werden, wie komplexe Optimierungsprobleme angegangen werden. Die Nutzwertanalyse kann ihrerseits bei der Bewertung von Simulationsergebnissen eingesetzt werden und so im Zuge iterativer Optimierungszyklen die Simulation unterstützen [vgl. VDI 3633 Blatt 3, 1997, S. 17]. Bzgl. einer generellen Vorgehensweise zur Nachhaltigkeitsoptimierung wird dieses Zusammenspiel von verschiedenen Ansätzen besonders relevant.

Zusammenfassend geht es bei der Optimierung prinzipiell darum, geeignete mathematische Ansätze zu nutzen, die „mit minimalem Aufwand neue Suchschritte in Richtung der“ optimalen „Lösung eines vorgegebenen analytischen Ziels (...) ermitteln“ [vgl. Krug & Rose, 2011, S. 21]. Wie sich ein solches Optimierungsproblem prinzipiell darstellt, wird in der Folge erläutert.

2.3.1.2 Optimierungsprobleme

Auch wenn Optimierungsprobleme in sehr verschiedenen Anwendungsszenarien eine Rolle spielen, können maßgebende Charakteristika determiniert werden. Für ein grundlegendes Optimierungsproblem sind diese:

- eine Anzahl von Variablen, deren Wert das Verhalten des Systems repräsentiert,
- die Messbarkeit der Variablen (und konsekutive des Systemverhaltens) welche die Bildung einer Zielfunktion einschließt, inklusive der Möglichkeit auf ihrer Basis den Variablen einen Zielfunktionswert zuzuordnen zu können,
- die Existenz eines Suchraums, dessen Dimension sich aus Anzahl und Art der Variablen ergibt und mögliche Konfigurationen einschließt [vgl. Jahr, 2010, S. 20 f.].

Prinzipiell kann folgend unter einem Optimierungsproblem eine Aufgabe verstanden werden, welche impliziert, (Entscheidungs-)Variablen so zu bestimmen, dass eine Zielfunktion im Kontext eines Such-/Lösungsraums maximiert oder minimiert wird, während zusätzlich mögliche Restriktionen beachtet werden [vgl. Feldmann, 1999, S. 13].

Um dies auszuführen, ergibt sich in einem Produktionssystem bspw. eine Fragestellung für die n quantifizierbare Entscheidungen festgestellt werden. Diese lassen sich in einem Modell als Entscheidungsvariablen darstellen und als Vektor zusammenfassen:

$$\vec{x}^T = (x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Formel 1: Entscheidungsvariablen und Variablenvektoren

An der Art der Entscheidungsvariablen kann eine zusätzlich Unterscheidung von Optimierungsproblemen festgemacht werden; handelt es sich bei diesen um diskrete Entscheidungsvariablen, so spricht man von einem kombinatorischen Optimierungsproblem, während bei einer Mischung von diskreten und kontinuierlichen Variablen ein gemischt-ganzzahliges Problem vorliegt [vgl. Feldmann, 1999, S. 13] (siehe auch 2.3.1.3).

Das Effektivitätsmaß der Entscheidungen kann folgend als Zielfunktion notiert werden:

$$Z = f(x) = x_1 + 2x_2 + \dots + 5x_n$$

Formel 2: Beispiel für Zielfunktion und Wert der Zielfunktion [vgl. Hillier & Liebermann, 2000, S. 17]

Zudem können Beschränkungen (auch Nebenbedingungen) definiert werden, typischerweise werden diese als Gleichungen oder Ungleichungen formuliert. Dabei können sie sich sowohl auf einzelne Entscheidungsvariablen beziehen (bspw. könnte eine Entscheidungsvariable ein Lager mit einer Kapazitätsgrenze als Beschränkungen darstellen), als auch auf Summen/Produkte von Variablen bzw. Ergebniswerte der Zielfunktion.

Ein Beispiel für eine Zielfunktion mit Beschränkungen und Ungleichung wäre:

$$f = x_1 + 2x_2 + \dots + 5x_n \leq 12$$

Formel 3: Beispiel für Zielfunktion mit Beschränkung [Hillier & Liebermann, 2000, S. 17]

Eine spezifische Ausprägung eines Optimierungsproblems wird als Instanz konnotiert⁶³ [vgl. Feldmann, 1999, S. 13], [vgl. Gehlsen, 2004, S. 29]. Die Instanziierung erlaubt ihrerseits die Lösung und formale Beschreibung des Problems. Dabei wird bei einem kombinatorischen Optimierungsproblem von einem Tupel (L, f) [vgl. Feldmann, 1999, S. 13] oder einem Tupel (L, f, Z) [vgl. Gehlsen, 2004, S. 29] als formale Konnotation ausgegangen. Wobei L den abzählbaren Raum möglicher, zulässiger Lösungen repräsentiert⁶⁴, f die Zielfunktion und Z (Min, Max) das Optimierungsziel vorgibt. Feldman weist hier daraufhin, dass der Zusatz des Optimierungsziels nur dann erforderlich ist, wenn man ausschließt, dass Maximierungsprobleme nicht durch Multiplikation mit -1 in äquivalente Minimierungsprobleme überführt werden können. Andernfalls kann das mathematische Objekt Z aufgelöst werden und der Tupel von 3 auf 2 Objekte reduziert [vgl. Feldmann, 1999, S. 13 ff.]. Der Wert der Zielfunktion wird dabei jedem Element des Lösungsraums L als Skalar zugeordnet [vgl. Gehlsen, 2004, S. 29]. Bezugnehmend auf die formale Beschreibung als Tupel, kann man bei Optimierung im mathematischen Sinne prinzipiell auch von einer „*Extremstellenbestimmung der Zielfunktion eines vieldimensionalen Vektors*“ sprechen [vgl. Spiegel, 2000, S. 3]. Der Vektor entspricht dabei den Entscheidungsvariablen, bzw. die n quantifizierbaren Entscheidungen werden in einem Variablenvektor zusammengefasst. Entsprechende formale Beschreibungen sind auch u.a. in Wohlgemuth [Wohlgemuth, 2005, S. 25], der sich wiederum auf Domschke und Drexel bezieht [vgl. Domschke und Drexel 2002, S. 5 f.] oder Gerdtts und Lempio [Gerdtts & Lempio, 2011, S. 15] zu finden.

Für die Vorgabe der kompletten Überführungsfähigkeit von Maximierungsproblemen zu Minimierungsproblemen würde die initial erwähnte Problemformulierung folglich definieren, dass die Werte der Variablen so bestimmt werden sollen, dass die Zielfunktion unter Einhaltung der Nebenbedingungen minimiert wird. Die Zielfunktion beschreibt somit sinngemäß das zu erreichende Optimum [vgl. Hillier & Liebermann, 2000, S. 17]. Eine formale Beschreibung wäre folglich:

$$f_{opt} = f_{(x^*)} = \min_{x \in L} f(x) \quad f: L \rightarrow \mathbb{R} \quad x \in L$$

Formel 4: Beispiel eines kombinatorischen Optimierungsproblems [vgl. Feldmann, 1999, S. 13 f.]

Es ist anzumerken, dass die Existenz einer einzelnen Zielfunktion sich auf monokriterielle Probleme bezieht; für multikriterielle existieren i.d.R. mehrere Zielfunktionen [vgl. Wohlgemuth, 2005, S. 25], siehe dazu auch Abschnitt 2.3.3. Dies ist auch bzgl. der Nebenbedingungen relevant, da sich verschiedene Nebenbedingungen auf unterschiedliche Zielfunktionen beziehen können und bei einer multikriteriellen Optimierung den Komplexitätsgrad der Lösungsfindung optimaler bzw. guter Lösungen zusätzlich erhöhen. Schließlich ist anzumerken, dass zusätzlich zu *multivariablen Modellen* auch Simulationsmodelle sich i.d.R. nicht in dieser einfachen Form formulieren lassen [vgl. Wohlgemuth, 2005, S. 25 f.].

⁶³ Feldmann erwähnt hier als Beispiel für Ausprägungen die Angabe der Distanzen eines Traveling Salesman Problems (Abk. TSP, siehe auch 2.3.1.3) oder auch die Festlegung der Maschinenfolgen, Rüst- und Ausführungszeiten bei einem Job Shop Problem. In dem Sinne entsteht die Instanz durch die initiale Wertebelegung.

⁶⁴ Zulässige Lösungen sind diejenigen, die alle Nebenbedingungen einhalten, während eine optimale Lösung den besten Funktionswert ergibt [vgl. Hillier & Liebermann, 2000, S. 17]. Bei effizienten Lösungen kann kein Element des Zielvektors vergrößert werden, ohne andere zu verkleinern [vgl. Fiala & Stehfest, 1979, S. 3].

2.3.1.3 Komplexität diskreter Optimierungsprobleme

Ein diskretes Optimierungsproblem impliziert einen „*endlichen oder abzählbar unendlichen Wertebereich*“ seiner Entscheidungsvariablen [vgl. Gehlsen, 2004, S. 30]. Dies entspricht der Reduktion auf eine Teilmenge des sonst unendlichen Lösungsraums. Die Annahme, dass durch diese Einschränkung diskreter Optimierungsprobleme, jene leicht(er) lösbar wären, ist nicht zutreffend. Dies gründet darin, dass sich bekannte Verfahren der Differentialgleichungen, mit denen kontinuierliche Probleme bearbeitet werden können, auf diskrete Probleme nicht adaptieren lassen. Dadurch kommt es zu gegenteiligen Effekten, nämlich dass diskrete Probleme ab einer gewissen Größe des Lösungsraums i.d.R. schwerer lösbar sind, als entsprechende kontinuierliche Fragestellungen [vgl. Gehlsen, 2004, S. 30]. Um die entstehende Komplexität exemplarisch zu verdeutlichen wird hier auf Gehlsen's Beispiel des Problems des Handelsreisenden verwiesen⁶⁵ (siehe Tabelle 1). Ähnliche Beispiele finden sich u.a. in Feldman [Feldman, 1999, S. 15 ff.], Jahr [Jahr, 2010, S. 21 ff.] und diversen Standardwerken der Operations Research und der theoretischen Informatik.

Anzahl Orte (n)	Anzahl möglicher Rundreisen (= $\frac{1}{2} (n-1)!$)	Zeitbedarf für Evaluation (bei 10 GHz und 1 ms pro Sekunde)
10	181.440	18 μ s
15	$4,358 * 10^{10}$	4,3 Sekunden
20	$6,028 * 10^{16}$	70 Tage
25	$3,102 * 10^{23}$	$9,837 * 10^5$ Jahre
30	$4,420 * 10^{30}$	$1,401 * 10^{13}$ Jahre

Tabelle 1: Zeitaufwand des TSP bei Lösung durch vollständige Enumeration [vgl. Gehlsen, 2004, S. 31]

Dabei wird deutlich, dass ab einer gewissen Problemgröße die exakte Lösung mit heutiger Rechenkapazität und dem Verfahren der vollständigen Enumeration zu lange dauern würde und dieser Lösungsweg daher ausgeschlossen, bzw. nicht zielführend ist. Zwar wurden Verfahren entwickelt, mit denen auch komplexe Fälle dieses Problems optimal lösbar sind, dennoch verdeutlicht das Beispiel, dass das Anstreben einer optimalen Lösung bei komplexen Fragestellungen sehr/zu viele Ressourcen binden kann. Auf Basis dieser Erkenntnis ist das heuristische Vorgehen, möglichst gute Lösungen mit einem Mindesteinsatz an Ressourcen zu finden, besser nachzuvollziehen. In dem Maße, indem der „*Exaktheitsanspruch*“ [Gehlsen, 2004, S. 31] an mögliche Lösungen aufgegeben wird, steigt der Stellenwert der Frage nach dem Zusammenspiel zwischen eingesetzten Ressourcen und erreichtem Optimierungsgrad⁶⁶. Zudem kann resümiert werden, dass für komplexe Probleme manche Verfahren besser geeignet sind als andere. Die Auswahl des passenden Verfahrens ist somit kritisch, daher wird im Folgenden ein Überblick über bestehende Verfahren gegeben.

⁶⁵ Das Problem des Handelsreisenden („*Traveling Salesman Problem*“ in Englisch, Abk. TSP) ist ein klassisches Optimierungsproblem der theoretischen Informatik, welches bereits seit dem Jahr 1930 bearbeitet wird.

⁶⁶ Beispielhaft kann hier das Pareto-Prinzip erwähnt werden, welches sinngemäß besagt, dass man mit 20% des Ressourceneinsatzes 80% der Ergebnisse erzielen kann [vgl. Müller-Schoppen & Kesper, 2011, S. 79], während das Anstreben der Verbesserung von 80% zu 100%, die notwendigen Ressourcen „*unverhältnismäßig*“ steigern kann. Für Einzelfälle ist diese Einschätzung zwar weder belegt noch zwangsläufig zielführend; sie verdeutlicht aber eine Geisteshaltung, sich bei der Suche nach einer Verbesserung nicht zu verlieren. Im Bezug zum Sozialen wird hier auch oft auf Rawls „*Theory of Justice*“ verwiesen, s. [Rawls, 1999, S. 65 ff.].

2.3.1.4 Überblick Optimierungsverfahren

Um einen Überblick über bestehende Optimierungsverfahren zu liefern, visualisiert Abbildung 12 einen Klassifikationsbaum aus Gehlsen, bzw. Syrjakow. Die relevanten Aspekte werden in der Folge kurz erklärt. Für einen tieferen Einblick in die Unterschiede von Optimierungsverfahren, weiteren Klassifizierungen und Erläuterungen zu den Verfahren siehe u.a. Gerds und Lempio [Gerds & Lempio, 2011, S. 15 ff.], Gehlsen [Gehlsen, 2004, S. 34 ff.] und bzgl. Produktionssystemen auch Krug und Rose [Krug & Rose, 2011, S. 22 ff.].

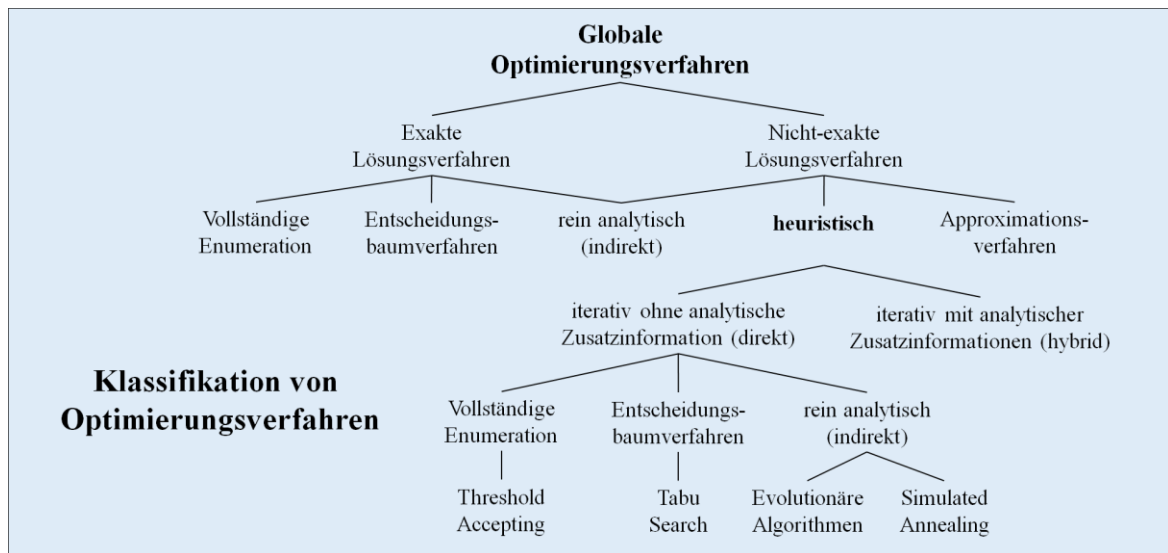


Abbildung 12: Optimierungsverfahren [vgl. Gehlsen, 2004, S. 34], [vgl. Syrjakow, 1997, S. 31] – ähnlich auch in Spieker [Spieker, 2002, S. 37] sowie Reese und Urban [Reese & Urban, 1999, S. 319]

Resümierend bezieht sich die prinzipielle Trennung zwischen exakten und nicht-exakten Lösungsverfahren auf den Unterschied, für jede Instanz eine optimale Lösung zu finden (und dies in endlichen Schritten)⁶⁷. Für die vollständige Enumeration wurde in Abschnitt 2.3.1 das TSP Beispiel angeführt, dabei geht es um die Aufzählung aller möglichen Lösungen. Entscheidungsbaumverfahren sind besonders bei kleinen Mengen sinnvoll einzusetzen. Sie unterteilen den Lösungsbereich in einer Baumstruktur auf Teilmengen und versuchen so die Teilmengen auszuschließen, die zu keinen besseren Lösungen beitragen (ohne dabei die gleiche Rechenleistung zur Bewältigung einzelner Probleme aufzuwenden). Was in diesem Fall besonders gut ersichtlich wird, ist, dass es sich bei den Verfahren prinzipiell um Suchverfahren handelt, d.h., dass es mathematisch darum geht, aus einer Menge an Lösungen schnellstmöglich, mit dem Einsatz der wenigstens (System-)Ressourcen, eine durch Bedingungen gekennzeichnete Größe zu finden⁶⁸. Von einer tieferen Erläuterung von Verfahren wird an dieser Stelle abgesehen und auf obige Quellen verwiesen. Relevant ist allerdings noch, dass Evolutionäre Algorithmen für die gleiche Simulationssoftware, die auch in dieser Arbeit genutzt wird, in Jahr thematisiert wurden [Jahr, 2010, S. 1 ff.]⁶⁹.

⁶⁷ Hier ist anzumerken, dass zu einem exakten Lösungsverfahren mittels Relaxierung oder Abbruchkriterium ein nicht-exaktes Verfahren zuweisen lässt, inklusive der bis dahin besten Lösung [vgl. Gehlsen, 2004, S. 33].

⁶⁸ Wobei die Zielstellung zu minimieren oder zu maximieren in dem Kontext einer Bedingung gleichkommt.

⁶⁹ Auch Weicker [Weicker, 2015, S. 21 ff.] und Göbel [Göbel, 2012, S. 73 ff.] beschreiben Ansätze, welche vergleichbare Verfahren wie Jahr nutzen, zudem kann ein kleiner Überblick über Optimierungsverfahren im Bezug zu Produktionsplanungen in [Feylizadeh & Bagherpour, 2011, S. 2 f.] gefunden werden.

2.3.2 Multi-Kriterien Optimierung

In der Produktion und Logistik besteht bereits ohne die perspektivische Integration der Bereiche Ökonomie, Ökologie und Soziales ein Spannungsfeld verschiedener in Wechselwirkung stehender Entscheidungsvariablen⁷⁰. Im Kontext der in den vorigen Abschnitten erläuterten Sachverhalte wird deutlich, dass es sich bei den entstehenden Optimierungsfragen i.d.R. um Probleme mit mehreren Zielen und konsekutiv Zielfunktionen handelt. In dem Sinne sind Ansätze, welche dieser zusätzlichen Schwierigkeiten Tribut zollen, für diese Arbeit von besonderer Relevanz und werden unter der Begriffsfolge multi-Kriterien Optimierung (auch multivariablen oder multikriterielle Optimierung) in der Folge erläutert.

2.3.2.1 Charakteristika multikriterieller Optimierung

Ein multikriterielles Optimierungsproblem wird von den grundlegenden Charakteristika geprägt, dass das Problem einerseits mehrere Ziele (oder Eigenschaften) hat, die als eigene Zielfunktionen ausgedrückt werden können und andererseits i.d.R. Konflikte zwischen den verschiedenen Zielen herrschen. Die Optimierung eines Ziels hat folglich negative Auswirkungen auf ein anderes und konsekutiv muss es zu einer Kompromisslösung kommen. Um dies an einem einfachen Beispiel zu verdeutlichen, zeigt Abbildung 13 die formale Notation eines Optimierungsproblems, seine zwei Zielfunktionen, sowie die grafische Repräsentation des relevanten Bereichs der Funktionen:

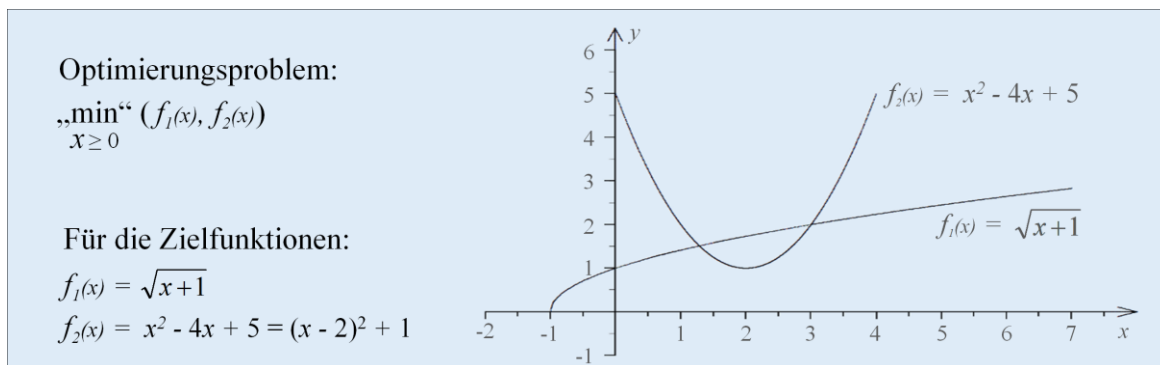


Abbildung 13: Optimierung mit mehreren Zielen und einer Variable [vgl. Ehrgott, 2005, S. 2]

Bei den zwei Zielfunktionen $f_1(x)$ und $f_2(x)$ kann festgestellt werden, dass beide über nur eine und die gleiche Variable (x) verfügen. Dies muss, wie oben erklärt, nicht zwangsläufig sein, verdeutlicht in diesem Fall aber die Wechselbeziehungen zwischen beiden Funktionen bzw. den zugrundeliegenden Variablen⁷¹. Bei genauer Betrachtung wird deutlich, dass beide relativ einfach für sich zu lösen sind. Unter der Beachtung der Restriktion(en): $x \in \mathbb{R} : x \geq 0$

⁷⁰ Das eindringlichste Beispiel wäre in diesem Fall das Ziel der maximalen Auslastung (von Maschinen und Ressourcen), welche i.d.R. angestrebt wird; dieses Ziel steht wiederum in Wechselwirkungen und zwangsläufig Konfliktbeziehungen zu u.a. der (Über-)Beanspruchung bzw. dem Wartungsaufwand (von Maschinen und Ressourcen). Für dieses Beispiel ist der generelle Anspruch einer Kompromisslösung auch relativ einfach nachzuvollziehen, da die Vorstellung, dass es ein sinnvolles Maß zwischen Beanspruchung und Wartung bzw. „Erholungsphase“ geben muss, zwingend logisch ist.

⁷¹ Wobei sich die Komplexität zwangsläufig um einiges erhöht (sie regelrecht „explodiert“ [Weigert & Rose, 2011, S. 38]), wenn es zwischen den verschiedenen Zielen auf Basis der in den Zielfunktionen verwendeten Entscheidungsvariablen zu Wechselwirkungen kommt.

entsprechen die Lösungen einer Minimierung respektive $x_1 = 0$ und $x_2 = 2$ [vgl. Ehrgott, 2005, S. 2]. Für die Stellung des multikriteriellen Optimierungsproblems „min“ ($f_1(x)$, $f_2(x)$) ist durch den Graphen visuell auch relativ einfach zu erkennen, dass die (optimale) Lösung um die 2 liegen wird, da die Abweichung vom Minimum der zweiten Zielfunktion sich wesentlich stärker auswirkt, als die Abweichung der ersten. Dies impliziert folglich, dass die optimale Lösung der Zielfunktion $f_1(x)$ nicht erreicht wird und der erwähnte Kompromiss bei der Findung des Optimums besagter multikriterieller Optimierung darin liegen würde, von dem Optimum des einfachen Optimierungsproblems „min“ $f_1(x)$ abzusehen und die schlechtere (aber mögliche) Lösung von „min“ $f_1(x)$ anzunehmen, um in der Gesamtheit ein besseres Ergebnis zu erreichen. Der entsprechende Ergebniswert von y für $f_1(2) + f_2(2)$ entspräche ungefähr 2,44, wobei ein Ergebniswert für das Optimum von „min“ $f_1(x)$ (der besagten $x_1 = 0$) zu einem Gesamtergebniswert von 6 und somit einer deutlich schlechteren Gesamtlösung führen würde. Dieses simple Beispiel verdeutlicht bereits die möglichen Konfliktbeziehungen einzelner Zielfunktionen. Zudem kann es in der Folge, bspw. nach dem Testen der Lösungen in der Praxis, zu neuen Anpassungen an den Problemstellungen kommen. So könnte im Nachhinein festgestellt werden, dass eine Abweichung des bekannten und vormals genutzten optimalen Wertes von „min“ $f_1(x)$ nicht um mehr als 30% vom bekannten Optimum abweichen darf. Für den besagten Fall betrüge die Abweichung vom optimalen Wert aber ca. 44% (ca. 1,44 zu 1), demnach müsste die Problemstellung entsprechend angepasst werden und eine weitere Restriktion ($f_1(x) = \sqrt{x+1} \leq 1,3$) hinzugefügt werden. Insofern ist festzuhalten, dass in dem Maße, in dem sich die gleichen Entscheidungsvariablen in den verschiedenen Zielfunktionen auswirken und/oder die Ergebnisse von den Funktionen als Basis der Entscheidung anderer Ziele dienen, es zu einer entsprechenden Steigerung der Komplexität der Probleme durch Wechselwirkungen kommt. Ferner verdeutlicht bereits dieses einfache Beispiel, dass zwangsläufig Fragen nach der möglichen Priorisierung bzw. Gewichtung unterschiedlicher Ziele auftreten können. Für den Fall einer Gewichtung beider Funktionen würde sich der Ergebniswert entsprechend der Multiplikation aus den einzelnen Ergebniswerten mit einer Gewichtungskomponente entsprechend verschieben. Dieser Regelfall in der Produktion und Logistik soll in der Folge erläutert werden, indem ferner darauf eingegangen wird, wie eine übliche Herangehensweise bei der Behandlung von komplexeren Funktionen/Zielstellungen mit mehreren Variablen und möglichen Gewichtungen aussieht.

2.3.2.2 Ersatzzielbildung und Normierung bei komplexen Problemen

Die Vorgehensweise zur Auflösung komplexerer Problemstellungen beginnt meist mit der Bildung eines Zielkomplexes, der wiederum in einem Zielvektor zusammengefasst wird:

$$C = (c_1, c_2, \dots, c_n)^T$$

Formel 5: Bildung des Ersatzziels [Weigert & Rose, 2011, S. 33]

In dem Sinne können aus der Summe der Einzelziele c_i ein sog. Ersatzziel C gebildet werden [Weigert & Rose, 2011, S. 33 f.]. Dabei ist zu beachten, dass alle Ziele die gleiche Ausrichtung haben müssen und bei gegenteiligen Ausrichtungen wiederum durch Multiplikation mit -1 von Maximierung zu Minimierung oder umgekehrt umgeformt werden müssen.

Zusätzlich kann es zu den Gewichtungen der Einzelziele kommen. Die Gewichtung entspricht dabei dem Bestreben der Akteure, einzelnen Zielen eine größere Wichtigkeit zuzumessen. Dabei ist die Entscheidung für das Ausmaß der Gewichtung rein subjektiv und wird wiederum von den Akteuren bestimmt. Die mathematische Äquivalenz der Gewichtung entspricht dabei die Einzelziele c_i mit entsprechenden Gewichtungsvariablen λ_i zu multiplizieren. [vgl. Weigert & Rose, 2011, S. 33]. Im Ergebnis erhält man eine gewichtete Summe:

$$C = \sum_n \lambda_i * c_i$$

Formel 6: Ersatzziel als gewichtete Summe [Weigert & Rose, 2011, S. 33]

Diese erste Umformung impliziert jedoch noch den Einfluss der Zielgröße c_i auf den Summanden, sodass es zusätzlich zu einer Normierung der Zielgrößen kommen muss, d.h. die Zielgrößen müssen nach ihrem Betrag her vergleichbar gemacht werden. Ohne diese Normierung wird riskiert, dass die zuweilen stark voneinander abweichenden Zielgrößen die getroffenen Gewichtungsentscheidungen verfälschen [vgl. Weigert & Rose, 2011, S. 34]. Die Normierung kann durch folgende Formel ausgedrückt werden:

$$r_i = \frac{c_i - c_i^{\min}}{c_i^{\max} - c_i^{\min}}$$

Formel 7: Normierung von Zielgrößen, [Weigert & Rose, 2011, S. 34]

Dabei gilt folglich für die normierte Zielgröße $0 \leq r_i \leq 1$, sodass der λ -Vektor die getroffene Gewichtsentscheidung wie vorgesehen ausdrückt. Wie aus obiger Formel ersichtlich wird, liegt die Problematik bei dieser Vorgehensweise darin, dass man für eine Normierung die maximalen und minimalen Werte der Zielgrößen benötigt. Zumindest einer dieser Werte ist jedoch unbekannt, sodass die Normierung prinzipiell nicht exakt durchgeführt werden kann, andernfalls (bei Kenntnis der Max und Min Werte) wäre die Optimierung nicht notwendig. In der Praxis stellt sich dieses Problem nicht in der „Strenge“ [vgl. Weigert & Rose, 2011, S. 34]. „Man ersetzt das Minimum bzw. Maximum (...) häufig durch eine untere bzw. obere Schranke für den Zielwert und nimmt dabei in Kauf, dass die normierten Werte nicht exakt im Intervall $[0,1]$ liegen (...).“ [Weigert & Rose, 2011, S. 34]. Die Werte für die Schranke ergeben sich aus der Kenntnis der Zielgrößen, bei Unkenntnis wird durch Probieren ein Schätzwert bestimmt, der bei großen Abweichungen konsequent angepasst wird⁷².

Obige Ausführungen beschreiben dabei ein prinzipielles Vorgehen zur Optimierung mit Mehrfachzielen, für tieferer gehende Ausführungen u.a. auch zu gewichteten Summen bei multikriterieller Optimierung wird auf die ausführlichen Erläuterungen in Ehr Gott verwiesen [Ehr Gott, 2005, S. 65 ff.]. Anwendungsbeispiele in der Produktion sind u.a. in Clausen, et al. [Clausen, et al., 2013, S. 207 ff.], Rudtsch, et al. [Rudtsch, et al., 2013, S. 469 ff.] sowie Belton und Stewart [Belton & Stewart, 2002, S. 19 ff.] zu finden. Darüber hinaus wird der Themenbereich Optimierung und Optimierung mit Mehrfachzielen im Kontext der Produktion und Logistik in März, et al. behandelt [März, et al., 2011, S. 21 ff.].

⁷² Simulation kann in diesem Kontext die Schrankenbildung durch das spielerische Annähern an die Max- und Min-Werte unterstützen und so eine fundierte Grundlage für das Optimierungsproblem schaffen. Umgekehrt können die Lösungen der Optimierung als Parameter in Simulationsmodellen genutzt werden.

2.3.2.3 Vorgehen bei schwer miteinander vergleichbaren Zielstellungen

Die Beispiele der vorherigen Abschnitte verdeutlichten die mathematische Verbindung von Zielen, die auf der Basis gleicher Entscheidungsvariablen oder über ein Ersatzziel miteinander verbunden wurden. Oftmals sind diese verbindenden Variablen jedoch unbekannt, nur schwer quantifizierbar oder schlicht noch nicht formal auszudrücken. Gleichwohl bleibt die Bestrebung einer gemanagten Verbesserung unterschiedlicher Ziele bestehen. In diesen Fällen kann es um den Einsatz der Ressourcen für die angestrebte Verbesserung von Mehrfachzielen gehen, d.h. der Ressourceneinsatz soll entsprechend einer Priorisierung verteilt werden, wobei die Priorisierung subjektiv von den Akteuren bestimmt wird. Diesbezüglich ist anzumerken, dass die mathematische Optimierung bei der Handhabung von sehr unterschiedlichen Zielen an Grenzen stößt, da teilweise Sachverhalte schwer miteinander zu vergleichen sind und demnach nicht verrechnet werden können. Gerade im Bezug auf soziale Kriterien kann es teilweise schwierig sein, Wertigkeiten mathematisch auszudrücken oder Verbindungen zu anderen Zielstellungen und Entscheidungsvariablen herzustellen (was nicht ausschließt, dass diese nicht da sind). Ein Beispiel wäre die Verbindung der drei Ziele der Schulung von Mitarbeitern, der Reduktion eines CO₂ Äquivalents (als Kennwert der in der Produktion anfallenden Schadstoffbelastung) und der finanziellen Stabilität eines Prozesses⁷³. In diesem Kontext bieten sich weniger „strenge“ Verfahren an. In der Produktion und Logistik wird für ähnliche Problemstellungen seit langer Zeit das Verfahren der Nutzwertanalyse eingesetzt, welches bzgl. der Summenbildung und –gewichtung den vorherigen Ausführungen ähnelt, aber ein qualitatives Verfahren ist und somit weiche Faktoren gemäß definierter Effektivität abbilden kann. Abb. 14 verdeutlicht den grundsätzlichen Aufbau, weitere Ausführungen schließen sich in den folgenden Kapiteln an⁷⁴.

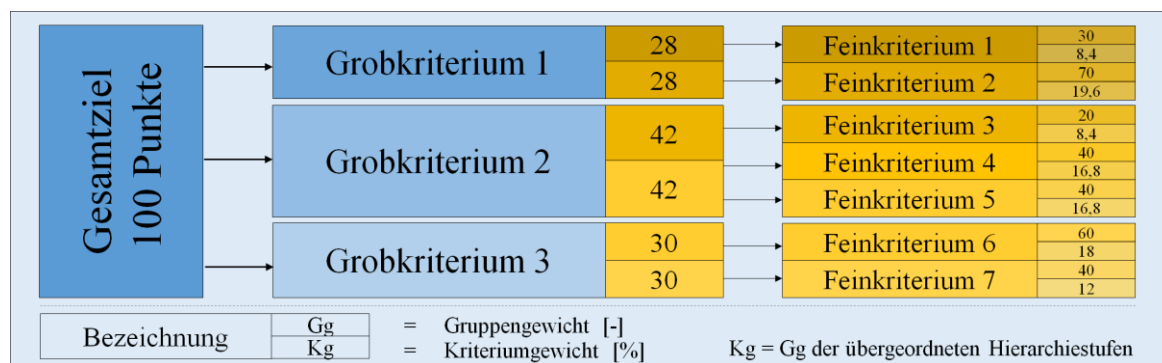


Abbildung 14: Bewertungshierarchie für eine Nutzwertanalyse [vgl. VDI 3633 Blatt 3, 1997, S. 17]

⁷³ Wobei hier auch eine strengere formale Beschreibung nicht prinzipiell ausgeschlossen ist, wie in der Einführung angedeutet wurde (S.4 f.). Generell lässt sich jedoch feststellen, dass je weicher ein Ziel ist, umso schwieriger wird eine gemeinsame Betrachtung, sodass viele psychische Faktoren, die zwar große Auswirkungen haben, jedoch heutzutage nicht einfach zu quantifizieren sind, oftmals gar nicht betrachtet werden.

⁷⁴ Ein Beispiel für eine dreidimensionale Betrachtung (entsprechend der Dreiteilung in Ökonomie, Ökologie und Soziales, s. auch Abschnitt 3.1.2) und Behandlung des folgenden multikriteriellen Problems kann in Rudtsch, et al. betrachtet werden, wo die Autoren auf die Synthese von Herstellprozessen zur Fertigung von funktional gradierten Bauteilen eingehen, siehe [Rudtsch, et al., 2013, S. 475]. Schneck, et al. greifen zudem für ihre multikriterielle Optimierung der Grundwasserbewirtschaftung auf das Composite Programming (CP) zurück, was sie selbst als „Fortentwicklung der bekannten Nutzwertanalyse (NWA)“ titulieren, siehe [Schneck, et al., S. 50]. Entsprechend sind auch die Diskussionsbeiträge in Saltelli von Relevanz, die verschiedene „Composite Indicators“, also zusammengesetzte bzw. Verbundindikatoren (auch soziale) im Bezug zur Aggregation von Nachhaltigkeit thematisiert und auf ihre Angemessenheit prüft, siehe [Saltelli, 2007, S. 65 ff.].

2.4 Anwendung von Simulationsverfahren im betrieblichen Kontext

2.4.1 Systemtheoretische Betrachtung von Betrieben und betrieblicher Produktion

2.4.1.1 Einführung

Eine umfangreiche Aufarbeitung der systemtheoretischen Betrachtung von Betrieben, auch mit dem Fokus auf die betriebliche Produktion, wurde bereits von Wohlgemuth formuliert [Wohlgemuth, 2005, S. 59 ff.]. Aus diesem Grund wird sich Abschnitt 2.4 nach der Bildung eines Grundverständnisses (in 2.4.1) und dem Fokus auf die Anwendung von Simulationsverfahren in Betrieben (in 2.4.2) darauf konzentrieren, aktuelle Entwicklungstendenzen und Beispiele für die Anwendung der Modellbildung und Simulation im betrieblichen Kontext, mit dem speziellen Fokus der Produktion und Logistik, zu liefern (in 2.4.3).

2.4.1.2 Definitionen und Abgrenzung

Prinzipielle Unterscheidungsmerkmale von Betrieben sind u.a. Größe, hergestellte Güter/erbrachte Leistungen, Rechtsform oder Organisationsform. Im Gabler Wirtschaftslexikon wird der Begriff „Betrieb“ bezugnehmend auf fünf verschiedene wissenschaftliche Disziplinen definiert, namentlich nach der Betriebswirtschaftslehre, Volkswirtschaftslehre, Soziologie, Amtlicher Statistik und dem Recht [vgl. Springer, 2015]. Dies verdeutlicht einerseits, dass die verschiedenen Disziplinen unterschiedliche Wahrnehmungsinhalte des Komplexes Betrieb in den Vordergrund stellen und andererseits, dass sich eine Modellierung des Systems Betrieb je nach Orientierung stark unterscheiden kann.

Die betriebswirtschaftliche Definition eines Betriebes lautet: „*örtliche, technische und organisatorische Einheit zum Zwecke der Erstellung von Gütern und Dienstleistungen, charakterisiert durch einen räumlichen Zusammenhang und eine Organisation, „die auf die Regelung des Zusammenwirkens von Menschen und Menschen, Menschen und Sachen sowie von Sachen und Sachen im Hinblick auf gesetzte Ziele gerichtet ist“ Kosiol*“ [Springer, 2015]⁷⁵. In der volkswirtschaftlichen Definition werden die Elemente, bzw. ihr Zusammenwirken zudem mit dem Term „*Produktionsfaktoren*“ verknüpft [vgl. Springer, 2015]⁷⁶.

⁷⁵ Das gesetzte Ziel ist zwangsläufig von entscheidender Relevanz für das Wirken und die organisatorische Aufstellung des Betriebes. Für eine grundsätzliche Auseinandersetzung mit den verschiedenen Ansprüchen der ökologische und ökonomischen Dimension siehe auch Rottke und Landgraf [Rottke & Landgraf, 2009] oder die systemtheoretische Aufarbeitung von Melke [Melke, 2009, S. 275 ff.]. Im Bezug zu dieser Arbeit ist zudem festzustellen, dass es in den letzten 40 Jahren viele Diskussionen um das soziale Engagement von Betrieben gab, wobei der Wirtschaftsnobelpreisträger Milton Friedman im Jahre 1979 argumentierte „*dass die einzige gesellschaftliche Verantwortung von Unternehmen darin bestünde, ihre Profite zu steigern*“ [Dubielzig, 2009, S. 1]. Die Einbettung von Betrieben in diverse Umsysteme, sowie das betriebliche Wirken auf Mensch und Umwelt widerspricht dieser These, zumindest bei ausgeschlossener Kontrollumkehr, d.h. solange das System Betrieb nicht nur als rein ökonomischer „Agent“ verstanden wird. Umfassendere Wahrnehmungen betrieblichen Wirkens haben das rein ökonomische Verständnis von Betrieben diesbezüglich zum Teil ersetzt (bspw. durch Stakeholder-Ansätze [vgl. Clarkson, 1995, S. 92 ff.], im Kontext von Nachhaltigkeit siehe diesbezüglich auch Schaltegger und Wagner [vgl. Schaltegger & Wagner, 2006, S. 1 ff.] und Kap. 4). Gleichwohl ist festzuhalten, dass die Zielbildung durch das subjektive Weltbild der handelnden Akteure der Betriebe vorgegeben wird. Dieses spiegelt jedoch nicht zwingend den Stand der gesellschaftlichen oder wissenschaftlichen Diskussion wider und wird somit fast nur durch legislative Einbettung kontrolliert.

⁷⁶ Wobei sich die „Produktion“ in diesem Fall auch auf Dienstleistungen beziehen kann.

Anhand dieser Definition kann bereits deduziert werden, dass es eine räumliche sowie eine organisatorische (anthropogene) Perspektive gibt, die die Struktur des Systems definieren. Unzureichend im systemtheoretischen Kontext wird allerdings oft die Platzierung des Systems Betrieb in seine Umsysteme betrachtet. Dies impliziert, dass die Grenzziehung zwischen dem, was als Systemelement definiert, und dem, was als (System-)Umwelt betrachtet wird, bei der initialen Definition unerwähnt bleibt und daher in der Folge spezifiziert wird.

2.4.1.3 Betriebliche Umsysteme und Spannungsfelder

Die Grenzziehung und die Definition von relevanten Systemelementen sind prinzipiell dem Untersuchungszweck folgend. Der Untersuchungszweck kann wiederum entsprechend den generellen Modellierungscharakteristika unterschieden werden („What if“ und „How to“). Prinzipiell ist auch eine Trennung nach genannten Disziplinen möglich oder eine Aufteilung auf die Perspektiven Soziales, Ökonomisches und Umwelt. Diese Perspektivbetrachtung wird auch bspw. bei Ulrich und Probst [vgl. Ulrich und Probst 1995, S. 54], bzw. Wohlgemuth [vgl. Wohlgemuth, 2005, S. 63] zuzüglich einem technologischen System als Beschreibung der Umsysteme genutzt, s. auch Hilton im Bezug zur Nachhaltigkeit [Hilton, 2001, S. 9 ff.]⁷⁷. Bei der generellsten Betrachtungsweise (nur Ökologie, Ökonomie und Soziales) bleiben allerdings konkrete betriebliche Aspekte, die sich bspw. auf die rechtlichen Rahmenbedingungen oder Lieferketten beziehen, eher unkonkret definiert⁷⁸. Buschmann macht eine zusätzliche Unterscheidung zwischen Umsystemen und Zwischensystemen und beschreibt so den Austausch zwischen bspw. Kapitaleignern und dem „Insystem“-Betrieb präziser [vgl. Buschmann, 1999, S. 13]. Abb. 15 verdeutlicht Umsysteme, sowie mögliche Umweltelemente, die in Relation zum System Betrieb stehen können. Auf eindeutige Verbindungen wurde wegen der Vielfältigkeit der Kombinationsmöglichkeiten verzichtet.

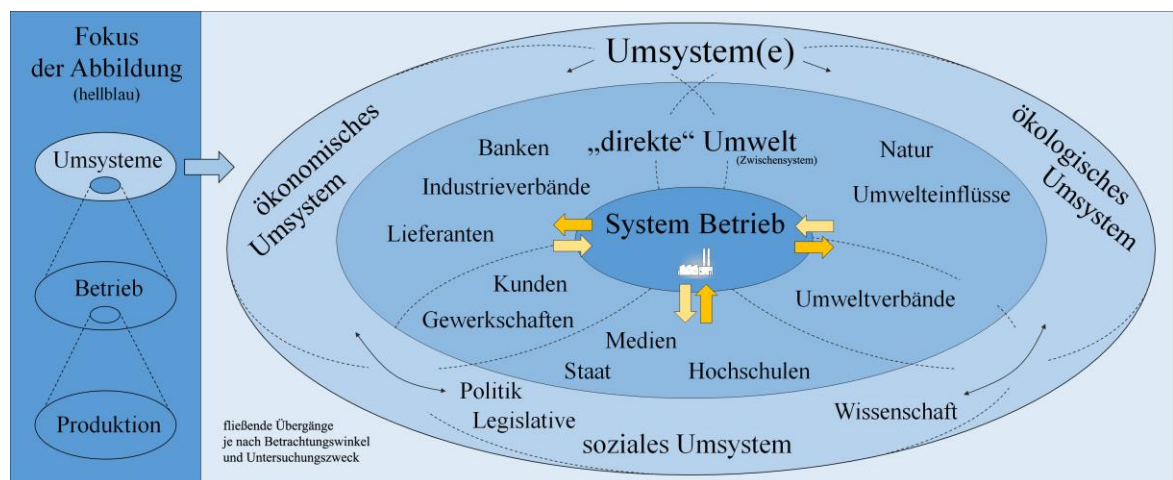


Abbildung 15: Systemtheoretische Wahrnehmung von Betrieben – Fokus Umsysteme

⁷⁷ Die Existenz von Umsystemen bedingt zwangsläufig, dass Systeme auf Basis von Betrieben als offene Systeme zu kategorisieren sind (davon ausgehend, dass die Existenz auch einen Austausch mit Umweltelementen impliziert). Ferner sind sie zwangsläufig anthropogen und, durch die Wechselwirkungen, dynamisch.

⁷⁸ Buschmann definiert zudem ein „rechtlich-politisches Umsystem“ und verfeinert die Betitelung des sozialen Umsystem durch die Formulierung „sozio-kulturell“ [Buschmann, 1999, S. 13]. Für eine Ausführung dessen was unter „techno-soziologischem“ System verstanden werden kann, s. auch [in ’t Veld, 2013, S. 280 f.].

Zusätzlich kann zu den Umsystemen festgehalten werden, dass ähnlich der Aufteilung im Bereich der Nachhaltigkeit diverse Darstellung von verschiedenen Perspektiven existieren (siehe auch Modelle in Kapitel 3.1.2)⁷⁹. Die genannten Umsysteme werden mal ineinandergreifend dargestellt, mal umfassend, mal getrennt. Ferner werden besonders die sozialen Aspekte oftmals substituiert durch die der Fragestellung der Visualisierung entsprechende Ausprägungen sozialer Systeme (bspw. organisatorische, kulturelle, sozio-technische).

Darüber hinaus erzeugen die Umsysteme, bzw. diverse Umweltelemente ein sog. Spannungsfeld⁸⁰. Einige mögliche Anspruchsgruppen sind in Abb. 15 in der „direkten“ Umwelt notiert. Mit zumindest einigen dieser Umweltelemente besteht generell ein enger Austausch, der je nach Untersuchungszweck mit in die systemische Betrachtung aufgenommen wird. In diesem Zusammenhang stellt sich erneut die Frage nach dem Untersuchungszweck. Dabei ist festzuhalten, dass eine Simulationsstudie i.d.R. von der Betriebsleitung oder Abteilungsleitungen in Auftrag gegeben wird. Die Studie hat, da sie Ressourcen kostet, der Logik nach, den Zweck einer Verbesserung oder dient als Erklärungsmodell. Hier kommt es zu den Fragen nach dem Nutzen des Modells und der Operationalisierung des Modells im Hinblick auf die Simulierfähigkeit. In beiden Fällen ist zu verstehen, dass ein Teilbereich des Systems Betrieb fokussiert wird, um konkrete Fragen zu beantworten oder es zu einem Überblick kommt über Prozessabfolgen, bzw. Prozesswirkungen. Zwar können Diagramme wie Abbildung 15 auch als Modell erstellt und simuliert werden, allerdings sind hier zumeist nur generelle Wirkungen abzuleiten. Abbildung 16 visualisiert hingegen relevante Abteilungen/Bereiche, deren Modellierung bereits spezifische innerbetriebliche Relevanz haben kann (siehe bspw. Böhm und Fuchs [Böhm und Fuchs, 2002, S. 21])⁸¹.

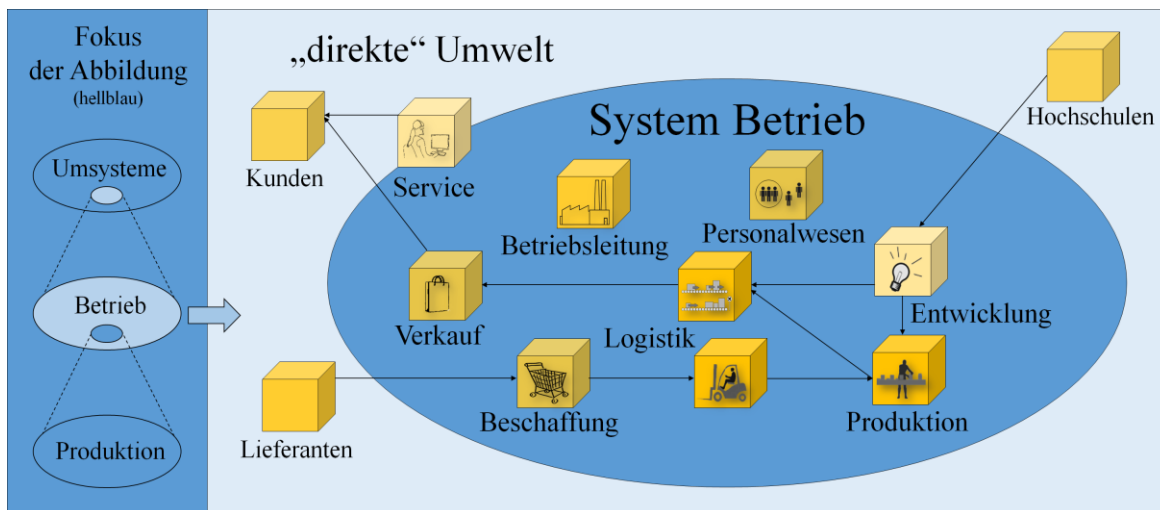


Abbildung 16: Systemtheoretische Wahrnehmung von Betrieben – Fokus Betriebe

⁷⁹ Bzgl. betriebswirtschaftlicher Modellierungen siehe auch Wohlgemuth [Wohlgemuth, 2005, S.62], Bitz et al. [Bitz et al. 1993, S. 75-78] und Steinmann, et al. [Steinmann, et al., 2013, S. 161 ff.].

⁸⁰ Dabei sind auch entspannende Wirkungen möglich. Prinzipiell wird die Formulierung in diversen Veröffentlichungen genutzt, um wirkende Kräfte auf das betriebliche Entscheidungsverhalten zu verdeutlichen.

⁸¹ Porter und Kramer unterscheiden zudem zwischen primären Aktivitäten und unterstützenden Aktivitäten, wobei erstere „Eingangs“- und „Ausgangs“-Logistik („inbound/outbound logistics“), Betriebsabläufe („operations“), Marketing und Vertrieb („marketing and sales“) sowie Kundenbetreuung („after sales services“) darstellen und letztere Human Resource Management, die Firmeninfrastruktur, die Technologie und Beschaffung („procurement“) implizieren [vgl. Porter & Kramer, 2006, S. 84 ff.], [vgl. Porter, 1988, S. 8].

Dieser Punkt ist bedeutsam, da er die Technologiefrage stark beeinflusst. Er zeigt, dass für bestimmte Problemstellungen sich verschiedene Modellierungs- und Simulationsverfahren besser eignen als andere. Im betrieblichen Maßstab wird auf dieser Ebene u.a. oft Geschäftsprozessmodellierung genutzt⁸², um die Güte der Ablaufprozesse zu untersuchen. Dabei kommt es zwangsläufig auch auf die bekannten Daten an. Wenn nur qualitative Wirkungen bekannt sind (bspw. dass sich ein guter Kundenservice positiv auf die Nachfrage und den Verkauf auswirkt), aber die Quantifizierbarkeit nicht möglich ist, können bspw. einfache Wirkungsdiagramme erstellt werden. Diese können als Basis für komplexere Modelle genutzt werden, sobald sich die Datenlage verändert hat. Daraus wird ersichtlich, dass sich die Modellierungsfrage stark nach den Beziehungen der Systemelemente richtet sowie ihrer Darstellungs- und Berechnungsform, bzw. des Fortschritts von Zustandsveränderungen. Deshalb kommt der Dynamik des Systems Betrieb sowie der betrieblichen Produktion ein großer Stellenwert zu, der in der Folge eruiert wird.

2.4.1.4 Dynamische Betrachtung

Die Unterscheidung zwischen qualitativer und quantifizierbarer Einwirkung kann bei quantifizierbaren Einwirkungen noch durch die Spezifikation erweitert werden, ob genaue Daten vorliegen oder stochastische Verteilungen genutzt werden, um die Einwirkungen zu beschreiben. Verteilungen werden i.d.R. genutzt, um die Experimente mit unterschiedlichen Daten zu füllen und so unterschiedliche Wertebelegungen (im Rahmen der Verteilungen) der Entscheidungsvariablen zu testen. Die Daten sind in dem Maße als valide anzusehen, solange sie die Realität, entsprechend des Untersuchungszweckes, detailgetreu abbilden⁸³.

Als Zuflüsse in oder von dem System Betrieb können Energie-, Material-/Stoff-, Produkt-/Teilprodukt-, Finanz- und Informationsflüsse unterschieden werden. Sie konkretisieren die Beziehungen zwischen Betrieb und seinen Umsystemen [vgl. Ulrich und Probst 1995, S. 52], [vgl. Wohlgemuth, 2005, S. 61]⁸⁴. Gleichzeitig kann auch bei dieser Unterscheidung eine Auswirkung auf die mögliche Verwendung von Modellierungs- und Simulationsverfahren, bzw. Software gemacht werden, da bspw. Informationsflüsse nicht in allen zugrundeliegenden Konnotationen/Programmen abgebildet werden können. Wenn eine Information ausschlaggebend für den Eintritt eines Ereignisses ist, wird sie in den meistens Modellierungen zusätzlich durch eine Ressource, bspw. ein Bestätigungsformular, ergänzt, sodass

⁸² Bspw. in der Geschäftsprozessmodell-Notation BPMN oder mit ereignisgesteuerten Prozessketten (EPK's). Prinzipiell werden dabei auch Geschäftsprozesse kategorisiert, Fuhrmann bspw. unterteilt hier auf drei Kategorien, namentlich Infrastrukturprozesse (Supportprozesse), Leistungserstellungsprozesse (Kernprozesse) sowie Kundenserviceprozesse (Kernprozesse) [Fuhrmann, 1998, S. 109 f.]. Supportprozesse werden bei konkreten Fragestellungen oft abstrahiert oder durch wirkungsdeckende Verteilungen substituiert. Die unterschiedliche Einordnung (bspw. zwischen Porter und Kramer [vgl. Porter & Kramer, 2006, S. 84 ff.] im Gegensatz zu Fuhrmann [Fuhrmann, 1998, S. 109 f.]) offenbart auch kulturelle Unterschiede bzgl. der Wahrnehmung von primären und sekundären betrieblichen Aktivitäten. In dem Sinne ist auch das sozio-kulturelle Umsystem, wie von Buschmann visualisiert [Buschmann, 1999, S. 13], in seiner beeinflussenden Wirkung zu verstehen.

⁸³ Hier ist die Nicht-Linearität bzw. die Möglichkeit zeitlicher und räumlicher Verzögerung zu bedenken. Auch Unstetigkeiten können bei der Eruierung der Validität oft zu falschen Einschätzungen führen, wenn die Betrachtungsspanne zu niedrig angesetzt wird, siehe [Jäger, 2010, S. 77], [Meadows, 2010, S. 88].

⁸⁴ Die Materialflussanalyse ist dabei ein Instrument zur Detailbetrachtung von Flüssen in und um Betriebe, auch durch sie können zugrundeliegende Systeme optimiert werden, siehe bspw. Schmidt et al. [Schmidt et al., 2007, S. 271 ff.]. Bzgl. einer erweiterter Betrachtung von Energieströmen auch Schlegel et al. [Schlegel, et al., 2013, S. 187 ff.] und Herrmann et al. [Herrmann et al., 2011, S. 45 ff.].

eine Zustandsveränderung auf Basis der Ressourcenverfügbarkeit erfolgt und nicht auf Basis eines Informationsflusses. Es ist zu anzumerken, dass die Zustandsübergänge i.d.R. ereignisdiskret abgebildet/berechnet werden. Abbildung 17 verdeutlicht ein Produktionssystem, in diesem Fall eine Besenproduktion (für eine stoffstromorientierte Darstellung siehe zudem [Wohlgemuth, 2005, S. 172] und [Wohlgemuth, 2007, S. 18]). Dabei ist die Abbildung der relevanten Systemelemente nur der erste Schritt. Zwangsläufig müssen die Eintrittswahrscheinlichkeit von Ereignissen, sowie die Art der Behandlung von Ereignissen (bspw. durch Abbruchskriterien) genauer definiert werden⁸⁵. In dem Sinne wird aus den Fragen der Eintrittswahrscheinlichkeit von Ereignissen, ihrer der Dauer und der Reaktion des Systems auf die Vorgänge (wiederum durch Ereignisse) ein Komplex gebildet, der das zeitliche Systemverhalten, mit anderen Worten, die Dynamik des Systems definiert.

An der Reaktion des Systems auf Veränderungen kann zusätzlich die sog. Robustheit des Systems eruiert werden, bspw. kann es vorkommen, dass ein Stau an einer Maschine zum Ausfall der kompletten Produktion führt oder die Verfügbarkeit einer Ressource zu einem sog. Deadlock Szenario führt⁸⁶. Eben solche Szenarien will man ausschließen, bzw. optimieren, bspw. durch Redundanzen und/oder repetierende korrigierende Maßnahmen, die einen reibungslosen Fortschritt der Zustandsveränderungen (und damit der Produktion) garantieren. Die Untersuchung des zeitlichen Systemverhaltens zur Vermeidung von Störungen und ggf. Optimierungen von Abläufen sind dabei die deutlichsten Ziele des systemtheoretischen Ansatzes, gleichwohl gibt es bei der Anwendung noch andere auf den verschiedenen beschriebenen Ebenen (vgl. Abbildung 15-17); diese werden in der Folge adressiert.

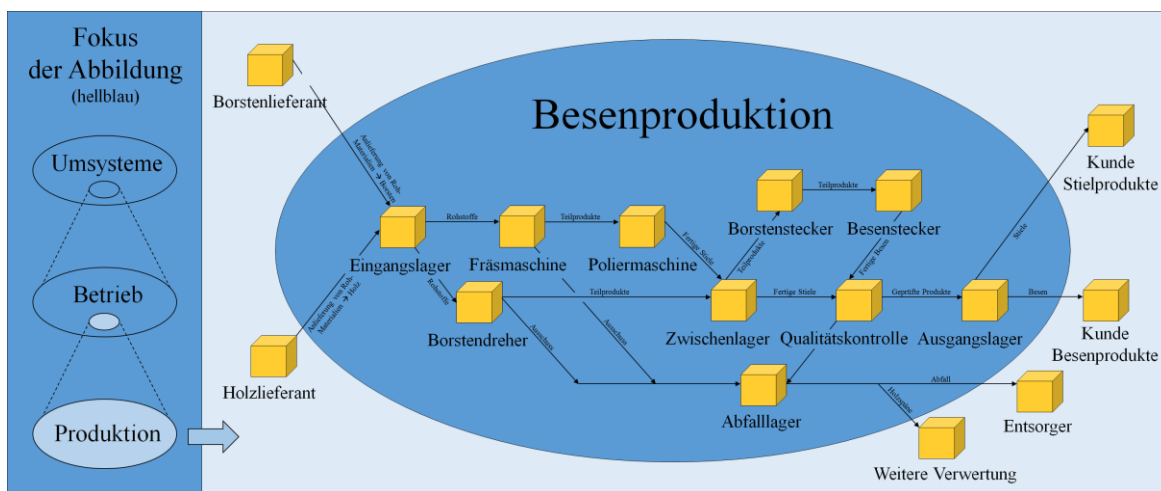


Abbildung 17: Systemtheoretische Wahrnehmung von Betrieben – Fokus Produktion

⁸⁵ Zudem ist anzumerken, dass die anderen betrieblichen Abteilungen, die noch in Abbildung 16 visualisiert wurden, in diesem Fall durch Abstraktion aus der Systembetrachtung ausgeschlossen werden, obwohl sowohl Überschneidungspunkte als auch Interaktionsgefüge bestehen. In diesem Kontext ist von den Modellierern zu eruieren, ob die Einwirkungen anderer Abteilungen und Prozesse Zustandsveränderungen im Hinblick auf die untersuchten Fragestellungen bedingen. Während bspw. die Schichtverteilung (vom Human Resource Management) in der Tat Auswirkungen hat (siehe bspw. [Freimuth & Pieper, 2015, S. 56 ff.]), so ist die Wirkung von Marketingstrategien für das Produktionssystem eher irrelevant und kann möglicherweise durch eine Veränderungsrate der Verteilung bei der Nachfrage und der Erhöhung von Warenanlieferung ersetzt werden. Das Ziel ist die ausreichend genaue Abbildung der Realität im Hinblick auf den Untersuchungszweck.

⁸⁶ Als Deadlock Szenario kann bspw. gelten, dass zwei Prozesse jeweils eine von zwei notwendigen Ressourcen halten und auf das Freiwerden der anderen warten, ohne die gehaltene Ressource freizugeben. Das Resultat ist, dass beide Prozesse stillstehen und es zu keinem Fortschritt mehr kommt, bis der Konflikt aufgelöst wurde.

2.4.2 Anwendung der Modellbildung und Simulation in der Produktion

2.4.2.1 Prinzipielle Einsatzfelder und Einsatzziele

Um die generellen Anwendungsfelder und –ziele der Modellbildung und Simulation (wie in 2.2.2.1 und 2.2.2.2 erläutert) im Kontext von Betrieben zu konkretisieren definiert Wohlgemuth in Anlehnung an Blitz, et al. [Blitz, et al. 1993, S. 60] als Zielsetzung:

- die Charakterisierung von Betrieben als reale Systeme mit generellen Eigenschaften,
- betriebliches Geschehen als dynamische Prozesse zu erfassen und zu verstehen,
- betriebswirtschaftliche Problemstellungen als systemtheoretische („*als solche der Gestaltung und Planung bzw. Optimierung von Systemen*“) zu erfassen und aufzulösen [vgl. Wohlgemuth, 2005, S. 62].

Diese noch immer generellen Ziele können im Kontext betrieblicher Produktion weiter konkretisiert werden. Hier kann erneut eine prinzipielle (Management-)Unterscheidung getroffen werden zwischen operativen, taktischen und strategischen Zielvorstellungen [vgl. Košturiak und Gregor 1995, S. 62 f.]. I.d.R. manifestieren sich die Hauptunterschiede allerdings lediglich im Zeithorizont und der Frage, ob ein Vergleichsprozess vorliegt. Klammert man diese grundsätzlichen Punkte aus, ergibt sich vornehmlich der Vergleich zwischen verschiedenen Produktionsprozessalternativen (strategisch oder operativ), in Bezug auf

- die Dauer von Prozessen und Teilprozessen,
- die Risiko- und Wartungsanfälligkeit, von Prozessen, Maschinen oder involvierten Ressourcen,
- den Einsatz von Materialien und Stoffen/Energie,
- den Einsatz von Ressourcen (inklusive Menschen⁸⁷) und
- Äquivalente oben genannter Punkte im Hinblick auf u.a. die entstehenden Kosten, Umweltbelastungen oder Belastungen von Einsatzgeräten/Ressourcen/Menschen.

Entsprechende Modelle können genutzt werden, um generelle Strategiebeurteilungen, Erfolgsabschätzungen von Neuanschaffungen oder Rationalisierungsprozesse zu beantworten. Wohlgemuth führt diese Punkte zusätzlich durch Anlehnung an die verschiedenen Betriebs-ebenen aus, d.h., auf Basis verschiedener betrieblicher Ebenen kommt es zu den unterschiedlichen operationalen, taktischen und strategischen Entscheidungsproblemen. Diese entfalten zwangsläufig Rückwirkungen auf die entsprechenden Frage- und Zielstellungen. Prinzipiell stellt die Unterstützung von betrieblichen Planungsfragestellungen nach Kuhn und Rabe [vgl. Kuhn und Rabe 1998, S. 1], Košturiak und Gregor [Košturiak und Gregor 1995, S. 59], und Wohlgemuth, der sich auf Erstgenannte bezieht [Wohlgemuth, 2005, S. 66] die Kernmotivation dar. Im Kontext einer Perspektivwahrnehmung⁸⁸ werden diese Punkte in Kapitel 3 aufgegriffen und ausgeführt. Für eine ausführlichere Analyse im Kontext der Systemtheorie siehe Wohlgemuth [Wohlgemuth, 2005, S. 64 ff.].

⁸⁷ Auf diese Wahrnehmung von Menschen als Ressourcen wird ausführlich in Kapitel 4 eingegangen.

⁸⁸ D.h., die unterschiedlichen Nachhaltigkeitsdimensionen bedingen zusätzlich einen spezifischen Fokus auf Ziel- und Fragestellungen.

2.4.2.2 Übliche Modellelemente und Komponenten

Die Anwendung von Modellierungs- und Simulationsverfahren bedingt die Möglichkeit der Abbildung der relevanten Systemelemente und die Parametrisierung der folglich entstehenden Modellelemente. Dabei werden die möglichen Modellelemente zwangsläufig durch die in 2.4.2.1 beschriebenen Einsatzziele auf eine sinnvolle Auswahl beschränkt. Die konkrete Ausprägung wird schließlich von den handelnden Akteuren auf Basis des Zusammenspiels aus Untersuchungszweck, vorhandenem Simulationssystem sowie der bestehenden Daten-situation ausgewählt. Ausgehend von einem existierenden Simulationssystem (bzw. einer Software) können die notwendigen Daten ihrerseits, zumindest teilweise, durch die gewählten Modellelemente bestimmt werden⁸⁹. Im Idealfall wird so das existierende Realsystem erst modelliert, dann parametrisiert. Abbildung 18 visualisiert und kategorisiert die üblichsten Elemente eines solchen Simulationsmodells in der betrieblichen Produktion.

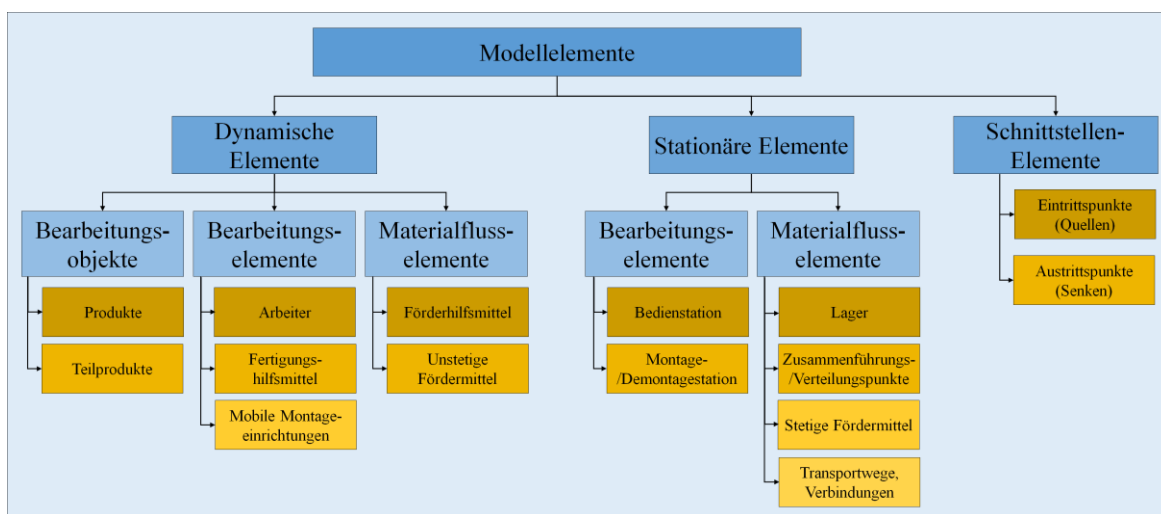


Abbildung 18: Typische Modellelemente in der Produktion [vgl. Wohlgemuth, 2005, S. 75]

Für diese Arbeit ist von besonderer Relevanz, dass abstrakte Kategorien definiert werden, auf deren Basis softwaretechnische Implementierungen folgen können, bzw. erfolgt sind (siehe bspw. die Entwicklung von Produktionskomponenten in [Jahr, et al. 2009, S. 57 ff.]). So werden bspw. Arbeitsstationen i.d.R. als Objektklasse, bzw. Komponente (je nach softwaretechnischer Vorgehensweise) definiert. Dabei entspricht das Begreifen von realen Objekten als abgegrenzte, wiederverwendbare, virtuelle Konstrukte und die entsprechende Implementation dem Prinzip der objektorientierten Programmierung⁹⁰. Zuzüglich zu den notwendigen Daten, die obigen Elemente betreffend, kommt es zu Datenanforderungen bzgl. Transformationsregeln (Stoffen/Teilprodukten) und simulationsspezifische Anforderungen (bspw. Abbruchskriterien), welche in der Folge konkretisiert werden.

⁸⁹ Die Reihenfolge wird hier durch die Handlungen der Akteure bestimmt, d.h., es kann auch sein, dass auf Basis der Datenlage die Modellelemente bestimmt werden. Der Idealfall entspricht allerdings der Vorgehensweise, Einsatzziel/Untersuchungszweck definiert Elemente, diese präzisieren die (auf Basis des Untersuchungszweckes bereits formulierten) Datenanforderungen, welche zur Datenaufnahme, Parametrisierung des Modells und schließlich der Simulation und den Ergebnissen führen. I.d.R. kommt es dabei auch zu Schleifen bzgl. der Anpassung des Modells, fehlender oder neuer Daten oder Änderungen an Fragestellungen.

⁹⁰ Diese Vorgehensweise wird in Kapitel 5 und 6 aufgegriffen werden und die grundlegenden Eigenschaften objektorientierter und komponentenorientierter Programmierung vertieft.

2.4.2.3 Anforderungen bei der Simulation von Produktionsbetrieben

Die generellen Anforderungen zur Simulation von Systemen werden in der Folge im Kontext von Produktionsbetrieben weiter konkretisiert. Resümierend besteht generell die Notwendigkeit nach einem Simulationssystem (in diesem Fall gleichbedeutend mit einer Software), einer Fragestellung (bzw. einem Untersuchungszweck) und den notwendigen Daten zur Parametrisierung des Modells, im Kontext des zu eruiierenden Sachverhaltes.

Die Fragestellung/der Untersuchungszweck wird von den Akteuren definiert und wurde durch die Einsatzziele in 2.4.2.1 bereits ausgeführt (für ausführlichere Beschreibungen siehe bspw. Košturiak und Gregor [Košturiak und Gregor 1995, S. 59 ff.] oder Wohlgemuth [Wohlgemuth, 2005, S. 65 ff.]).

Im Hinblick auf die Einsatzfelder können die notwendigen Daten insofern konkretisiert werden, dass Simulationsstudien in der Produktion Daten bzgl. der Produktionskomponenten (wie in 2.4.2.2) erfordern. Generell sind hier Zeiten für die Erledigung von Arbeiten von hoher Relevanz (Durchlaufzeiten, Rüstzeiten von Maschinen, aber auch Zeiten bzgl. manueller Tätigkeiten). Schlichtweg werden alle für die Erfüllung eines Prozesses relevanten Prozessschritte mit ihren Bedingungen, der Ablaufdauer, ihren Wirkungen und ihren relevanten Konsequenzen als Datengrundlage benötigt. Diese wiederum müssen entweder in einer Granularität vorliegen, wie es die Fragestellung und konsekutiv die Parametrisierung erfordert oder durch mathematische Verfahren substituierbar sein (bspw. durch Nutzung stochastischer Verteilungen oder durch Ableitung anhand statistischer Daten). Für eine ökonomische Auswertung sind zudem Preise für Materialien, Energie, (Teil-/)Produkte oder weitere Verwertungen notwendig⁹¹.

Je nach Untersuchungszweck kommen bei Produktionsbetrieben weitere Datenanforderungen hinzu, speziell Umweltbezüge führen zur Notwendigkeit einer genaueren Betrachtung von Stoffeinsätzen⁹². Zudem ist zwangsläufig auch ihre Handhabung nach Gebrauch von Relevanz (Abfall, Recycling, Weiterverwendung). Je nachdem ,wie weit diese Betrachtung geht⁹³ und ob weitere Verfahren integrativ betrachtet werden sollen, (bspw. die Lebenszyklusanalyse) kommt es zu zusätzlichen Datenanforderungen. Im Kontext von sozialen Kriterien ist dies ähnlich. Zwangsläufig sind weitere Daten bzgl. der involvierten Personen und je nach Art des Modells auch darüber hinaus notwendig. Eine Spezifizierung solcher Datenanforderungen im Kontext sozialer Kriterien erfolgt in Kapitel 4. Umweltspezifische Anforderungen werden in Wohlgemuth genauer behandelt [Wohlgemuth, 2005, S. 171 ff.].

⁹¹ Es ist ebenso möglich, den bloßen Ablauf der Produktionsprozesse zu simulieren und die entsprechenden Kosten einzelner Schritte im Nachhinein zu extrapolieren, jedoch bietet sich aufgrund einer verbesserten Transparenz bspw. bzgl. der Nutzung von verschiedenen teuren Materialien oder kostenintensiverer Prozesse (bspw. durch verschieden starke Energienutzung) eine ökonomische Betrachtung im selben Modell i.d.R. an. Allerdings kann die nachgelagerte ökonomische Analyse ebenso detailreich über dynamische Faktoren Aufschluss geben, solange die Simulationsergebnisse den Dynamikbezug eindeutig herstellen.

⁹² Generell geht es hier um Material und Energieeinsatz, aber auch der Einsatz von Ressourcen kann einen klaren Umweltbezug haben, wie bspw. der Schmierölbedarf von Maschinen oder der Einsatz von schwer entsorgbaren Gefahrstoffen in entsprechenden Produktionsprozessen.

⁹³ Hier wird darauf angespielt, dass die produktspezifische Betrachtung und entsprechende Eruiierung von Umweltwirkungen sich mehr und mehr auch auf Lieferketten und prinzipiell den Lebenszyklus bezieht.

Die Handhabung dieser teilweise sehr unterschiedlichen Daten bedingt ihrerseits konkrete Anforderungen an das genutzte Simulationssystem. Dieses braucht entsprechende Komponenten, um die verschiedenen Daten abbilden und zugrundeliegende Elemente parametrisieren zu können. Dabei haben sich, wie bereits in der Einführung angedeutet und aufgrund der hohen Komplexität verschiedenste softwareseitige Ausprägungen ergeben, die entweder nur spezielle Bereiche abdecken oder versuchen, so viele relevante Aspekte wie möglich durch ihre Komponenten zu bedienen.

Als allgemeine Anforderung an diese Systeme können zuerst die generellen Softwarequalitätsmerkmale (Korrektheit, Zuverlässigkeit, Benutzerfreundlichkeit, Wartungsfreundlichkeit, Effizienz und Portabilität) genannt werden [vgl. Pomberger und Blascheck, 1996, S. 9 ff.], [vgl. Wohlgemuth, 2005, S. 79]⁹⁴.

Zudem kommt es zu speziellen Anforderungen an Simulationssysteme, die sich hauptsächlich auf die Möglichkeiten der Modellbildung, Durchführung von Experimenten und die Ergebnisanalyse beziehen [vgl. Page, 1991, S. 166]. Diese noch immer generellen Anforderungen sind in mehreren Standardwerken beschrieben, siehe bspw. Page [Page, 1991, S. 165 f.] oder Law und Kelton [Law & Kelton, 2000, S. 208 ff.].

Als Hauptmerkmal der Angemessenheit eines Simulationssystems lässt sich grundsätzlich die Möglichkeit definieren, ob die notwendigen Aspekte des Produktionssystems hinreichend genau abgebildet werden können. Dabei kommt zur Parametrisierung der in 2.4.2.2 beschriebenen Produktionselemente die Parametrisierung der Ablaufsteuerung. In diesem Kontext wurden bereits Abbruchkriterien angesprochen. Diese sind prinzipiell der Simulationsablaufsteuerung des Simulationssystems zuzuordnen. Dabei sollte getrennt werden zwischen den der Simulationsart eigenen Ablaufsteuerungsmechanismen, der Art und Weise, wie die tatsächliche Ablaufsteuerung im Produktionssystem erfolgt, und der Art und Weise, wie das jeweilige Softwaresystem eine Modellierung anbietet, bzw. zulässt. Prinzipiell können sog. globale Steuerungen, wie Durchlaufsteuerungen, Transportsteuerungen, Eintrittssteuerungen, Zeitsteuerungen, von sog. lokalen Steuerungen, wie Zutrittssteuerungen, Freigabesteuerungen, Transformationssteuerungen, Operationsdauersteuerungen, Strategiesteuerungen unterschieden werden [vgl. Košturiak und Gregor 1995, S. 76 ff.], [vgl. Wohlgemuth, 2005, S. 76 ff.]. Zusammenfassend regeln diese die Dynamik der Simulation des Produktionssystems. Eine genauere Spezifikation wird in Kapitel 5 erfolgen. Im Kontext des Simulationssystems kann jedoch für beide Arten der Ablaufsteuerung zusammengefasst werden, dass entsprechende Softwarebausteine vorhanden sein sollten (teilweise müssen), die die Parametrisierung des Modells und den Ablauf der Simulation im Allgemeinen ermöglichen.

⁹⁴ Gerade in Bezug auf die Nutzerfreundlichkeit hat sich durch Weiterentwicklungen der Informatik und entsprechender Usability-Ansätze in den letzten Jahrzehnten einiges verbessert. Waren Simulationssysteme aufgrund ihrer Komplexität früher nicht durch Anwenderfreundlichkeit gekennzeichnet, gibt es heutzutage zumindest erkennbare Bestrebungen dies zu verbessern und auch Implementationen, die teilweise von fachfremden Anwendern bedient werden könnten. Page nennt in diesem Kontext „die Unterstützung auch von EDV-Laien“ eine „anspruchsvolle Zielsetzung“ für Simulationssysteme [Page, 1991, S. 165]. Dies ist nach wie vor (trotz der Besserung) zutreffend, wobei im Kontext von Produktionssystemen prinzipiell davon auszugehen ist, dass entsprechende Software von Fachkräften mit informationstechnischen Hintergrund genutzt wird.

2.4.2.4 Generelles Anwendungsbeispiel und spezifische Anforderungen

Um ein Kernelement der Anforderungen bei der Simulation von Produktionssystemen herauszustellen, soll ein simples Anwendungsbeispiel die „Notwendigkeit“ von Fachwissen verdeutlichen. Dazu zeigt Abbildung 19 zwei mögliche Modellelemente, einen Rollenförderer sowie eine Fräsmaschine (wie sie bspw. in der Besenproduktion in Abbildung 17 zum Einsatz kommen könnten). Zusätzlich sind in der Grafik exemplarisch drei Parameter abgebildet, welche im angezeigten Bereich veränderbar sind und über eine Eingangskonfiguration/-einstellung verfügen (der Wert der mit Aktuell gekennzeichnet ist).

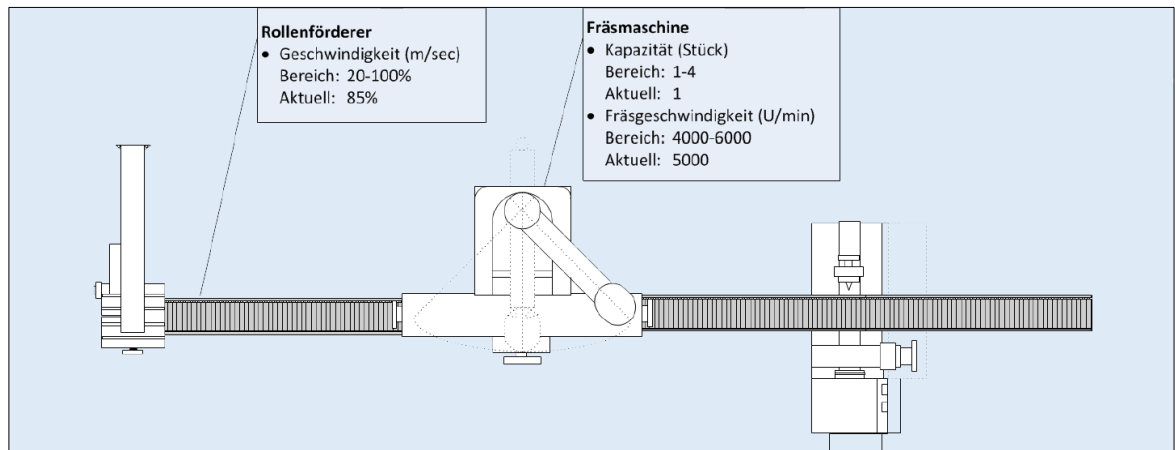


Abbildung 19: Ausschnitt einer Produktionsanlage mit exemplarischer Darstellung [Jahr, 2010, S. 18]

Diesbezüglich kommt es nun zu der sehr üblichen Fragestellung, welche Maschineneinstellung der Rollenförderer und die Fräsmaschine annehmen sollen, damit das beste Ergebnis, gemessen an Menge, aber auch Qualität der Endprodukte, erreicht wird⁹⁵. Es handelt sich somit prinzipiell um ein Optimierungsproblem.

Die maximale Anzahl der Experimente kann mithilfe folgender Formel berechnet werden:

$$n_E = \left(\prod_{i=1}^k \left(\frac{U_{P_i} - L_{P_i}}{D_{P_i}} + 1 \right) \right) - 1$$

Formel 8: Maximale Anzahl durchzuführender Experimente durch Änderungen [vgl. Jahr, 2010, S. 17]

Dabei entspricht n_E der Anzahl der Experimente, k der Anzahl der Parameter, U_{P_i}/L_{P_i} der oberen und unteren Grenzwerte des Parameters P_i (der verändert werden soll) und D_{P_i} der Schrittweite der Veränderung. Die Schrittweite entspricht somit der diskreten Änderungsrate zwischen zwei möglichen Werten des Parameters. Zusätzlich sollte $D_{P_i} \leq U_{P_i} - L_{P_i}$ gelten, da es sonst nicht wirklich zu Schritten kommt [vgl. Jahr, 2010, S. 17]⁹⁶.

⁹⁵ Wobei die Qualität der Endprodukte vom Simulationssystem nur berechenbar ist, falls eine Berechnungsformel vorliegt. Im angegebenen Fall ist es bspw. wahrscheinlich, dass die Geschwindigkeit des Rollenförderers ausschlaggebend für die korrekte Fixierung von Produkten in der Fräsmaschine ist.

⁹⁶ Bei der Berechnung durch die Formel wird die Simulation der Ausgangssituation nicht mitgerechnet, da diese als bereits bekanntes Vergleichsszenario gilt (Erläuterung der -1) [vgl. Jahr, 2010, S. 17].

Ausgehend von Formel 8 wird deutlich, dass je kleiner die Schrittweite der Veränderung eines Parameters ist, die Anzahl der zu vergleichenden Experimentkonfigurationen stark ansteigt (dies geschieht bereits bei nur einem Parameter). Die Verbindung zwischen zusätzlichen Parametern und der Veränderung der Schrittweite führt schließlich zu einem möglichen exponentiellen Anstieg der Anzahl der Modellkonfigurationen⁹⁷. Um dies in Zahlen zu verdeutlichen, ergeben sich bei 4 möglichen Einstellungen der Parameter im obigen Beispiel 63 mögliche Konfigurationen des Simulationsmodells [vgl. Jahr, 2010, S. 18 f.]. Ausgehend von einem realitätsnäheren Beispiel, nämlich dass der Parameter Geschwindigkeit in 1%-Schritten und der Parameter Fräsgeschwindigkeit um jeweils 100 Umdrehungen veränderbar wäre, ergäben sich mit den in Abbildung 19 angegebenen Veränderungsbereichen 6720 mögliche Einstellungen.

Eine manuelle Untersuchung einer vergleichbaren Einstellungsvielfalt scheidet i.d.R. aus (da die Modelle noch komplexer sind). Dies bedingt entweder die Möglichkeit einer computergestützten, bzw. automatisierten Experimentdurchführung (bzw. auch Experimentfolgen inklusive einer Entscheidungsroutine für die Werteveränderung) oder, wie es in der Realität häufiger vorkommt, einen Hinweis von dem Fachpersonal, welches an den Maschinen/Prozessen arbeitet. Dieser Hinweis entspricht dabei einer teils schon genannten, hier jedoch noch einmal herauszustellenden Anforderung bei der Simulation von Produktionsbetrieben. Wie aus obigen Beispiel ersichtlich werden sollte, sind bereits die Einstellungsmöglichkeiten komplexerer Modelle in ihrer Gänze nicht von Menschen her abzudecken („bereits“, da die Wechselwirkungen und Veränderungen der Werte während der Simulation die Einstellungsmöglichkeiten noch um ein Vielfaches übersteigen). Dies führt dazu, dass i.d.R. Fachpersonal Anhaltspunkte bzgl. der Güte von Einstellungen geben muss. Im einfachsten/besten Fall können sogar eindeutige Parametrisierungen vorgeschlagen werden, welche anschließend Simulationsergebnisse zum Vergleich liefern. Gerade in Bezug zur erwähnten Qualität der Endprodukte, gibt es i.d.R. Erfahrungen des Fachpersonals mit den Maschineneinstellungen, diese Erfahrungen dienen als Ausgangsbasis bei dem Vergleich unterschiedlicher Modellkonfigurationen und ermöglichen so das heuristische Vorgehen.

Wie schon in Punkt 2.3 verdeutlicht, gibt es auch die Möglichkeit von computergestützten, bzw. automatisierten Durchführungen der Simulationsexperimente mit verschiedenen Modellkonfigurationen (siehe bspw. Gehlsen [Gehlsen, 2004, S. 97 ff.]), als auch Optimierungen der Simulationseinstellungen an sich (siehe bspw. Göbel [Göbel, 2012, S. 69 ff.] oder Jahr [Jahr, 2010, S. 61 ff.]).

Um die Anwendung von Modellierungs- und Simulationsverfahren in der Produktion weiter zu konkretisieren, weitere Beispiele zu liefern, die für den Fortgang der Arbeit von Relevanz sind und aktuelle Entwicklungstendenzen im Bereich der Produktionssimulation darzulegen, wird der folgende Abschnitt aktuelle Beispiele aus der Fachliteratur aufgreifen und erläutern.

⁹⁷ Theoretisch ist noch anzuführen, dass die Anzahl der Modellelemente einen weiteren Faktor in die Komplexität einbringt, da diese wiederum über eine unterschiedliche Anzahl von Parametern verfügen. Der Einfachheit halber kann aber hier notiert werden, dass die Anzahl der Modellelemente wiederum „nur“ die Anzahl der Parameter, sowie ihrer Veränderungsbereiche erhöht (auch wenn diese potenziert sein können).

2.4.3 Aktuelle Beispiele des Einsatzes von Simulationsverfahren in der Produktion und Logistik

2.4.3.1 Einführung

Dieser Abschnitt skizziert Entwicklungstendenzen im Bereich der Simulation von Produktionssystemen. Dazu werden ausgewählte Beispiele der Anwendung von Simulationsverfahren aus den letzten Jahren im Bezugsrahmen vorgestellt.

Prinzipiell ist zu trennen zwischen

- der Veränderungen von Simulationsverfahren, (Dies schließt
 - die Veränderung der einheitlich gebräuchlichen Abläufe und Aufbaurelationen von bekannten Verfahren,
 - Zusätze zu bekannten Verfahren als auch
 - die Kombination verschiedener Verfahren mit dem Ziel einer Verbesserung oder einer Erweiterung der Funktionalitäten ein.)
- der Verbesserung der zugrundeliegenden Softwaresysteme, (Was
 - Änderungen an Softwarerahmenwerken oder Programmiersprachen und Neuentwicklungen auf ihrer Basis,
 - nennenswerte Weiterentwicklungen ursprünglicher Implementierungen und
 - Änderungen an den mathematischen Grundlagen/Berechnungsverfahren und Veränderungen an den Systemen auf ihrer Basis einschließt.)
- sowie der Veränderung des Fokus der Simulation. (Was sich sowohl auf
 - das Hinzufügen neuer, bisher unüblicher Kriterien (bspw. durch die angesprochene Veränderung der Perspektivwahrnehmung), als auch auf
 - die prinzipielle Erweiterung der Systemgrenzen der der Simulation zugrundeliegenden Produktionssysteme beziehen kann.)

Da sich Kapitel 5 und 6 zusätzlich auf Weiterentwicklungen im Bereich der Software beziehen, wird das Augenmerk der folgenden Ausführungen hauptsächlich, aber nicht ausschließlich auf die Veränderung von Simulationsverfahren und die Veränderung des Fokus der Simulation gerichtet sein.

Zudem werden die Thematiken der Nachhaltigkeit und sozialer Kriterien in den Kapiteln 3 und 4 gesondert vertieft werden. Dies ist für diesen Abschnitt insofern relevant, da sich zumindest bzgl. der Eingliederung von Nachhaltigkeitsaspekten in die Simulation von Produktionssystemen ein Trend in den letzten Jahrzehnten aufzeigen lässt. Gerade aufgrund dieses teils stark propagierten Trends können viele der so titulierten Ansätze allerdings eher unter Marketing-Aspekten eingeordnet werden. So wird das Schlagwort oft dafür mißbraucht, um marginale Änderungen an Systemen als neue nachhaltigkeitsbezogene Innovation zu verkaufen, und dies ohne die tieferen Konzepte des Nachhaltigkeitsprinzips tatsächlich in die Systeme einzugliedern. Für eine korrekte Bewertung dieser Ansätze empfiehlt sich daher erst die theoretische Vertiefung in Kapitel 3, gleichwohl werden einige ausgewählte Beispiele bereits vorgestellt und folgend referenziert.

2.4.3.2 Entwicklungstendenzen und bezugnehmende Beispiele

Produktionen sind sehr differenzierte und in Anbetracht regionaler Unterschiede und im Hinblick auf u.a. die Kultur, Legislativen und gegebene Forschungsstände, sich auch sehr differenziert verändernde Systeme (siehe auch Umsysteme bzgl. Einwirkungen auf das System Betrieb und Produktion, Abb. 15/S. 40). Diesen Hintergrund beachtend basiert die folgende Einschätzung sich manifestierender Trends auf einer Analyse von ca. 200 wissenschaftlichen Veröffentlichungen aus Fachzeitschriften, Berichten einschlägiger Konferenzen und Fachbüchern des Bereichs der Produktionssimulation und weiteren ca. 300 Veröffentlichungen aus verwandten Themengebieten, die Überschneidungspunkte aufweisen⁹⁸. Die angezeigten Trends sind dabei auch, aber nicht ausschließlich im Kontext der Arbeit einzuordnen, da zugrundeliegende Quellen hauptsächlich mit dem Fokus der Arbeit ausgewählt und gesichtet wurden.

Bzgl. der Veränderung und Erweiterung des Fokus der Simulation kann bemerkt werden, dass sich ein Trend abzeichnet, die klassischen Systemgrenzen der Produktionssimulation zu erweitern⁹⁹. Ferner besteht ein Trend ökologische Aspekte der Produktion stärker zu gewichten (in den letzten Jahrzehnten) und in Modellen abbilden und simulieren zu können.

U.a. durch das Erstarren von Umweltwahrnehmungen in der Öffentlichkeit und durch das Verständnis von möglichen Synergieeffekten in Fachkreisen sind besonders die Aspekte Energie und Material in den Vordergrund solcher Betrachtungen gerückt¹⁰⁰.

⁹⁸ Die vollständige Liste ist dem Literaturverzeichnis zu entnehmen. Die Analyse erfolgte in den Jahren 2010-2015. Die zeitgleiche Literaturrecherche bzgl. der Integration sozialer Kriterien überschneidet sich dabei fachlich nur in seltenen Fällen. In dem Sinne kam es zwangsläufig zu weiteren Recherchen bzgl. der Konzeption der Komponenten zur Abbildung sozialer Kriterien, da entsprechende Implementierungen in den ausgewiesenen Quellen zur Produktionssimulation sehr selten sind. Die Auswahl der Beispiele in der Folge entspricht dem subjektiven Empfinden der Passgenauigkeit. Für einige der Trends könnten jeweils eine Vielzahl von Quellen genannt werden, bspw. wurde die Verbindung der Lebenszyklusanalyse mit der Produktionssimulation allein in 27 relevanten Quellen in den letzten 5 Jahren gefunden bzw. aufgenommen. Viele davon könnten sowohl dem Trend einer erhöhten Wahrnehmung von Nachhaltigkeit als auch dem Trend der Erweiterung der Systemgrenzen zugeordnet werden. Da die hier beschriebenen Entwicklungstendenzen jedoch nur einen Überblick über Forschungsintensitäten und -richtungen geben sollen und diese Auseinandersetzung den Hauptbestandteil dieser Arbeit nur flankiert, wird von tieferen Analysen und Aufbereitung an dieser Stelle abgesehen. Für eine Übersicht der Praktiken im Bereich der nachhaltigen Produktion ist zudem auf einen entsprechenden OECD Bericht zu verweisen, welcher auch aktuelle Innovationen herausstellt, siehe [OECD, 2009, S. 9].

⁹⁹ Man kann dieser Erweiterung prinzipiell auch kritisch gegenüberstehen, da Lösungsräume und Konfigurationsmöglichkeiten mit zunehmenden Betrachtungswinkeln weiter, zuweilen sehr stark ansteigen (wie in den vorherigen Abschnitten angedeutet). Gleichzeitig verbessern sich allerdings auch die technischen Möglichkeiten stark, sodass Probleme, die noch vor Jahrzehnten als unmöglich lösbar galten, heutzutage gelöst werden können. In dem Sinne eröffnet das kontinuierliche Voranschreiten an Rechenleistung neue Betrachtungsebenen auch in der Modellierung und Simulation von Produktionssystemen.

¹⁰⁰ Siehe bspw. Devoldere, et al. [Devoldere, et al., 2007, S. 311 ff.] und Thiede mit diversen Veröffentlichungen, bspw. [Thiede, 2012, S. 16 ff.], [Thiede, et al., 2011, S. 335 ff.], [Herrmann, et al., 2011, S. 45-48] für den Bereich Energie. Bzgl. des Nutzens von Synergieeffekten aus Einsparungen, d.h., Effizienz- und Suffizienz-Strategien stützt sich Thiede hier u.a. auf Schmidt und Herrmann, s. [Thiede, 2012, S. 3 ff.] bzw. [Herrmann, et al., 2008, S. 83 ff.] im Kontext von Lean-Strategien (s. Kapitel 3), sowie [Herrmann, 2010, S. 63 ff.] bzgl. dem generellen Unterscheidungen der Strategien. Wohlgemuth führt ähnliche Aspekte der Verbindung von Ökologie und Ökonomie bereits frühzeitig an, wobei hier die Fokussierung auf den Themenbereich der Nachhaltigkeit noch nicht im gleichen Maße ausgeprägt war [Wohlgemuth, 2005, S. 174 ff.]. Prinzipiell sollten weitere „Lean-Strategien“, Effizienz-Strategien zugerechnet werden, weitere konkrete Beispiele sind dazu in Stump und Bardueen [Stump & Bardueen, 2012, S. 109 ff.] zu finden. Zudem für eine Auswahl (Lean-Kontext) während der Design-Phase von Montageprozessen in Karim, et al. [Karim, et al., 2012, S. 169 ff.].

Gleichzeitig hat die in der Öffentlichkeit und Politik propagierte Verstärkung von Anstrengungen im Kontext der Nachhaltigkeit dazu geführt, dass viele Lösungen mit ökologischem Bezug mittlerweile als „nachhaltige Ansätze“ benannt werden. Im Maße der stark steigenden Anzahl so titulierter Lösungen, ist auch hier ein klarer Trend auszumachen¹⁰¹.

Anzumerken ist allerdings, dass die Ansätze, die darauf fokussieren Material und Energie einzusparen, auch als Ansätze gekennzeichnet werden können, die nachhaltiger sind als ihre Vergleichsvorgehensweisen und in dem Sinne ist eine Zuordnung zu „nachhaltigen Ansätzen“ möglich. Dies wird in der Folge explizit nicht getan, was in Kapitel 3 erläutert wird.

Die Veränderung des Fokus spielt zudem auf die Auflösung der klassischen Systemgrenzen von Produktionssystemen und ihrer Simulation an. Hier gibt es eine Reihe von verschiedenen Konzepten, einerseits zur Integration von Lebenszyklusaspekten¹⁰², sowie zur stärkeren Integration von Lieferketten bzw. Elementen des Supply-Chain-Managements¹⁰³.

¹⁰¹ Seliger liefert bspw. eine Zusammenfassung von unterschiedlichen Lösungen unter dem Hauptbegriff „Sustainable Manufacturing“. Der auch im Untertitel definierte Fokus liegt hier auf dem Gebrauch von Nachhaltigkeit als Wertschöpfungsindikator in der Produktion [Seliger, 2012, S. 1 ff.]. Oftmals wird in den zugrundeliegenden Veröffentlichungen von Seliger der Nachhaltigkeitsbegriff jedoch sehr weit gefasst und teilweise fachlich unzureichend belegt. Eine Analyse des Gebrauchs bzw. entsprechender Ansätze und Fehleinschätzungen erfolgt in Kapitel 3. Vorderwinkel und Heiß [Vorderwinkel & Heiß, 2011, S. 6 ff.] sowie Heilala, et al. [Heilala, et al., 2008, S. 1922 ff.] fokussieren ihrerseits auf nachhaltige Produktionsreglung und auf die Designphase um nachhaltige Verbesserungen zu erreichen. Paju, et al. [Paju, et al., 2010, S. 3411 ff.] präsentieren und diskutieren zuzüglich ein „Framework“ bzw. Indikatoren zu entsprechenden Bewertungen von Produktionen im Hinblick auf die Nachhaltigkeit. Für die Konzeption der Softwarekomponenten in Kapitel 5 und 6 war diese Quelle entsprechend von besonderer Relevanz. Allerdings sind ähnliche Rahmenwerke zu finden bspw. in Lind, et al. [Lind, et al., 2009, S. 15 ff.] und bzgl. verschiedener Ausprägungen von Indikatoren-Systemen im Kontext der Nachhaltigkeit von Produktion auch in Sharma [Sharma, 2012, S. 259 ff.] sowie bereits diskutiert in Veleva und Ellenbecker [Veleva & Ellenbecker, 2001, S. 519 ff.]. Eine genauere Betrachtung der Güte der verschiedenen Lösungen schließt sich in den folgenden Kapiteln an, abschließend kann man zudem anmerken, dass Thiede, et al. von Nachhaltigkeit als dem/einem neuen Paradigma in der Produktion sprechen („*Sustainability as new paradigm in manufacturing*“) [Thiede, et al., 2012, S. 1].

¹⁰² Dies kann bspw. in Shao, et al. gesehen werden, wobei der Ansatz unter der Bezeichnung „*sustainability analysis*“ steht [Shao, et al., 2010, S. 875 ff.]. Es gibt eine Reihe von Lösungen die Produktionen mit LCA Daten kombinieren, wobei die Kombinationshäufigkeit von Produktionssimulationsmodellen und LCA Daten geringer ist, allerdings in den letzten Jahren, vermutlich auf Basis der verbesserten Datenlage, zugenommen hat. Interessant sind auch Lösungen, die teils unterschiedliche Simulationsverfahren kombinieren. So verbinden bspw. Jain, et al. System Dynamics mit Ereignisdiskreter Simulation und bilden so, in Abhängigkeit der Granularität und Komplexität der einzelnen Lebenszyklusphasen, ein hybrides Modell [Jain, et al., 2013, S. 1996 ff.]. Auch Venkateswaran und Son nutzten diese Kombination von Verfahren, allerdings nicht bezüglich Lebenszyklusphasen, sondern um ein hybrides Modell aus verschiedenen, mit ereignisdiskreter Simulation beschriebenen, Produktionen um Hierarchiestufen anzureichern [Venkateswaran & Son, 2005, S. 4397 ff.]. Eine Übersicht über Verfahren in der schwedischen Automobilindustrie (auch im Bezug zu Kombinationen) ist zu finden in [Ahmadi, 2012, S. 31]. In dem Sinne können verschiedene Strategien beobachtet werden, um die Phasen des Lebenszyklus von Produkten und Materialien in ein alle oder fast alle Phasen umspannendes Modell zu integrieren. Einerseits die klassische Produktionssimulation, die auf LCA Daten der Vorketten zugreift, andererseits Metamodelle, welche verschiedene Phasen separat simulieren und die Resultate anschließend aggregieren oder als Grundlage für Folgemodelle zu nutzen. Siehe diesbezüglich auch Abschnitt 2.4.3.3.

¹⁰³ Bspw. simulieren Chang & Makatsoris verschiedene Teile von Lieferketten. Diese reichen von Zulieferern über die Produktion bis hin zu Kunden, wobei der Produktionsprozess als Input-Output-Relation gegeben wird [Chang & Makatsoris, 2001, 24 ff.]. Ein Metamodell wie es bspw. Jain, et al. beschreiben [Jain, et al., 2013, S. 1996 ff.] kann hier entsprechende Verbindungen zwischen der Produktionsphase (d.h., der klassischen Produktionssimulation) und der umschließenden auf die Prozessketten/Lieferketten fokussierenden Simulation herstellen. Eine Übersicht von Verfahren zur Bewertung von Maßnahmen und Metriken im Bezug zu Lieferketten findet sich in Gopal und Thakkar [Gopal & Thakkar, 2012, S. 518 ff.]. Die Bewertungsmechanismen die Maßnahmen betreffend sind dabei sehr interessant und können so auch auf andere Bereiche der Produktion und Verfahren zur Optimierung angewandt werden.

Hier sollte an die Ebenen der Nutzung von Simulationsverfahren mit Produktionsbezug erinnert werden, d.h., unterschiedliche Entscheider haben unterschiedliche Fokusse¹⁰⁴. Auf der operationalen Ebene kann das z.B. der Vergleich zwischen zwei Maschinen und die Frage nach dem Gewicht ihres unterschiedlichen Verbrauches über einen Zeitraum sein, wobei die Frage nach Lieferketten oder Lebenszyklen, wie im letzten Absatz erwähnt, bzgl. dieser Fragestellung meist irrelevant ist. Der hier vorgestellte Trend bezieht sich somit eher auf eine strategische Managementebene und darauf, dass entsprechende, die Betrachtung erweiternde, Lösungen in den letzten Jahren verstärkt aufgetreten sind¹⁰⁵.

Als prinzipielle Ziele fortlaufender wissenschaftlicher Untersuchung können zudem konzeptuelle und technische Verbesserungen kategorisiert werden, die sich darauf beziehen

- den Prozess der Modellierung zu vereinfachen¹⁰⁶,
- die Datenaufnahme für anschließende Parametrisierungen von Modellen zu vereinfachen oder zu automatisieren¹⁰⁷,
- die Art und Weise der Parametrisierung zu vereinfachen oder zu automatisieren (mit und ohne anschließender Automatisierung von Experimenten¹⁰⁸),
- die Simulationsgeschwindigkeit zu verbessern, bzw. mehr Experimente in gleicher Zeit durchführen zu können (was sich auf die Güte des Programmcodes bezieht),
- die Validierung und Verifikation zu unterstützen¹⁰⁹.

¹⁰⁴ Siehe auch 2.4.1 bzgl. der unterschiedlichen Nutzer und Anspruchsgruppen, bzw. Wohlgemuth [Wohlgemuth, 2005, S. 68] bzgl. der Ebenen-Perspektiven von unterschiedlichen Akteuren/Auftraggebern und ihrer spezifischen Zielvorstellungen/Fragestellungen im Hinblick auf die Nutzung der Simulation.

¹⁰⁵ Zudem ist anzumerken, dass abgesehen von der Entwicklung entsprechender Systeme, die Grundlagen der Produktionssimulation bei der Integration von LCA Daten bzgl. der genutzten Materialien, bzw. Energiemixe oder andere verwendete Stoffe im Kontext von Ressourcen, sich nicht verändern müssen, siehe bspw. Schiemann, et al. [Schiemann, et al., 2012, S. 7 ff.]. Einfacher formuliert, die Modellierung und Simulation kann nach dem exakt gleichen Maße geschehen, ohne dass es negative Auswirkungen hat (bspw. durch erhöhten Modellierungsaufwand). Für den Fall aber, dass LCA Daten für die genutzten Materialien bekannt sind, können durch einfache Zuordnung zusätzliche Ergebnisse im Bereich der Lebenszyklusanalyse erzielt werden. Natürlich können sich die Modellierungsabläufe auch verändern, dies hängt vom Softwaresystem ab, jedoch prinzipiell ist diese Integration auf Basis dessen, dass sie bestehende Vorgänge kaum verändert, jedoch zusätzliche Ergebnisse liefern kann, als Ergänzung zu konnotieren. Eine Evaluation ähnlicher (LCA und DES verbindender) Ansätze wird zudem beschrieben von Andersson, et al. [Andersson, et al., 2012, S. 1761 ff.].

¹⁰⁶ Bereits angesprochen in Wohlgemuth [Wohlgemuth, 2005, S. 200] bzgl. der Reduktion des Modellierungsaufwandes bei der Zusammenführung unterschiedlicher Modelle, die eigentlich über hauptsächlich ähnliche Modellelemente verfügen. Prinzipiell sind hier auch oft Softwareänderungen mit dem Ziel einer verbesserter Usability zu verorten. Ein weiteres Extrembeispiel für die Unterstützung der Modellierung ist bspw. der Scan von Fabrikhallen durch 3D Laser-Scans (via Kamera oder sogar Drohnen), so beschrieben in Lindskog, et al. [Lindskog, et al., 2013, S. 419 ff.] und Berglund, et al. [Berglund, et al., 2014, S. 2990 ff.].

¹⁰⁷ Die Datenaufnahme ist im Kontext der in 2.4.2.2 erläuterten Produktionskomponenten teilweise noch immer ein zeitaufwendiges Unterfangen. Zwar gibt es bereits ausgetüftelte Systeme, die Daten von Maschinen aggregieren und an Verteiler funken, in den meisten KMU ist dies allerdings nicht der Fall. Krehahn, et al. [Krehahn, et al., 2012, S. 665 ff.], Ziep, et al. [Ziep, et al., 2010, S. 306 ff.] sowie Wohlgemuth, et al. [Wohlgemuth, et al., 2012, S. 43 ff.] beschreiben bspw. den Nutzen von mobilen Geräten zur Vereinfachung der Datenaufnahme beim Materialflussmanagement. Entsprechende Lösungen sind auch für die Vereinfachung der Datenaufnahme für die Produktionssimulation möglich. Siehe bzgl. der Verbesserung der Nutzerfreundlichkeit im selben Kontext auch Widok und Wohlgemuth [Widok & Wohlgemuth, 2014 (a), S. 801 ff.].

¹⁰⁸ Gehlsen beschreibt in diesem Kontext den Nutzen von genetischen Algorithmen und verteilten Systemen für eine Verbesserung der simulationsbasierten Optimierung [vgl. Gehlsen, 2004, S. 204 ff.].

¹⁰⁹ Bei den letzten beiden Punkten der Liste geht es eher um softwaretechnische Fragestellungen/Weiterentwicklungen, bspw. die Verbesserung von Unit-Testing Suites, siehe dazu Kapitel 6 für weitere Informationen.

Weitere aktuelle Ansätze bzgl. der Behandlung von sozialen Kriterien in der Produktionssimulation werden in Kapitel 4 vertieft. An dieser Stelle jedoch von einem Trend zu sprechen, geht zu weit, da die Anzahl von Lösungen im Vergleich zu den anderen hier angesprochenen Veröffentlichungen und zugrundeliegenden Lösungen, eher gering ist¹¹⁰.

Eine knappe Zusammenfassung der Trends lässt sich wie folgt beschreiben:

- starker Anstieg vieler (zumindest so titulierter) nachhaltigkeitsbezogener Ansätze,
 - inklusive einem verstärktem Fokus auf ökologische Kriterien,
 - der Bildung von Nachhaltigkeitsrahmenwerken und Metriken zur Messung und Anwendung dieser in Verbindung mit der Simulation und
 - der generellen vor- und nachgelagerten Aggregation von Daten oder Ergebnissen mit Nachhaltigkeitsbezug bzw. Bewertung,
- spezifisch verstärkter Fokus auf Energie und Material,
 - Nutzung der Materialflussanalyse und –managementaspekten in Verbindung mit der Simulation¹¹¹,
- stärkere Eingliederung von Lebenszyklusaspekten sowie Lieferketten mit teilweiser Auflösung der klassischen Systemgrenzen der Produktion bis hin zur,
 - Nutzung verschiedener Modelle für unterschiedliche Phasen des Lebenszyklus von Produkten („*multi-resolution modeling*“) oder
 - Einbindung aggregierter Kennwerte für Vor- und Nachbetrachtungen der Produktionsphase (LCA-Ansätze¹¹²),
- Verbesserung virtueller Modelle inklusive
 - visuellen/technischen Verbesserungen, bis hin zum Scannen von Fabrikhallen durch Kameras und Zuordnung der Modellelemente,
 - wie auch auf Basis der physikalischen Grundlagen, bspw. durch Berechnung von Bewegungspfaden, exakte lokale Zuordnung, 3D-Zuordnungen, etc.,
- im sozialen Kontext gab es zudem einige Ansätze zur Einbindung ergonomischer Kriterien in der Simulation (weiterführende Informationen in Kapitel 4).

Ein umfangreicher Literaturüberblick über weitere softwaretechnische Neuerungen im Bereich der Produktion (ohne den Kernfokus der Simulation, aber mit Überschneidungspunkten) wurde zudem von Brousseau und Eldukhri im Jahre 2011 veröffentlicht [Brousseau & Eldukhri, 2011, S. 675 ff.].

¹¹⁰ Gleichzeitig stand die einschlägige Konferenz „Winter Simulation Conference“ dieses Jahr zumindest dem Untertitel nach im Zeichen des Sozialen. Hier ist allerdings zu trennen, da soziale Simulation bzw. die Simulation sozialer Kriterien durchaus schon lange und auch aktuell vielseitig betrieben wird; der Unterschied liegt hier im Bezug zur Produktionssimulation, bei der der Fokus auf soziale Kriterien bisher eher gering ist. Colantonio erwähnte in Veröffentlichungen 2007 und 2009 noch die Hoffnung und Aussicht auf eine Verstärkung der Forschungsintensität im Bereich von sozialen Kriterien, was allerdings im Bezug zu dem vorgestellten „Social Sustainability Assessment Framework“ (SSAF) zu sehen ist [vgl. Colantonio, 2007, S. 4], [vgl. Colantonio, 2009, S. 1 ff.].

¹¹¹ Siehe diesbezüglich auch noch eine erweiterte energetische Betrachtungen in der Materialflusssimulation in Schlegel, et al. [Schlegel, et al., 2013, S. 187 ff.], Verbindung von DES und MFA werden in Wohlgemuth, et al. [Wohlgemuth, et al., 2006, 1607 ff.] bzw. Wohlgemuth [Wohlgemuth, 2005, S. 122 ff.] beschrieben.

¹¹² Siehe bspw. auch das EcoFactory Projekt (<http://www.ecofactory.ethz.ch/>), sowie das EcoProIt Projekt (<https://www.chalmers.se/en/projects/Pages/EcoProIT.aspx>) und bzgl. SLCA Autor Jørgensen mit diversen Veröffentlichungen bspw. [Jørgensen, 2009, S. 204 ff.] bzw. [Jørgensen, et al., 2010, S. 23 ff.].

2.4.3.3 Relevante systemtheoretische Bezüge ausgewählter Beispiele

Um abschließend zwei Anknüpfungspunkte für die folgenden Kapitel zu definieren, soll erstens der Werdegang der kombinatorischen Betrachtung gleicher Modellelemente aus unterschiedlichen Perspektiven verdeutlicht werden¹¹³. Dies impliziert, dass Sachverhalte, die einst in unterschiedlichen Modellen/mit unterschiedlichen Verfahren dargestellt und analysiert wurden, mittlerweile in einem Simulationsmodell integriert betrachtet werden können.

In diesem Kontext besteht, auch mit Bezug zur Eruierung neuer Anwendungsfelder der Simulation, eine längere Tradition der Forschung an der Universität Hamburg. So hat Möller bereits vor über 20 Jahren den Term „Stoffstromnetze“ mit geprägt [Möller, 1994, S. 223 ff.]. Der Stoffstromnetzansatz zeichnet sich dadurch aus, eine Verbindung zwischen dem Petri-Netz-Ansatzes¹¹⁴ der theoretischen Informatik und Konzepten des betrieblichen Rechnungswesens herzustellen und die Übertragung auf die Modellierung von Stoffströmen zu ermöglichen [vgl. Möller 2000, S. 72 ff.], [vgl. Wohlgemuth, 2005, S. 155].

Die Verbindung von Simulationsverfahren mit dem Stoffstromnetzansatz wurde in der Folge als empfehlenswert eingestuft und zudem im Kontext betrieblicher Umweltinformationssysteme (BUIS) auf Nutzbarkeit hin geprüft [vgl. Wohlgemuth, et al., 2001, S. 999 ff.]. Speziell in Bezug auf den Gebrauch von Simulationsverfahren als Analyseinstrumente bzgl. der betrieblichen Stoff- und Energieflüsse wurden konsequente Fortschritte bzgl. Modellierung und Verbindung der ökonomischen und ökologischen Perspektive gemacht [vgl. Wohlgemuth, 2014, S. 27 f.].

In diesem Sinne wurde die Theorie der klassischen Produktionssystemsimulation um neue Aspekte erweitert. So mussten bspw., um die Stoffstromsichtweise anwenden zu können, an verschiedenen Punkten im Produktionssystem das Betrachten und Bewerten der Stoff- und Energieströme möglich gemacht werden [vgl. Wohlgemuth & Widok, 2013, S. 71]. Dazu wurden u.a. ein Stoffstrombuchungssystem, Materialverwaltungskomponenten sowie Funktionalitäten, um diese in die Produktionssystemsimulation zu integrieren, softwareseitig entwickelt [vgl. Widok, et al., 2011 (a), S. 859 ff.].

Die kontinuierliche Weiterentwicklung der Theorie sowie der entsprechenden Komponenten führte zudem zur Integration der Lebenszyklusanalyse in denselben Softwareansatz [vgl. Widok, et al., 2012 (a), S. 264 ff.]. Dieser Ansatz wurde in den letzten Jahren in betrieblichen Anwendungsfällen in der Praxis angewandt [vgl. Reinhard, et al., 2013, 532 ff.].

Dabei setzt auch diese Integration die Reduzierung des Modellierungsaufwandes durch die kombinatorische Nutzung gleicher Modellelemente aus verschiedenen Verfahren fort. In dem Sinne kommt es zu einer Verbindung der Verfahren, bei ähnlicher Modellierung und dem Wegfallen überflüssiger Redundanzen. Diese Prinzipien aus Integration verschiedener Perspektiven und Verbindung gleicher Modellelemente werden in dieser Arbeit fortgesetzt.

¹¹³ Dadurch kann die Intention der Anwendung verschiedener Verfahren eingeschlossen werden.

¹¹⁴ Petri-Netze sind Modelle (meist gerichtete Graphen mit zwei Typen von Knoten), die vornehmlich für die Darstellung verteilter Systeme genutzt werden. Sie wurden bereits in den 60er Jahren von Carl Adam Petri wissenschaftlich publik gemacht und werden bis heute genutzt, siehe bspw. Reisig [Reisig, 2010, S. 13 ff.].

Als zweiten Anknüpfungspunkt soll auf die Kombination verschiedener Modelle mit unterschiedlichem Auflösungsgrad aus Jain, et al. [Jain, et al., 2013, S. 1996 ff.] und vergleichbaren Ansätzen¹¹⁵ eingegangen werden. Der Grund für diesen Fokus sind die sich in Kapitel 3 und 4 verstärkende Betrachtung von betrieblichem Wirken auf unterschiedlichen Ebenen.

In sinngemäßer Übereinstimmung zu den in Abschnitt 2.4.3.2 definierten Trends, bemerken Jain, et al. im Kontext von Lieferketten: *“A majority of the published applications establish a clear focus on reducing energy consumption in selected parts of a supply chain instead of taking a holistic environmental impact perspective.”* [Jain, et al., 2013, S. 1999]¹¹⁶.

Wie unter Punkt 2.4.1.3 und folgend erläutert, stellt eine Produktion systemtheoretisch ein Subsystem eines Betriebes dar, gleichzeitig kann die Produktionsphase (mit ähnlicher Modellierung) auch als Subsystem des Lebenszyklus eines Produktes modelliert werden. Diese können wiederum als Subsysteme von Ökonomien/Volkswirtschaften, bzw. von metabolischen Systemen definiert werden, welche Masse- und Energieflüsse transformieren¹¹⁷.

Grundsätzlich ist dazu anzumerken, dass sowohl die Modellierung des Systems selbst als auch die Aufnahme, Berechnung und Bewertung von Einfluss- und Wirkungsfaktoren in diversen Zwischenebenen geschehen kann. Schlussfolgernd ist eine Wirkungsbewertung immer und ausnahmslos in direkter Relation zum Untersuchungszweck zu sehen. Die Wichtigkeit dieser, eigentlich bereits in den Grundlagen der Modellierung erörterten, Konsequenz, erschließt sich bei der Durchsicht der meisten sog. nachhaltigen Produktionssimulationen. Dabei fällt auf, dass der Term Nachhaltigkeit oft unzureichend in zeitlichen und räumlichen Dimensionen abgegrenzt wird¹¹⁸, was dazu führt, dass die Aussagekraft der Bewertung von Prozessen und/oder der Produktion bzgl. der Nachhaltigkeit schwach bleibt.

In Anlehnung daran beginnen Lebenszyklusanalysen per Definition mit den Bestimmungen des Anwendungsbereiches und der Ziele („scope definition“)¹¹⁹. Für eine Simulationsstudie, welche die Nachhaltigkeit von einem Prozess oder einer Produktion eruieren will, müssten allerdings nicht nur das Ziel und die Systemgrenze der Studie definiert werden, sondern eben auch der Anwendungs- und Wirkungsbereich dessen, was als nachhaltig definiert wird. Die Komplexität dieser Bezüge, auf unterschiedlichen Wirkungsebenen, wird in den meisten Simulationsstudien bzgl. der Nachhaltigkeit von Produktionen unzureichend aufgelöst. Daher widmet sich Kapitel 3 genauer der Bestimmung, wie Nachhaltigkeit als Optimierungsziel von Simulationsstudien in der Produktion definiert und genutzt werden kann.

¹¹⁵ Vergleichbare Ansätze sind in Guan, et al. [Guan, et al., 2012, S. 12 ff.], Venkateswaran und Son [Venkateswaran & Son, 2005, S. 4397 ff.] sowie Rabelo, et al. [Rabelo, et al., 2005, S. 498 ff.] zu finden, bzgl. der Unterschiede im Kontext siehe zudem Borshchev und Filippov [Borshchev & Filippov, 2004, S. 45 ff.].

¹¹⁶ Die Formulierung *„selected parts of a supply chain“* kann sich eben auch auf Produktionen beziehen, wie in dem entsprechenden Beispiel von Jain, et al. [Jain, et al., 2013, S. 1996 ff.]. Interessante Übersichten, hinsichtlich der Verteilungshäufigkeiten von Verfahren und möglicher Kombinationen können in der Masterthesis von Ahmadi gefunden werden, wobei diese national (Schweden) und branchenspezifisch (Automobilindustrie) einzuordnen sind [Ahmadi, 2012, S. 30 ff.], siehe vergleichend auch [Schaub, et al., 2008, S. 148 ff.].

¹¹⁷ Die perspektivische Betrachtung von Ökonomien als metabolische Systeme wird sehr deutlich in Hilty und Ruddy [Hilty & Ruddy, 2010, S. 9 ff.] ausgeführt, die sich wiederum u.a. auf Baccini und Brunner [Baccini & Brunner, 1991, S. 22 ff.] sowie einen „Synthesis Report“ der OECD [OECD, 2008, S. 36 ff.] beziehen.

¹¹⁸ Oder wie Jain, et al. anmerken, nicht auf verschiedenen Ebenen betrachtet [Jain, et al., 2013, S. 2004 f.].

¹¹⁹ Siehe den entsprechenden ISO Standard [ISO 14040:2006, 2006, S. 1 ff.]. Es gibt demnach eine Parallele zwischen einer Simulationsstudie und einer Lebenszyklusanalyse im ersten Schritt bzgl. der Zieldefinition.

2.4.3.4 Zusammenfassung und Überleitung

In Kapitel 2 wurden die Grundzüge der Simulation, der simulationsbasierten Optimierung sowie der betriebs- und produktionsorientierten Simulation erläutert. Zudem wurde ein knapper Einblick in vergangene und aktuelle Forschungsentwicklungen gegeben. Dabei wurde mehrfach ausgeführt, dass eines der prinzipiellen Ziele der Anwendung der Simulation, zuzüglich zu eruiierenden Vorgehensweisen zur Verbesserung des Systemverständnisses, die Optimierung eines Systems hinsichtlich normativer Werte ist. Optimierungen beziehen sich demnach auf den Unterschied zwischen einem Ist- und einem Soll-Zustand, bzw. der Messung eines Zustandes durch Metriken sowie normativen Werten für die der Metrik zugrundeliegenden Maßeinheiten in der Zukunft.

Im Hinblick darauf wurde im letzten Abschnitt angesprochen, dass es eine Reihe von Ansätzen gibt, die als Ziel einer Optimierung, ein nachhaltigeres System, bzw. eine nachhaltigere Produktion haben. Tatsächlich wird in den meisten Fällen damit eine ökologischere Produktion gemeint.

Das Prinzip der Nachhaltigkeit geht allerdings weit über die Verbesserung der ökologischen Situation hinaus. Zwar werden oftmals die sog. drei Säulen der Nachhaltigkeit (Ökologie, Ökonomie, Soziales) erwähnt bzw. referenziert, vielfach werden allerdings die Ganzheitlichkeit, die Notwendigkeit zyklischer Bewertungen sowie die Ausmaße bzgl. der Wechselwirkungen unzureichend betrachtet.

Nachhaltigkeit wird in dem Sinne (auch gesellschaftlich) als Gütesiegel gebraucht, aber die tatsächliche Bedeutung dessen, was die Nachhaltigkeit ausmacht, wie sie gemessen wurde, wie lange sie andauert und weitere Fragen, werden in den meisten operationalen Ansätzen kaum abschließend geklärt. Die Ansätze, die entsprechende Aspekte aufgreifen, bleiben ihrerseits oft zu theoretisch ohne in konkreten operationalen Lösungen zu münden. Managementansätze, die zyklische Bewertungen einschließen und als Instrumente die Produktionssimulation aufgreifen sind, bzgl. Nachhaltigkeit und im Besonderen der sozialen Nachhaltigkeit, selten.

Mit diesem Hintergrund stellen sich folglich zwei Kernfragen, einerseits

- wie kann und sollte Nachhaltigkeit im Kontext der Produktionssimulation definiert werden und
- wie können operationale Strategien aussehen, welche die Produktionssimulation als Analyseinstrument bzgl. der Nachhaltigkeit von Produktionen aufgreifen.

Diese Fragen werden in der Folge erörtert. Dafür wird zuerst ein Überblick über das Prinzip der Nachhaltigkeit und existierende Strategien zur Nachhaltigkeitsbewertung gegeben. Folgend werden die Ausführungen im betrieblichen und produktionsorientierten Kontext konkretisiert. Schließlich werden die Konzepte vorgestellt, die als Basis für die realisierte Softwarelösung und den dahinterliegenden theoretischen Ansatz zur Nachhaltigkeitsbewertung von Produktionen dienen. Abschließend wird eine Überleitung geschaffen zur Detailbetrachtung der sozialen Seite der Nachhaltigkeit.

3 Nachhaltigkeit als normatives Leitbild betrieblicher Restrukturierung

3.1 Inhalt und Implikationen des Begriffes „Nachhaltigkeit“

3.1.1 Ursprung, Definitionen und prinzipielle Ansätze

3.1.1.1 Einführung

Der Begriff Nachhaltigkeit sowie die Begriffsfolge „nachhaltige Entwicklung“ werden, besonders im deutschsprachigen Raum, oft auf Hans Carl von Carlowitz (1645–1714) zurückgeführt, der, vor dem Hintergrund der Limitation des damals elementaren Rohstoffes Holz, eine Waldbewirtschaftung, bzw. das konsequente Aufforsten und eine „*nachhaltende*“ Nutzung des Rohstoffes Holz forderte [vgl. Schmidt, 2012, S. 50 f.]¹²⁰.

Der Ursprung der (deutschen) Begrifflichkeit ist demnach originär betriebswirtschaftlich, „*ressourcenökonomisch*“ [Grundwald & Kopfmüller, 2012, S. 19] einzuordnen¹²¹, obwohl seine Verwendung bis in die 1980er Jahre fast ausschließlich ökologisch konnotiert wird [vgl. Langer, 2011, S. 9]¹²². Die hauptsächlich ökologische Konnotation lässt sich auf die im Vorfeld weniger beachtete Frage der Grenzen von Wachstum im ökonomischen Sinne und auf die seltene Adaption des Prinzips in der sozialen Perspektive zurückführen¹²³.

Die Grenzen des Wachstums sind ihrerseits die Überleitung zur Betrachtung des Begriffes und seiner eigentlichen Inhalte in den letzten Jahrzehnten. Der gleichnamige Bericht („*The Limits to Growth*“) des Think Tanks Club of Rome sowie der viel beachtete Brundtland Bericht („*our common future*“) und schließlich die Umwelt- und Entwicklungskonferenz in Rio de Janeiro im Jahre 1992 lieferten die gesellschaftlichen Grundlagen dessen, was heute unter Nachhaltigkeit verstanden und was in der Folge im Detail erläutert werden wird.

Dafür wird in Abschnitt 3.1 eine begriffliche Abgrenzung, inklusive Definitionen und Konzepten, vorgestellt, während in Punkt 3.2 die Konzepte aufgegriffen und im produktionsorientierten Rahmen konkretisiert werden. Abschnitt 3.3 wird schließlich die Erfahrungen dieser Auseinandersetzungen zusammenfassen und den eigenen Ansatz final beschreiben.

¹²⁰ Langer [Langer, 2011, S. 9] verweist hier noch auf Birnbacher und Schicha [Birnbacher & Schicha, 1996, S. 149], die wiederum Kasthofer aus dem Jahr 1818 zitieren [Kasthofer, 1818, S. 71]. Dort heißt es sinngemäß, dass nicht mehr Holz gefällt werden sollte, als die Natur im Jahr erzeugt (aber auch nicht weniger). Vielfach wird hier auch auf Carlowitz (1713) verwiesen, bspw. in Rabe von Pappenheim [Rabe von Pappenheim, 2009, S. 13]. Pezzey und Toman [Pezzey & Toman, 2002 (a), S. 1] liefern weitere Beispiele aus den letzten Jahrhunderten, die hauptsächlich aus England stammen und im Jahr 1798 mit Malthus beginnen, der sich mit der Frage des Bevölkerungswachstums in England in Relation zur endlichen „Ressource“ Land beschäftigte, siehe [Malthus, 1976, S. 1 ff.]. Jevons [Jevons, 1977, S. 1 ff.] hinterfragt die Kohlenutzung um das Jahr 1865 und liefert somit ein weiteres Beispiel für den Grundtenor der Frage, wie Strategien auszusehen haben, die endliche Ressourcen mit einer kontinuierlich steigenden und nur schwer beeinflussbaren Nachfrage verbinden.

¹²¹ Siehe auch [Matten & Wagner, 1998, S. 54], [Nutzinger & Radke, 1995, S. 14 f.], [Langer, 2011, S. 9].

¹²² Dubielzig notiert, dass das Prinzip bis in das 20. Jahrhundert weitestgehend auf Forst- und Fischereiwirtschaft beschränkt bleibt, und beruft sich auf Diefenbacher und Michelsen, siehe [Diefenbacher, 2001, S. 59], [vgl. Michelsen, 2008, S. 27], [vgl. Dubielzig, 2008, S. 8].

¹²³ Im sozial-ökonomischen Kontext gibt es eine sehr beachtliche Rede von Max-Neef als Keynote beim Zermatt Summit 2012, in der er die fehlende Weiterentwicklung der ökonomischen Lehre im Hinblick auf bestehende Entwicklungsprobleme und ethische Grundüberzeugungen hinterfragt. Die sinngemäß gleiche Argumentation ist u.a. zu finden in Gasparatos, et al. [Gasparatos, et al., 2008, S. 289 f.].

3.1.1.2 Trennung der Begriffe „Nachhaltige Entwicklung“ und „Nachhaltigkeit“

Vor der eigentlichen Auseinandersetzung mit den Definitionen soll eine inhaltliche Trennung zwischen dem Begriff „Nachhaltigkeit“ und der Begriffsfolge „nachhaltige Entwicklung“ angemerkt werden. Die Begrifflichkeiten werden von diversen Autoren zumindest teilweise synonym verwendet, auch da das Prinzip der Nachhaltigkeit sinngemäß auf eine nachhaltige Entwicklung hinarbeitet [vgl. Langer, 2011, S. 11]¹²⁴. Das größte Differenzierungsmerkmal ist, dass die Begriffsfolge „nachhaltige Entwicklung“ in den meisten Veröffentlichungen und gerade im Bezug zu den Ansätzen der Vereinten Nationen, mit einem erhöhten Fokus auf entwicklungspolitische, regionale und überregionale Kontexte verwendet wird¹²⁵. Gleichzeitig ist eine Trennung der Begriffe oft nicht möglich, da die Grundlage für fast alle operativen Nachhaltigkeitsdefinitionen der letzten Jahrzehnte zumindest sinngemäß auf die Definition der Brundtland-Kommission und demnach einer nachhaltigen Entwicklung zurückgeht. Auf dieser Basis, werden die Begriffe in Abschnitt 3.1 komplementär verwendet, während im Anschluss eine Trennung und speziellere Betrachtung des Terms Nachhaltigkeit den Zweck hat, auf Konzepte und Verfahren zu fokussieren, die sich konkreter mit der Ausarbeitung operativer Lösungen (in Betrieben) beschäftigen¹²⁶.

Ein weiterer Aspekt, der selbst in der wissenschaftlichen Literatur selten ausreichend vertieft wird, ist die Nutzung des Begriffes Nachhaltigkeit, um verschiedene Anforderungs- und Bedürfniskaskaden, entsprechend (teils systemerhaltenden) sozialen Anforderungen von Systemen und Subsystemen, zu skizzieren. Zwar werden oft Rahmenwerke gebildet, deren Inhalte aggregierte Kennwerte darstellen, die sprachliche Verwendung des Terms „nachhaltig“ zur Beschreibung personenbezogener Bedürfnisse wird allerdings kaum verwendet. Eine Nutzung der Begriffsfolge „nachhaltige Entwicklung“ in diesem Kontext würde eine noch weitere Öffnung möglicher Bewertungskriterien implizieren, d.h., viele Kriterien, die für die produktionsorientierte Betrachtung kaum von Relevanz sind, müssten im größeren Kontext als relevant notiert werden und Inkorporation in die Bewertung bedingen. Dies wird in die generelle Betrachtung und Konzeption in Kapitel 5 eingehen, allerdings nicht Hauptbestandteil dieser Arbeit sein und daher speziell in den Punkten 3.2 und 3.3 abgegrenzt¹²⁷. Zudem ist zu notieren, dass die Spezifikationen „nachhaltig für wen, für was und wie lange“ sinngemäß manchen Definitionen von Nachhaltigkeit widersprechen¹²⁸.

¹²⁴ Wobei teilweise auch auf Unterschiede hingewiesen wird, siehe bspw. Dubielzig [Dubielzig, 2009, S. 11].

¹²⁵ Ausgehend von den Entwicklungskonferenzen der Vereinten Nationen (bspw. in den Jahren 1972 und 1992, siehe z.B. [UN, 1992, S. 1 ff.]), haben sich diverse Ansätze auf unterschiedlichen organisatorischen Ebenen entwickelt, in der EU bspw. der CSD Index, der auch in Deutschland getestet wurde.

¹²⁶ Dies ist ambivalent, da es das Ziel ist, einen ganzheitlichen Ansatz zu präsentieren. Ganzheitlichkeit allerdings bezieht sich auf das Nicht-Ausblenden von Sachverhalten und nicht zwangsläufig auf ihre Inkorporation, d.h., Verfahren können offen für ganzheitliche Betrachtungen sein, ohne alle Wirkungsfaktoren einzugliedern und sich auf einen Teilbereich der Thematiken beziehen, um anschließend in eine ganzheitliche Strategie eingebettet zu werden. Demnach geht es um das Offenhalten des Ansatzes für Veränderung und Erweiterung.

¹²⁷ Eine Auseinandersetzung, gerade im Kontext der geschichtlichen Entwicklung der Konzepte, ist allerdings förderlich, teils notwendig für das Verständnis der folgenden Ausführungen.

¹²⁸ McElroy, et al. setzen sich diesbezüglich in mehreren Veröffentlichungen mit der Bewertung von Ansätzen durch das Adjektiv „nachhaltig“ auseinander; dabei trennen sie unterschiedliche Betrachtungswinkel zur Nutzung des Terms [McElroy, et al., 2008, S. 227 f.]. Die Betrachtungsweise selbst wird spezifischer in u.a. Gasparatos, et al. diskutiert. Beachtlich ist hier die Masse an möglichen Problemen, die durch eine breite Nutzung des Begriffes skizziert und die trotz dessen folgenden Ausführungen bzgl. der Verteidigung von ganzheitlichen, umspannenden Ansätzen [Gasparatos, et al., 2009, S. 245 ff.].

3.1.1.3 Hintergründe und Definitionen von Nachhaltigkeit

Die soziopolitischen Hintergründe der Begriffsfolge „nachhaltige Entwicklung“ wurden bereits in diversen Standardwerken der Fachliteratur diskutiert und werden daher hier nur resümierend thematisiert (siehe allerdings die folgenden Quellen). Sie stützen sich in erster Linie auf folgende Meilensteine (teilweise übernommen von Pufé):

- *Carlowitz Waldbewirtschaftungsprinzip* (siehe Schmidt [Schmidt, 2012, S. 50 f.]),
- den Bericht des Think-Tanks Club of Rome die „*Grenzen des Wachstums*“ (siehe Meadows, et al. [Meadows, et al., 1972, S. 9 ff.], [Meadows, et al., 2012, 51 ff.]¹²⁹),
- den *Brundtland-Bericht* („Unsere gemeinsame Zukunft“) (siehe bzgl. der Ziele die die Weltkommission für Umwelt und Entwicklung [WCED, 1987, S. 43 ff.]),
- die Berichte des *Entwicklungs-Gipfel in Rio de Janeiro im Jahre 1992*, (siehe die Vereinten Nationen [UN, 1992, S. 1 ff.]),
- die folgende sog. *Agenda 21*, (siehe die Vereinten Nationen [UN, 1992, S. 1 ff.]),
- die *Millenniumsziele der UN*, siehe bspw. Loewe [Loewe, 2012, S. 1 ff.],
- die *Klimakonferenz in Durban* [vgl. Pufé, 2012, S. 28]¹³⁰.

In Analogie kann notiert werden, dass ausgehend von der beschriebenen Bewirtschaftung eines Waldes, die Grundlage vieler Nachhaltigkeitsdefinitionen die Bewahrung einer Ressource für zukünftige Generationen und ihre gerechte Verteilung in der bestehenden ist¹³¹. Hilty und Rudy qualifizieren hier die Definition des Brundtland-Reports als „*Original-Definition*“ des Konzeptes einer nachhaltigen Entwicklung, dort heißt es bzgl. dieser Entwicklung: „*that it meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs*“ [vgl. Hilty & Ruddy, 2010, S. 7], [vgl. WCED, 1987, S. 43]¹³². Autor Langer sieht dementsprechend als Folge des Brundtland Reports eine Zäsur bzgl. der inhaltlichen Nutzung von Nachhaltigkeit insofern, als dass das Konzept der nachhaltigen Entwicklung von einer zuvor eher ökologiezentrierten Bewirtschaftungsgrundlage zu einem anthropogenen Entwicklungskonzept ausgebaut wurde [vgl. Langer, 2011, S. 9], [vgl. Hauff, 1987, S. 46]. Dies schließt explizit die Wahrnehmung sozialer Kriterien mit ein, die laut Brundtland-Bericht prinzipiell gleichberechtigt in Bewertungen eingehen sollten.

¹²⁹ Im Jahr 2006/2012 (1te/4te Aufl. D. Version) veröffentlichten Meadows, et al. zudem einen „*aktualisierten Lagebericht*“ als 3. Band (nach 1992) in der Reihe ihres Bestsellers, in dem sie ihre Bestandsaufnahme ausführen und die letzten 30 Jahre mit in die Grenzbeschreibung mit einbeziehen [Meadows, et al., 2012, 51 ff.].

¹³⁰ Bzgl. der Definitionsfindung und besonders im Kontext systemtheoretischer Betrachtungen sind andere Quellen teilweise relevanter, die aufgeführten repräsentieren jedoch die gesellschaftliche Entwicklung des Konzeptes und werden daher kurz erläutert. Für tieferegehende Informationen siehe die mitgelieferten Verweise, welche teils auf die originalen Berichte verweisen, teils umfangreiche Analysen von Autoren darstellen.

¹³¹ Der Term Ressource kann hier ebenso durch „Gut“, „Kapital“, „System“ oder „*Charakteristika eines Systems*“ [vgl. Klauer, 1999, S. 86 ff.] und diversen weiteren Termini ersetzt werden; „Ressource“ wurde gewählt, um die menschliche (und betriebswirtschaftliche) Nutzung hervorzuheben. In den folgenden Abschnitten wird sich mehr und mehr ein Fokus auf die Begrifflichkeit „Kapital“ ergeben, da viele Ansätze auf der sog. Kapitaltheorie aufbauen. Zudem ist anzumerken, dass die rein materielle Wahrnehmung der genannten Ressourcen, sei es im ökologischen oder ökonomischen Kontext, durch die Integration sozialer Aspekte in die Definition nachhaltiger Entwicklungen, aufgelöst wurde. Demnach können auch immaterielle, abstrakte Konzepte als Ressourcen (oder eben Kapital) qualifiziert werden, die ihrerseits schützenswert sind und dementsprechend für folgende Generationen bewahrt werden müssen. Im Kontext des Sozialen folgen dem Versuch der Quantifizierung zusätzliche Problemstellungen, die in Kapitel 4 detaillierter erörtert werden.

¹³² Zudem wird in der physikalischen Analyse von Hilty und Ruddy der Term „*Nachhaltigkeits-Dilemma*“ geprägt, der die „*physikalische Unmöglichkeit*“ beschreibt, durch existierende Technologie die hohen Ziele inter- und intragenerationeller Gerechtigkeit zu erreichen [vgl. Hilty & Ruddy, 2010, S. 8].

Als nächster Meilenstein der soziopolitischen Definitionsfindung kann die Deklaration der Vereinten Nationen in Rio im Jahr 1992 determiniert werden. In ihr heißt es: „*Die Menschen stehen im Mittelpunkt der Bemühungen um eine nachhaltige Entwicklung. Sie haben das Recht auf ein gesundes und produktives Leben im Einklang mit der Natur.*“ [UN, 1992, S. 1]. Dabei wird der soziale Bezug deutlicher herausgestellt. Der beschriebene Einklang ist zudem die zu definierende Schlüsselkomponente bzgl. der Bewertung nachhaltiger Strategien. Lynam und Herdt merken diesbezüglich an, dass sich Nachhaltigkeit auf die Output-Kapazität im Vergleich zu historischen Werten bezieht. Sie schreiben bzgl. der Nachhaltigkeit von Systemen genauer, dass diese als Charakteristika hat: „*(...) the capacity of a system to maintain output at a level approximately equal to or greater than its historic average, with the approximation determined by the historical level of variability*“ [Lynam & Herdt, 1989, S. 381 ff.]¹³³. Langer spricht in diesem Kontext vom „*Substanzerhalt der Kapitalformen als zentrales Paradigmenkennzeichen*“ [vgl. Langer, 2011, S. 11]¹³⁴.

Aus der grundlegenden normativen Idee, Substanz von Kapitalformen erhalten zu wollen, entstehen zwangsläufig Fragen bzgl. der Bestimmung (und Bestimmbarkeit) dieser Formen, ihrer möglichen Konnotationen und Gewichtungen sowie Messungen/Messbarkeit und darüber hinaus im Kontext wachstumskritischer Auslegungen auch Fragen nach Paradigmenwechsel sowie Unterscheidungsformen von Strategien. Bzgl. dieser Fragen könnten operationale Ansätze auf verschiedenen Ebenen in ihrer Qualität bewertet werden, wobei zumeist die Unterscheidungsformen der zugrundeliegenden Kapitalstöcke bereits die Qualität maßgeblich bestimmen¹³⁵. Eine Einführung dazu schließt sich in Punkt 3.1.1.4 an und wird in der Vertiefung von Kapitalansätzen in den folgenden Abschnitten ausgeführt.

¹³³ Diese Beschreibung ist, wie in der Folge noch ausgeführt werden wird, nicht abschließend genau. Der historische Wert ist nicht zwangsläufig (kausal) die ausschlaggebende Instanz für den Wert dessen, was nachhaltig für zukünftige Systeme ist. Zudem werden, ähnlich wie es Langer in der Einleitung versäumt Schrumpfungprozesse kaum mit in die Betrachtung aufgenommen, bzw. als nachhaltig kategorisiert (obwohl Döring und Ott zitiert werden, die diese Punkte explizit ausführen), siehe [Langer, 2011, S. 11 ff.] bzw. [Döring & Ott, 2001, S. 320 ff.]. Gerade im Kontext von Suffizienzstrategien (wie bspw. in Herrmann, et al. [Herrmann, et al., 2008, S. 83 ff.]), bzw. in wachstumskritischen Auslegungen (siehe bspw. Pinzler „Immer mehr ist nicht genug“ [Pinzler, 2011, S. 11 ff.], Reller und Holdinghausen „Wir konsumieren uns zu Tode“ [Reller & Holdinghausen, 2011, S. 7 ff.]) oder Fuchs „Wachsen ohne Wachstum“ [Fuchs, 2011, S. 25 ff.], versäumen die Betrachtungen teilweise, die positiven Effekte der Zerstörung oder Reduktion definierter Kapitalstöcke zu diskutieren. Dies kann sich wiederum auf Basis der begrifflichen Herkunft erklären, die sich in erster Linie auf den Erhalt von etwas für zukünftige Generationen bezieht und die Zerstörung von etwas Negativem, bzw. Reduktion schädlicher Wirkungen nicht zwangsläufig mit dem gleichen Betrachtungswinkel thematisiert, sondern die Reduktionen als Ergebnisse von Ansätzen zum Erhalt des Kapitals definieren (obwohl die Reduktion von ökologisch schädlichen Wirkungen erwähnt wird, jedoch werden diese Wirkungen nicht auf Basis von sich positiv und negativ auswirkenden Kapitalstöcken diskutiert). Dieser Punkt lässt sich gut an dem Versuch der Zusammenfassung von Nachhaltigkeitsstrategien durch Klauer verdeutlichen; er schreibt: „*Die Gemeinsamkeit aller Nachhaltigkeitsdefinitionen ist der Erhalt eines Systems bzw. bestimmter Charakteristika eines Systems, sei es die Produktionskapazität des sozialen Systems oder des lebenserhaltenden ökologischen Systems. Es soll also immer etwas bewahrt werden zum Wohl der zukünftigen Generationen.*“ [vgl. Klauer, 1999, S. 86 ff.].

¹³⁴ Wobei Langer eher auf ökonomische Konzepte eingeht, was im Kontext seiner Arbeit einzuordnen ist.

¹³⁵ In Pufés Kurzzusammenfassung zum Thema Nachhaltigkeitsmanagement werden ferner weitere Nachhaltigkeitsprinzipien aufgeführt (auch Seite 62) [vgl. Pufé, 2012, S. 28 f.]; diese können ebenso als Grundlage zur Bewertung von Strategien und Ansätzen genutzt werden, so bspw. im Kontext der Ganzheitlichkeit von Ansätzen oder der Möglichkeit von partizipativen Strategien. Die sich anknüpfenden Fragen wären bspw., ob Ansätze auf darüber liegende Systeme in der Betrachtungsperspektive eingehen, oder ob die involvierten Akteure mit in Strategieentscheidungen einbezogen werden.

Ein bereits in der Einführung erwähnter Faktor bei der Bestimmung von Nachhaltigkeit ist zudem die Idee des Wandels. Dieser wird bei der Kapitalbetrachtung oft unterschätzt. Hier kommt es zur Frage der Langfristigkeit von Ansätzen. Im Kontext einer zeitlich kurz begrenzten Bewertung sind die den Kapitalstöcken zugrundeliegenden Indikatoren einfacher zu definieren, bzw. in ihrer Wirkung zu bewerten, als wenn langfristige Planungsfragestellungen bearbeitet werden¹³⁶. Dies kann sowohl im entwicklungspolitischen Kontext (bspw. Neuaufgaben der Millenniumsziele), als auch im betrieblichen operationalen Maßstab (bspw. die Bewertung der Substitution von Materialien) von entscheidender Relevanz sein.

Pretty merkt in diesem Kontext einen entscheidenden Punkt an, er schreibt: “(...) *any attempt precisely to define sustainability is flawed. It represents neither a fixed set of practices or technologies, nor a model to describe or impose on the world. The question of defining what we are trying to achieve is part of the problem, as each individual has different objectives* (...)“ [Pretty, 1994, S. 39], siehe auch Pretty [Pretty 1995, S. 1247 ff.]¹³⁷. In dem Sinne kommen zur zeitlichen Dimension zudem regionale und kulturelle Dimensionen¹³⁸. Gerade in Bezug auf die soziale Ebene und bzgl. individueller Bedürfnisse impliziert der Wandel einen iterativen Vorgang zur Überprüfung der Berechnungsgrundlagen. Dieser Managementaspekt wird in vielen Ansätzen kaum adressiert, eine Ausführung folgt in Punkt 3.3.

Obige Ausführungen sollten einen Einblick dafür geben, dass die Betrachtung von Nachhaltigkeit als aggregierter Wert von Kapitalstöcken nur unter Beachtung zusätzlicher Prinzipien dem Ideal eines umfassenden Ansatzes folgt. Autorin Pufé resümiert diese unter:

- den Prinzipien inter- und intragenerationeller Gerechtigkeit,
- den Prinzipien der Ganzheitlichkeit und Integration,
- dem Prinzip der präventiven Langfristorientierung,
- dem Prinzip der „Glokalität“¹³⁹ (s. auch Beispiele in [Edwards, 2010, S. 25 ff.]),
- dem Prinzip der Partizipation,
- sowie dem Charakter des normativen Leitbildes [vgl. Pufé, 2012, S. 28 f.].

Die Messbarkeit impliziert ihrerseits die Notwendigkeit von Metriken zur Bestimmung der Zielerreichung und Qualität von Maßnahmen, was in den Punkten 3.2 und 3.3 vertieft wird.

¹³⁶ Dies ergibt sich daraus, dass sich nicht nur technologische Aspekte verändern, sondern auch sozial und ökologisch, grundlegende Faktoren der Bewertungsgrundlagen verändern.

¹³⁷ Diese prinzipielle Kritik ist wiederum im Kontext zu sehen, in diesem Fall ging es in erster Linie um „nachhaltige Agrikultur“, wobei Pretty eine kritische Auseinandersetzung mit dem eher undefinierten Term Nachhaltigkeit und Bewertungen effektiver, operationaler Strategien durchführt [vgl. Pretty 1995, S. 1247 ff.].

¹³⁸ Diese werden u.a. auch von Martens thematisiert [vgl. Martens, 2006, S. 37 ff.]. Im Kontext der Multidimensionalität ist zudem Gasparatos, et al. zu erwähnen, hier gehen die Autoren nicht nur auf die methodischen Begrenzungen von existierenden Ansätzen und dem Konzept generell ein, sondern diskutieren darüber hinaus Kernfragen der Messbarkeit und Machbarkeit [vgl. Gasparatos, et al. 2008, S. 286 ff.]. Auch Bell und Morse thematisieren die grundsätzliche Messbarkeit von Nachhaltigkeit im gleichen Jahr und gehen zudem sehr genau auf eine Vielzahl von Indikatorsystemen zur Bewertung dessen was Nachhaltigkeit impliziert ein [Bell & Morse, 2008, S. 45 ff.]. Darüber hinaus kann das Streben nach operationalen Lösungen von Nachhaltigkeitswissenschaften im Bezug zur Systemtheorie relativiert werden, so notiert Kajikawa diesbezüglich: „(...) *a problem unique to sustainability science is the process of shifting from the stage of phenomena identification and analysis to that of problem solving. But the commitment of sustainability science to a problem driven agenda setting does not mean that we should focus only on applied research. To attain a goal we must also seek a fundamental understanding of the system as well as solutions.*“ [Kajikawa, 2008, S. 233].

¹³⁹ Glokalität impliziert die Integration der Begriffe „global“ und „Lokalität“, wobei die inhaltliche Verknüpfung der Wirkungsbetrachtung beabsichtigt ist [vgl. Pufé, 2012, S. 29]. Edwards führt die Herkunft auf das japanische Wort „*dochakuka*“ zurück, was er mit „*global localization*“ übersetzt [Edwards, 2010, S. 25 f.].

3.1.1.4 Kapitalansätze als Bestimmungsgrundlage der zu erhaltenden „Werte“

Die u.a. in den Berichten der Vereinten Nationen postulierte Triade aus Ökonomie, Ökologie und Sozialem findet sich in unterschiedlichen Ausprägungen in der Fachliteratur wieder. Oft werden die Kapitalstöcke der Makroebene exakt übernommen und nur Kategorien oder messbare Indikatoren auf der Meso- oder Mikroebene entsprechend den Bedürfnissen und Zielstellungen angepasst. Selektiv werden jedoch auch Veränderungen auf der Makroebene vorgenommen. Dabei kommt es anteilmäßig zu Konflikten zwischen der Ganzheitlichkeit von Ansätzen und der Passgenauigkeit von resultierenden, operationalen Lösungen. Um ein Beispiel darzustellen, folgt Langer u.a. Dylick [vgl. Dylick, 2002, S. 9], Döring und Ott [vgl. Döring & Ott 2001, S. 320] sowie Pearce und Atkinson [Pearce und Atkinson 1998, S. 252] und stellt auf Basis ihrer Überlegungen folgende Gleichung auf:

$$K = K_M + K_W + K_N + K_H + K_S + \dots$$

Formel 9: Aggregierter Nachhaltigkeits-Kapitalstock [Langer, 2011, S. 12]

Dabei repräsentieren die Variablen (K_M) produzierte Güter/Sachkapital, (K_W) Wissenskapital (im technologischen Sinne), (K_N) Naturkapital, (K_H) Humankapital und (K_S) Sozialkapital [vgl. Langer, 2011, S. 12]¹⁴⁰. Diese Kapitalstockbildung erinnert gleichwohl stark an die ökonomische Wachstumstheorie, die von diversen wissenschaftlichen Autoren zunehmend kritisch gesehen wird¹⁴¹. Durch die Hinzunahme der Relation zur Bevölkerung kann ferner der Erhalt von Nutzen pro Kopf über die Zeit formuliert werden [vgl. Pearce & Atkinson, 1998, S. 251]. Eine Ausführung von Nutzenfunktionen, besonders im volkswirtschaftlichen, wohlfahrtsökonomischen Sinne, schließt sich in Kapitel 3.1.2.2 an¹⁴².

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass entsprechend des Untersuchungszweckes, verschiedene Adaptionen der einstigen Triade aus Ökonomie, Ökologie und Sozialem bestehen, und dass gleichzeitig die „Urform“ noch immer die meist verwendete Variante der Bildung von Kapitalstöcken ist. Die Kapitalstöcke ihrerseits werden auf der Meso- und Mikroebene solange unterteilt und gewichtet (mit vergleichbaren Ausprägungen wie die vorgestellte Nutzwertanalyse), bis sich schließlich messbare Indikatoren oder Parameter zur Modellbildung ergeben. Auf Basis dieser Indikatoren erfolgt, nach Messung oder Parametrisierung, die Aggregation der Werte, mit dem Ziel, Aussagen zur Nachhaltigkeit der Modelle bzw. der zugrundeliegenden Entitäten treffen zu können. Dabei kann es sogar zur Aggregation der drei Hauptkategorien zu einem einzelnen, finalen Wert für Nachhaltigkeit kommen.

¹⁴⁰ Die einzelnen Kapitalstöcke werden folgend weiter unterteilt, so kann bspw. Naturkapital in Wasser, Luft, Boden, Rohstoffe und biologische Vielfalt unterteilt werden [vgl. BD, 2012, S. 8] und diese wiederum in diverse Unterkategorien, die schließlich in messbaren Indikatoren münden.

¹⁴¹ Ähnlich auch in Teixeira [Teixeira, 2003, S. 4 f.], bzgl. der kritischen Stimmen, s. Hauff [Hauff, 2015, S. 311], Kleine [Kleine, 2009, S. 10 f.] und Abschnitt 3.1.2.3. Langer weist zudem darauf hin, dass aufgrund der gesellschaftlichen Veränderungsprozesse nicht von Vollständigkeit auszugehen ist [vgl. Langer, 2011, S. 12].

¹⁴² Um darüber hinaus anders differenzierte Ausprägungen für ähnliche Kategoriebildungen auf der Makroebene zu erwähnen, führen McElroy, et al. bspw. den Begriff Anthrokapital zur Beschreibung der untergeordneten „*natural (or ecological) capital, human capital, social capital, and constructed (or built) capital*“ ein [McElroy, et al., 2007, S. 7]. James führt mit seinen Kollegen die Unterscheidung zwischen Ökologie, Ökonomie, Kultur und Politik zur Bestimmung urbaner Nachhaltigkeitsstrategien ein und betrachtet hier speziell die soziale Seite der Nachhaltigkeit genauer [vgl. James, 2015, S. 41 ff.].

Die Differenzierungsmerkmale der Kapitalstöcke, zumindest auf der Makroebene, werden im Kontext einer wissensbasierten Theorie der Unternehmung u.a. in Langer [Langer, 2011, S. 13 ff.] diskutiert und werden daher erst in der Vertiefung im betrieblichen Teil wieder aufgegriffen (Kapitel 3.2). Zu erwähnen ist allerdings, dass die Definition von sozialem Kapital die Wissenschaft noch immer, trotz diverser Anstrengungen¹⁴³, vor eine Reihe ungelöster Probleme stellt, dazu mehr in Kapitel 4.

Zusammenfassend bestehen unterschiedliche Ansätze zur Bestimmung und Aggregation eines schwer messbaren, teils auch unmessbar genannten¹⁴⁴, ideellen Konstrukts, der Nachhaltigkeit¹⁴⁵. Kapitalansätze haben sich dabei zur „Messung“ bzw. Modellierung relativ etabliert, bleiben allerdings im Kontext der genutzten Indikatoren weiterhin strittig. Im Kontext des Zusammenspiels zwischen ökologischer und ökonomischer Optimierung werden darüber hinaus drei Kernstrategien weitestgehend anerkannt, die oft direkt mit Nachhaltigkeit in Verbindung gebracht werden und daher in der Folge kurz angesprochen werden.

3.1.1.5 Grundsätzliche Strategien zur Förderung von Nachhaltigkeit

Um strategische Vorgehensweisen im praktischen Teil konkret zuordnen zu können, werden an dieser Stelle für die Verbindung ökologischer und ökonomischer Zielstellungen drei Kernstrategien unterschieden, die sich auf Effizienz, Suffizienz und Konsistenz beziehen.

Effizienzstrategien entsprechen der Verbesserung der Outputleistung bei konstant bleibendem Input, d.h., dass für konstante Mengen an Rohstoffen mehr Güter erzeugt werden.

Suffizienzstrategien beziehen sich auf eine maßvolle Begrenzung, d.h., gesellschaftliche und konsequenterweise wirtschaftliche Veränderungen anzustreben, weg von der sog. „Wegwerfgesellschaft“, hin zu ökologisch-verträglichen Konsumgrenzen.

Konsistenzstrategien werden teilweise auch Substitutionsstrategien genannt, da sie als Ziel haben ökologisch/sozial schädliche Verfahren gegen Verfahren auszutauschen, die im Einklang mit der Natur wirken können, d.h., keine substantiellen Schadstoffe und Abfälle produzieren. Eine Ausführung von Ansätzen zu diesen Strategien schließt sich in Abschnitt 3.2.1 an. In der Folge wird auf klassische Modelle der Nachhaltigkeit eingegangen, die ihrerseits zumindest auf besagte Strategien zurückgreifen¹⁴⁶.

¹⁴³ So versuchten sich bspw. Grootaert, et al., im Rahmen einer Initiative der Weltbank, bereits 1998 an der Definition von sozialem Kapital. Dabei folgten sie grundsätzlich dem Ziel der Verbesserung der Messbarkeit nachhaltiger Entwicklungen [Grootaert, et al. 1998, S. 7]. Eine Analyse des Standes der Wissenschaft inklusive der Definition von sozialem Kapital (mit Fokus auf Produktionssysteme) schließt sich in Kap. 4 an. Für weitere Informationen bzgl. der Definition sei auf Putnam [Putnam, 1993, S. 35 ff.] und bzgl. Verfahren zur Messung auf Benoît und Vickery-Niedermann [Benoît & Vickery-Niedermann, 2011, S. 7 ff.] hingewiesen.

¹⁴⁴ Die Bezeichnung „*imeasurable*“ wird u.a. genutzt in [Böhringer & Jochem, 2007, S. 1] sowie [Bell & Morse, 2008, S. 1], wobei beide Veröffentlichung anschließend auf die Messbarkeit eingehen.

¹⁴⁵ Auf überregionaler Ebene wurden in der Folge der Agenda 21 verschiedene Berechnungsmatrixen genutzt. Um zwei Beispiele zu nennen, gibt es bspw. den Human Development (HDI)-Index (siehe <http://our-world.unu.edu/en/the-2010-human-sustainable-development-index>) oder bzgl. ökologischer Nachhaltigkeit den Environmental Performance (EPI)-Index (<http://epi.yale.edu/epi>) der Universität Yale (vormals Environmental Sustainability Index). Auf lokaler Ebene existiert gleichzeitig eine Vielzahl von Ausprägungen. Aggregierte Indizes werden unter Abschnitt 3.1.2.4 bzgl. Nachhaltigkeitsrahmenwerken noch ausgeführt.

¹⁴⁶ Für eine weiterführende Analyse der Zusammenhänge aus Strategien, betrieblichen Maßnahmen und Messungen, Anspruchsgruppenreaktionen, sowie Zielüberprüfungen, siehe auch [Epstein & Roy, 2001, S. 585 ff.]

3.1.2 Von klassischen Modellen zu neuen Ansätzen

3.1.2.1 Ausgangsbasis Drei-Säulen-Modell

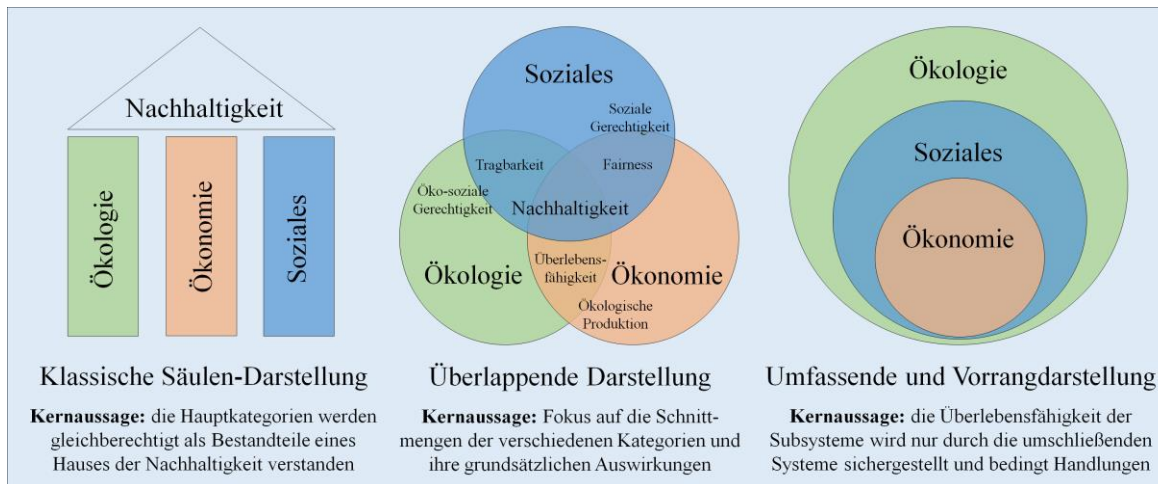


Abbildung 20: Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit

Das sog. Drei-Säulen-Modell entspricht einer Abbildung der primären Unterscheidungsformen der Ökonomie/Wirtschaft, der Ökologie/Umwelt und des Sozialen. Die Urheberschaft ist nicht gänzlich geklärt, auch wenn eine Analyse des Begriffes Nachhaltigkeit des wissenschaftlichen Dienstes des Bundestages darauf hinweist, dass das Modell von der eingerichteten Enquete-Kommission im Jahr 1995 entwickelt wurde [vgl. WD, 2004, S. 2]. Da ähnliche Darstellungsformen bereits in der Folge des Brundtland-Berichts erscheinen, ist diese Einschätzung umstritten und bezieht sich wahrscheinlich eher auf einen der ersten „Operationalisierungsansätze“ (siehe auch Nachhaltigkeitsdreieck, Abschnitt 3.1.2.2). Die Darstellung kann dabei verschiedene Formen annehmen, wie in Abbildung 20 beispielhaft visualisiert ist. Die unterschiedlichen Illustrationen und Beschreibungen beziehen sich i.d.R. auf den Austausch/die Austauschart und das generelle Verständnis des Zusammenspiels der einzelnen Kategorien. Grundsätzlich kommt es entweder zu systemerhaltenden und somit umschließendem Verständnis der Formen, teilweise wird der Fokus auf die Austauschbeziehungen und die begriffliche Bezeichnung der überlappenden Segmente der Formen gelegt. Folgernd ist das Modell in erster Linie ein Beschreibungs-/ Erklärungsmodell im klassischen Sinne und dient vor allem dazu, ein grundlegendes Verständnis von Nachhaltigkeit und seine Dreiteilung auf die Bereiche Ökonomie, Ökologie und Soziales zu erzeugen.

Im Kontext der frühen zeitlichen Entstehung des Modells ist teilweise nachzuvollziehen, dass die Aspekte inter- und intragenerationeller Gerechtigkeit weder thematisiert werden, noch die zeitliche Komponente visualisiert wird. Zudem bemerkte der Sachverständigenrat für Umweltfragen im Jahr 2008 als weiteren Kritikpunkt: „Vielmehr suggeriert das Drei-Säulen-Konzept von Nachhaltigkeit die harmonistische Vereinbarkeit aller Ziele und ignoriert damit das Konfliktpotenzial, dessen Kenntnis Voraussetzung effektiver Maßnahmen wäre [s. bereits SRU, 2002, Tz. 30 ff.]. Die Vereinbarkeit ökonomischer, sozialer und ökologischer Ziele wird unterstellt, ohne mögliche Unvereinbarkeiten zu thematisieren und notwendige Integrationsschritte zu benennen.“ [SRU, 2008, S. 62].

Zusammengefasst hat das Drei-Säulen-Modell geringe operationale Relevanz und dient in erster Linie der Verständnisbildung. Allerdings hat es sich auf der betrieblichen Ebene zur Verständnisbildung (im Gegensatz zu anderen Ansätzen) durchgesetzt [vgl. IDW Köln, 2004, S. 2]. Zudem konnten auf Basis der Darstellungsform Ansätze und Rahmenwerke entwickelt werden, die Sachverhalte spezifischer darstellen. Als Beispiel dafür kann in Abb. 21 das „Rahmenwerk für nachhaltige Produktion“ von Herrmann aus Thiede dienen. Dabei ist zu erkennen, dass die Ausgangsform der drei Kernbereiche der Nachhaltigkeit als „Dimensionen“ Einzug in die Darstellung findet und nun mit neuen Perspektiven angereichert wurde. Die Ebenenbetrachtung wird im Kontext betrieblicher Nachhaltigkeit in Punkt 3.2 vertieft werden, da sie ausschlaggebend für die Bildung von aggregierten Kennwerten ist.

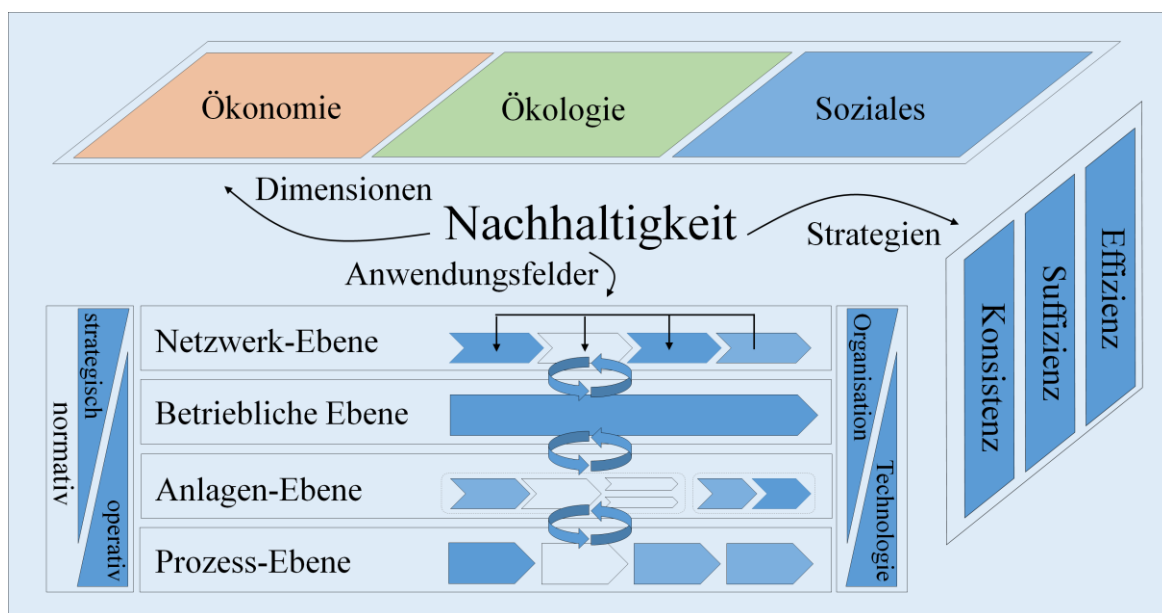


Abbildung 21: Nachhaltigkeitsrahmenwerk nach Herrmann (1997) [vgl. Thiede, 2012, S. 2]

In dem Sinne kann dem Drei-Säulen-Modell zwar die fehlende operationelle Relevanz zugewiesen werden, allerdings hat die Einfachheit und Klarheit der Dreiteilung zur Entwicklung vielfältiger weiterer Modelle auf der initialen Basis geführt¹⁴⁷, wie bspw. auch dem Versuch der Operationalisierung anhand des sog. Nachhaltigkeitsdreiecks welches in der Folge erläutert wird.

3.1.2.2 Nachhaltigkeitsdreieck und wohlfahrtsökonomische Nutzenfunktionen

Das Nachhaltigkeitsdreieck ist in seiner ursprünglichen Abbildung nichts anderes als die Adaption des Drei-Säulen-Modells in anderer Darstellungsform, allerdings wurden, im Laufe der Weiterentwicklung der Nachhaltigkeitstheorie, formale Beschreibungen anhand des Dreieckes adaptiert. Besonders die Wohlfahrtsökonomie, die sich als Teilbereich der Volkswirtschaftslehre in erster Linie mit der Allokation von Ressourcen befasst, hat diese Darstellungsform in unterschiedlichen Publikationen aufgegriffen und weiterentwickelt.

¹⁴⁷ Für weitere Beispiele und operationalisierte Adaptionen siehe u.a. Kleine [Kleine, 2009, S. 74 ff.], Singh, et al., die zudem Nachhaltigkeitsindikatoren analysieren [Singh, et al., 2009, S. 189 ff.] oder Pezzey und Toman, bzgl. der Herkunft „ökonomischer“ Nachhaltigkeitsberechnung [Pezzey & Toman, 2002 (a), S. 21 ff.].

In der Dissertation von Kleine mit dem Titel „Operationalisierung einer Nachhaltigkeitsstrategie“ dient das Nachhaltigkeitsdreieck mit seinen (teils ausdifferenzierten Zielen, siehe Kleine [Kleine, 2009, S. 19 ff.], [Kleine, 2005, S. 22 ff.]) als Ausgangsbasis für eine umschließende „volkswirtschaftliche“ Betrachtung der Nachhaltigkeit¹⁴⁸. Dazu stützt sich Kleine vor allem auf Hediger (u.a. [Hediger, 2000, S. 484 f.]) bzgl. der Bildung der ökonomischen Dimension, sowohl mit dem Einkommen Y als auch mit den volkswirtschaftlichen Zielen M (wie Vollbeschäftigung oder Preisniveaustabilität) und ergänzt: „*vermutlich besteht die ökonomische Dimension aus formalen Gründen*“ (...) „*aus zwei Kategorien*“, da nur Y auf Individuen bezogen ist [vgl. Kleine, 2009, S. 63]. In der Folge führt er aus, dass sich der Nutzen in Abhängigkeit von den gewählten Zielgrößen (ökonomisches Kapital (eher Einkommen) Y und volkswirtschaftliche Stabilität M, soziales (auch kulturelles) Kapital S und ökologischer Zustand (Qualität des Zustandes Q)) ergibt, siehe Formel 10:

$$U_t = U_t (Y_t, M_t, S_t, Q_t)$$

Formel 10: Nutzenfunktion der drei Nachhaltigkeitsdimensionen [vgl. Kleine, 2009, S. 64]

Im Vergleich zu der aggregierten Kapitalstockbetrachtung in Langer (Formel 9), an die die obige Formel erinnern könnte, kommt es hier bereits in der Folge zur Formulierung einer Nutzenfunktion¹⁴⁹. Dabei ist die ursprüngliche Dreiteilung der Kategorien zwar noch vorhanden, aber bereits mit mehreren Indikatoren für die ökonomische Komponente bedacht¹⁵⁰. Der Trend der Detaillierung setzt sich zwangsweise, aufgrund der Komplexität, fort. Darüber hinaus bezieht sich Kleine stark auf die wohlfahrtsökonomischen Beschreibungen von Hediger¹⁵¹, was man auch als Versuch der verstärkten Integration sozialer Aspekte interpretieren kann. In dem Sinne schließen sich obiger Formel zwei Kriterien an:

- Kriterium 1: jeder einzelne Nutzen muss stets einen positiven Beitrag zum Gesamtnutzen leisten sowie
- Kriterium 2: jeder einzelne Nutzen weist eine abnehmende Grenzrate auf. Die formal wie folgt ausgedrückt werden können:

$$\partial U_t / \partial Y_t > 0; \partial U_t / \partial M_t > 0; \partial U_t / \partial S_t > 0; \partial U_t / \partial Q_t > 0$$

Kriterium 1: Positiver Gesamtnutzen einzelner Nutzen [vgl. Kleine, 2009, S. 64]

$$\partial^2 U_t / \partial Y_t^2 \leq 0; \partial^2 U_t / \partial M_t^2 \leq 0; \partial^2 U_t / \partial S_t^2 \leq 0; \partial^2 U_t / \partial Q_t^2 \leq 0$$

Kriterium 2: Abnehmende Grenzrate einzelner Nutzen [vgl. Kleine, 2009, S. 64]

¹⁴⁸ Durch die Inklusion der personenbezogenen Einkommen (Y) wird zumindest eine Brücke zu einer menschenbezogenen Analyse von Nachhaltigkeit hergestellt, die sich bei Verfeinerung ausbauen lässt.

¹⁴⁹ Bzgl. einer geschichtlichen Einordnung und weiterer wohlfahrtsökonomischer Theorien sollten zudem Pezzey und Toman, sowie von Hauff beachtet werden, die diverse Journalartikel vorstellen [vgl. Pezzey & Toman, 2002 (a), S. 20 ff.], [vgl. Pezzey & Toman, 2002 (b), S. 180 ff.] (beide inklusive Wohlfahrtsfunktionen), [Hauff, 2015, S. 311], auch Ekins greift diese Betrachtungsweise auf, s. [Ekins, 2000, S. 51 ff.].

¹⁵⁰ Diese Kombination dient auch der schon erwähnten Verbindung volkswirtschaftlicher und individueller Aspekte bei der Betrachtung und folglich einer anderen Bandbreite an Detaillierungsoptionen.

¹⁵¹ Komplementär zu diesen generellen Ausführungen kann man Böhringer und Jochem sehen, die die allgemeinsten makro-„ökonomischen“ Nachhaltigkeitsindizes vorstellen und entsprechend Gewichtung, Normalisierung und Aggregation analysieren, siehe Böhringer und Jochem [Böhringer & Jochem, 2006, S. 14].

Auf Basis dieser theoretischen Überlegungen und ihrer formalen Interpretation eröffnen sich differenziertere Möglichkeiten zur Berechnung und visuellen Darstellung der Nutzenfunktionen (formal siehe bspw. Pezzey und Toman [Pezzey & Toman, 2002 (a), S. 19 f.], Hediger [Hediger, 2000, S. 485 ff.] sowie Kleine [Kleine, 2009, S. 65 ff.] und folgend als Interpretation am Nachhaltigkeitsdreieck auch in Kleine [Kleine, 2009, S. 83 ff.]). Zwar wird in der angesprochenen Dissertation auch Spangenberg referenziert, der sich in seiner Prismen-Darstellung von der Dreiteilung zu einer Vierteilung, mit der Wahrnehmung einer institutionellen Komponente, bewegt hat¹⁵², allerdings bleibt Kleine hier der ursprünglichen Darstellungsform treu¹⁵³. Abbildung 22 visualisiert drei Ansätze zur Darstellung von Nachhaltigkeit am Nachhaltigkeitsdreieck, wobei die Darstellungsform ganz rechts in der Grafik den Ausgangspunkt der geometrischen (Gibbs'schen) Berechnungsgrundlage darstellt.

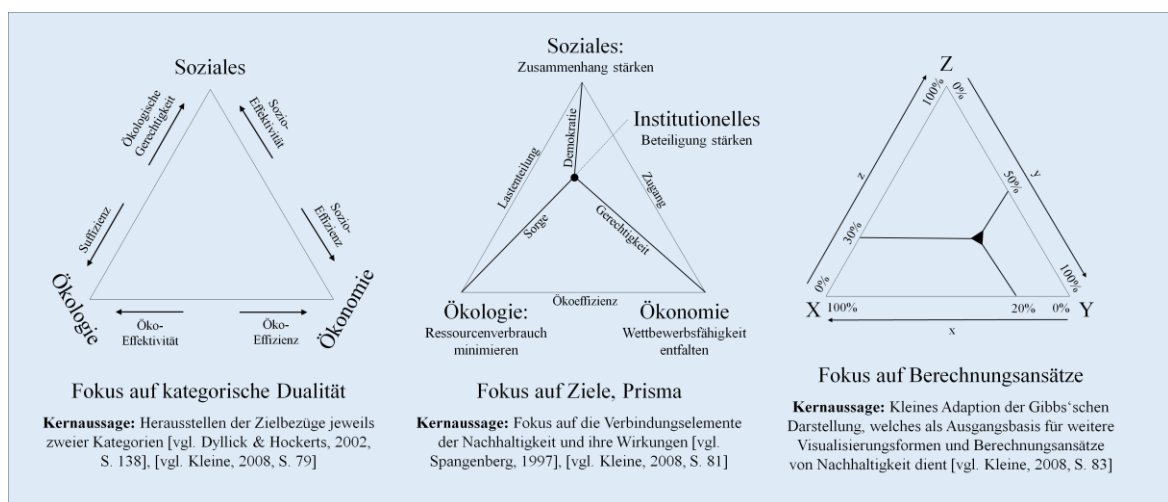


Abbildung 22: Visualisierung und „Berechnung“ von Nachhaltigkeit am Nachhaltigkeitsdreieck

Diese Darstellungsform wird in der Arbeit von Kleine durch weitere Darstellungsmöglichkeiten (die auch formal beschrieben werden) unterstützt. So nutzt er bspw. Pfeile zur Beschreibung von Trends, die Größe von Kreisen zur Beschreibung der Stärke von Wirkungen und weitere Formen bspw. zur Visualisierung von verstärkenden und Konfliktbeziehungen.

Anhand der initialen, formalen Beschreibung (Formel 10) lassen sich darüber hinaus verschiedene Stärkegrade von Nachhaltigkeit mathematisch ableiten. Diese Betrachtung unterschiedlicher Stärken von Nachhaltigkeit ist in der Literatur weit verbreitet¹⁵⁴. Dabei wird speziell auf partielle Integration nachhaltiger Bewertungsmechanismen fokussiert sowie bzgl. der Substitutionsmöglichkeiten der Kapitalstöcke in den verschiedenen Nachhaltigkeitsinterpretationen unterschieden, was in der Folge erläutert wird.

¹⁵² Spangenberg's Darstellung und Hinweis auf die Institutionen-Dimension (als eigentlich aktiv ausführendes Organ) sollte gleichzeitig beachtet werden und wird in späteren Kapiteln noch aufgegriffen, für zusätzliche Informationen siehe bspw. Valentin und Spangenberg [Valentin & Spangenberg, 2000, S. 383 ff.].

¹⁵³ Er erläutert dies in seiner im Jahr 2009 mit von Hauff erschienen Veröffentlichung („*Nachhaltigkeit in 3D - Plädoyer für drei Nachhaltigkeitsdimensionen*“) zumindest teilweise, s. [Hauff & Kleine, 2009, S. 29 f.].

¹⁵⁴ Beispielsweise hat Neumayer eine Reihe von Publikationen veröffentlicht, in der er auf Erkennungsmerkmale und Implikationen der Unterscheidung zwischen starker und schwacher Nachhaltigkeit eingeht, s. bspw. [Neumayer, 2010, S. 33 ff.]. Zudem ist bzgl. der Ressourcenallokation eine wissenschaftliche Debatte hinsichtlich der Implikationen von Nachhaltigkeitsgraden entstanden, die von den Grenzen des Wachstums über den Brundlandt Bericht bis heute fortsetzt, s. Pezzey für frühe Fragestellungen [Pezzey, 1992, S. 348 ff.].

3.1.2.3 Starke und schwache Nachhaltigkeit

Die Begriffsunterscheidung anhand der Stärke von Nachhaltigkeit bezieht sich in erster Linie auf die Substitutionsmöglichkeiten von Kapitalstöcken. Ähnlich wie in den verschiedenen Drei-Säulen-Diagrammen dargestellt (Abbildung 20), argumentieren diverse Autoren entweder, dass eine „totale“ Substitutionsmöglichkeit der verschiedenen Kapitalstöcke untereinander besteht, während andere argumentieren, dass zumindest elementare natürliche Ressourcen (d.h. die Umwelt) nicht einfach, bis gar nicht durch andere Kapitalstöcke/Ausprägungen/Ressourcen substituierbar sind¹⁵⁵. Schwache Nachhaltigkeit steht demnach für die Kompensationsfähigkeit von Kapitalstöcken untereinander, d.h. zugespitzt formuliert, dass Umwelt in Geld aufgewogen werden könnte, solange das Geld seinerseits eingesetzt würde, um die (Erhaltungs-)Funktionen des ökologischen Kapitals (der Umwelt) in anderer Form bereitzustellen¹⁵⁶. Eine Analyse der Nachhaltigkeitsgrade ist z.B. von Autor Steurer in seinen „Paradigmen der Nachhaltigkeit“ erschienen. Dabei sieht er schwache Nachhaltigkeit kritisch und schreibt: „*Schwache Nachhaltigkeit ist die neoklassische Antwort auf jegliche Wachstumskritik und existiert - wenngleich weniger ausgefeilt und mit anderen Schwerpunkten - schon seit Jahrzehnten als quantitatives Wachstumsparadigma.*“ [Steurer, 2001, S. 551]. Tab. 2 fasst die Unterscheidungsmerkmale der Interpretationen zusammen:

	Starke Nachhaltigkeit	Schwache Nachhaltigkeit
Kern Idee	Die Substitution von (zumindest) Naturkapital durch andere Kapitalsorten ist erheblich limitiert, bis ausgeschlossen, s. [Ekins, et al., 2003, S. 168 f.]	Natürliches Kapital, als auch andere Kapitalsorten sind generell substituierbar
Konsequenzen	Antropogene Einwirkungen können irreversible Effekte auslösen	Technologische Innovation und Wirtschaftswachstum als Kompensation für ökologische Zerstörung
Nachhaltigkeits-Anliegen	Bewahrung der unersetzlichen, gefährdeten ökologischen Kapitalstöcke (für zukünftige Generationen)	Die Gesamtheit/Summe der Kapitalstöcke sollte erhalten/ausgebaut werden
Kernkonzept	Wesentliche Eigenschaft von Naturkapital	Optimale Ausnutzung auch knapper Ressourcen
Definition von Schwellen und ökologischer Normen	Wissenschaft als Basis öffentlicher Entscheidungen (procedural rationality)	Technologisch/wissenschaftlicher Ansatz zur Eruiierung von Schwellen und Normen (instrumental rationality)

Tabelle 2: Starke/schwache Nachhaltigkeit [vgl. Pelenc, et al., 2015, S. 3], [vgl. Mancebo, 2013, S. 32 ff.]

Autor von Hauff führt zudem die „neoklassische“ Interpretation auf das „Symposium on the Economics of Exhaustible Resources“ zurück, in der Stiglitz argumentiert, dass die Endlichkeit von Ressourcen das Wachstum nicht begrenzen müsste, solange drei Faktoren die nötige Kompensationswirkung entfalten. Er schreibt: „*There are at least three economic*

¹⁵⁵ Eine Ausprägung, bzw. mögliche Folge dieser Feststellung wäre die Annahme, dass keine essentielle Veränderung bzgl. der Wirkung auf das Wohlbefinden der Menschen mit der Substitution einhergeht, wie Pelenc, et al. beschreiben [vgl. Pelenc, et al., 2015, S. 1], [vgl. Pelenc & Ballet, 2015, S. 36 ff.]. Neumayer macht diese Verbindung zwischen Nachhaltigkeitsindikatoren und Indikatoren bzgl. des Wohlbefindens im Jahr 2004 noch deutlicher, s. [Neumayer, 2004, S. 2 ff.]. Di Giulio differenziert darüber hinaus zwischen starker und sehr starker Nachhaltigkeit (auch „*ökozentrisch*“ genannt). Wobei bei ersterer die Substitution natürlichen Kapitals noch zum Teil möglich ist (aber nicht ausgeprägt) und bei letzterer natürliches Kapital nur innerhalb des eigenen Kapitalstockes austausch-/umwandelbar ist [Di Giulio, 2003, S. 343]. Eine Analyse auch zu den Subkategorien von Naturkapital und ihrer Substitutionsmöglichkeiten ist auch in Ekins, et al. zu finden. Die Autoren weisen zudem auf die kritischen Funktionen von Naturkapital hin, s. [Ekins, et al., 2003, S. 165 ff.]

¹⁵⁶ Neumayer als auch Hauff weisen die Entstehung des „schwachen Nachhaltigkeitsparadigmas“ Robert Solow [Solow, 1974, S. 29 ff.] und John Hartwick [Hartwick, 1977, S. 972 ff.] zu, siehe auch „*Hartwick's rule*“ [vgl. Neumayer, 2010, S. 34], [vgl. Hauff, 2015, S. 311].

forces offsetting the limitations imposed by natural resources: technical change, the substitution of man-made factors of production (capital) for natural resources, and returns to scale“ [Stiglitz, 1974, S. 123]¹⁵⁷. Hauff führt in der Folge aus, dass diese Wachstumswahrnehmung noch immer weit verbreitet ist (das Symposium war 1974) [vgl. Hauff, 2015, S. 311]. Steurer schließt seine Analyse damit die schwache Nachhaltigkeit im Endeffekt „*Wachstumsoptimismus*“ zu nennen [Steurer, 2001, S. 551]¹⁵⁸.

Um die formale Betrachtung von Hediger/Kleine mit diesem Hintergrund aufzugreifen, kann bzgl. schwacher Nachhaltigkeit festgehalten werden, dass der Gesamtnutzen, der sich aus den verschiedenen Dimensionen/Kapitalsorten ergibt, über die Zeit nicht abnehmen darf. *„Dementsprechend muss das totale Differenzial des Nutzens, das Substitutionen zwischen den einzelnen Komponenten erlaubt, über die Zeit positiv oder zumindest gleich null sein [Hediger, 2000, S. 485]“* [Kleine, 2009, S. 64] (siehe Kriterium 3).

$$U_t = \partial U_t / \partial Y_t * Y_t + \partial U_t / \partial M_t * M_t + \partial U_t / \partial S_t * S_t + \partial U_t / \partial Q_t * Q_t \geq 0$$

Kriterium 3: Bedingung schwacher Nachhaltigkeit [Hediger, 2000, S. 485], [Kleine, 2009, S. 64]

In puncto starker Nachhaltigkeit ist die Abnahme der Kapitalstöcke für jede Dimension einzeln unerwünscht. Folglich ergeben sich drei Restriktionen, anstelle eines Kriteriums:

$$\partial U_t / \partial Y_t * Y_t + \partial U_t / \partial M_t * M_t \geq 0 \quad \text{sowie } S_t \geq 0 \quad \text{sowie } Q_t \geq 0$$

Kriterium 4: Bedingungen starker Nachhaltigkeit [Hediger, 2000, S. 485], [Kleine, 2009, S. 65]¹⁵⁹

Diese Betrachtungen von Restriktionen sind von vielseitiger Relevanz (z.B. bei der Nutzwertanalyse) und können auch komplementär zu nicht-ökonomischen Performanzkriterien genutzt werden, s. [Chatterji & Levine, 2005, S. 5]. In obigen Kriterien wird allerdings die Vorrangfunktion der ökologischen Dimension negiert, da Kriterien entweder gemeinsam oder einzeln nicht schrumpfen dürfen [vgl. Kleine, 2009, S. 64 ff.]. Letztlich können vergleichbare formale Darstellungen der Makroebene von Nachhaltigkeit und wohlfahrtsökonomischen Theorien bei der Verdeutlichung von Zusammenhängen helfen. Im Kontext operativer Anwendungen sind sie jedoch selten von Bedeutung¹⁶⁰, weshalb folgend auf anwendungsorientiertere Lösungen, wie z.B. Nachhaltigkeitsrahmenwerke eingegangen wird.

¹⁵⁷ Es ist bzgl. obigen Zitats noch zu relativieren, dass in der Analyse von Stiglitz, et al. aus dem Jahr 2009 bzgl. ökonomischer und sozialer Performanzindikatoren ein anderer Unterton herauszulesen ist, bspw. schreiben sie: *„Policies should be aimed at increasing societal welfare, not GDP“* [Stiglitz, et al., 2009, S. 4].

¹⁵⁸ Ekins und Neumayer führen die Trennung und Substituierbarkeit zudem im Kontext des Klimawandels und der entsprechenden Debatte um die Nutzung von Ressourcen (speziell auch zum „einfacheren“ Erreichen intragenerationeller Gerechtigkeit, teilweise auf Kosten intergenerationeller Gerechtigkeit) weiter aus [Ekins, 2000, S. 72 ff.], [vgl. Neumayer, 2010, S. 34]. Entsprechend ist auch die Einschätzung von Hilty und Ruddy [Hilty & Ruddy, 2010, S. 8 ff.] einzuordnen, d.h., dass in dem Moment, in dem intragenerationelle und intergenerationelle Gerechtigkeit als Zielfunktionen verstanden werden, es zu Konfliktbeziehungen kommt, wobei die Paradigmenunterscheidung von starker und schwacher Nachhaltigkeit hohe Relevanz hat. Der Kompensationsaspekt der Technologie wird dabei auch ausführlich von Ekins diskutiert [vgl. Ekins, 2000, S. 154 ff.]

¹⁵⁹ *„Beim sozialen und ökologischen Kapital reicht es aus, die Veränderung des Kapitalstocks über die Zeit abzubilden, da $U_t / S_t > 0$ und $U_t / Q_t > 0$ gilt. Für die ökonomische Dimension ist jedoch eine nutzenbezogene Formulierung zur Vereinheitlichung“* (...) *„notwendig [Hediger, 2000, S. 485]“* [Kleine, 2009, S. 65].

¹⁶⁰ Vergleichbare Restriktionsbeschreibungen finden sich jedoch bspw. im Kontext von Spieltheorien wieder, so nutzen Ai und Shufeng ähnliche Notationen, um die Rolle von Staaten hinsichtlich „grüner Lieferketten“

3.1.2.4 Nachhaltigkeitsrahmenwerke und Ausdifferenzierung der Dimensionen

Nachhaltigkeitsrahmenwerke sind i.d.R. Aggregationsansätze von Kapitalstöcken auf verschiedenen Ebenen von unterschiedlichen Organisationen. Zusätzlich zu öffentlichen existiert auch eine große Anzahl von betrieblich genutzten proprietären Rahmenwerken. Dabei sind die Richtlinien der Global Reporting Initiative (GRI) [GRI, 2013, S. 11] in Verbindung mit dem Rahmenwerk der Weltbank [IFC, 2011, S. 2 ff.] sowie das Rahmenwerk der Vereinten Nationen [UN, 2012, S. 17 ff.] prominente Ausprägungen. Um ein Beispiel und die sich verstärkenden Differenzierungsmerkmale vorzustellen, zeigt Abb. 23 die sog. „Circles of Sustainability“, die im Kontext urbaner Nachhaltigkeitsbewertungen (als Ansatz der Vereinten Nationen) genutzt werden und in diesem Fall die Stadt Melbourne repräsentieren¹⁶¹:

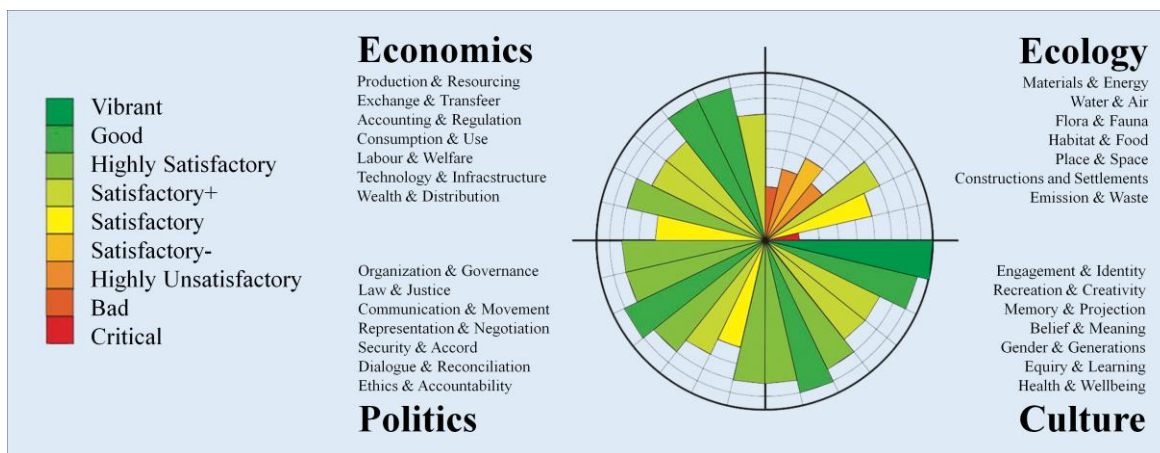


Abbildung 23: Visualisierung von Ergebnissen eines Rahmenwerkes [vgl. James, et al. 2015, S. 139]

Hinsichtlich der vorherigen Ausführungen können hier drei Aspekte festgestellt werden:

- einerseits kam es zu einer Anpassung der Dimensionen hinsichtlich des Untersuchungszweckes, sodass in diesem Fall nicht die ursprüngliche Dreiteilung zu beobachten ist, sondern der soziale Teil in Politik und Kultur unterschieden wurde,
- ferner kommt es zu einer Ausdifferenzierung der Dimensionen der Nachhaltigkeit. Diese ist notwendig, um Kategorien zu bilden, die durch Indikatoren messbar werden. Ein Beispiel für die Erstellung und Berechnung anhand eines solchen Rahmenwerkes ist in der Dissertation von Odeh zu finden, inklusive Gewichtungsstrukturen, s. [Odeh, 2013, S. 134] sowie Aggregationsformeln, s. [Odeh, 2013, S. 139]¹⁶².
- Schließlich wird die binäre Wahrnehmung (nachhaltig oder nicht), die u.a. McElroy, et al. [McElroy, et al., 2007, S. 6 ff.] diskutieren und die auch im vorherigen Kapitel in Form der formalen Restriktionen, d.h., Kriterium 3 & 4 verdeutlicht wurde, durch eine Skala von positiven oder negativen Wertungen ersetzt (Balken in Abb. 23).

aufzulösen. Auf Basis der „Berechnungen“ resümieren sie: „The governments should begin with improving laws and regulations about environmental protection, cultivating green price system and green market in order to create favorable (...) conditions (...)“ [Ai & Shufeng, 2013, S. 41]. Dieses Ergebnis wird auch durch eine umfangreiche SD-Analyse von Georgiadis und Besiou gestützt [Georgiadis & Besiou, 2010, S. 490 f.].

¹⁶¹ Für Beispiele mit stärkerem Bezug zur sozialen Seite der Nachhaltigkeit siehe Magee, et al. [Magee, et al., 2012, S. 239 ff.] und für weitere Städte in obiger Darstellungsform James, et al. [James, et al. 2015, S. 139].

¹⁶² Dabei verwendet er eine Aufteilung auf Komponenten (Ökonomisch, Ökologisch, Sozial und Innovationen), sowie Kategorien und abgeleiteten Kriterien mit unterschiedlichen Gewichtungen und nutzt lineare Aggregation zur konsekutiven Berechnung eines zusammenfassenden Indikators [vgl. Odeh, 2013, S. 134 ff.].

Zusätzlich zu diesen Beobachtungen lassen sich Rahmenwerke auf ihren konkreten Zweck unterscheiden. So stellen prinzipiell auch die EPI/ESI-Indexe¹⁶³ bereits Rahmenwerke dar bzw. basieren zumindest auf ähnlichen Erhebungsvorgängen bzgl. der notwendigen Daten und Berechnungen der folgenden Performanz-Kriterien. Die begriffliche Unterscheidung, die sich prinzipiell an dem umschließenden Charakter von Rahmenwerken und der Bereitstellung unterschiedlicher funktionaler Bestandteile festmachen lässt, ist bei manchen Ansätzen, die Nachhaltigkeitskennzahlen hinsichtlich übergeordneter Bewertungen aggregieren, nur schwer greifbar. Benoît und Vickery-Niedermann unterscheiden in ihrem Literaturüberblick bzgl. der Aufnahme und Bewertung sozialer Nachhaltigkeit bspw. Rahmenwerke auf die Bereiche internationale Politik, Reporting sowie Auditing und Monitoring, welche unterschiedliche Funktionalitäten bereitstellen [Benoît & Vickery-Niedermann, 2011, S. 7]. De Ridder, et al. machen eine ähnliche Unterscheidung und kategorisieren Ansätze auf verschiedene (/vier) Phasen (siehe auch Abschnitt 3.2.1, in dem der Auswahlprozess im Kontext betrieblicher Bewertungen aufgegriffen wird) [de Ridder, et al., 2007, S. 423 ff.]. Einen Überblick über (hauptsächlich internationale, nationale, aber auch auf produktionsbezogene) Nachhaltigkeitsrahmenwerke inklusive Kategorisierungen ist zudem in Odeh zu finden (bzgl. der sozialen Dimension siehe bspw. [Odeh, 2013, S. 99 ff.]).

Die Vorgehensweise bei der Erstellung und Nutzung solcher Rahmenwerke kann bspw. in den GRI Richtlinien [GRI, 2013 b, S. 64 ff.], bzgl. Aggregationsverfahren auch in den Dokumenten zum EPI-Index¹⁶⁴ oder bzgl. der umfassenden Vorgehensweise in Odeh [Odeh, 2013, S. 73 ff.] nachvollzogen werden. Um eine vereinfachte Zusammenfassung zu geben:

- es werden Hauptkategorien (auch Dimensionen/Perspektiven) bestimmt, die ihrerseits Subkategorien auf verschiedenen Ebenen haben können, bis sich schließlich ein zu messender Parameter ergibt.
- Die verschiedenen Kategorien werden schließlich ähnlich der Nutzwertanalyse (siehe Seite 38) mit Gewichtungen belegt, sodass schließlich ein Bewertungsgefüge inklusive möglicher verschiedener Berechnungsalgorithmen entsteht. Die Aggregation auf einen einzelnen Wert (Nachhaltigkeit - wie bei Odeh) wird hier allerdings kritisch gesehen, da wie bspw. McElroy, et al. beschreiben, es zu diversen Komplikation bzgl. der Interpretation des Ergebnisses kommen kann. In dem Sinne ist die Visualisierung und Ergebnisdarstellung entsprechend Abbildung 23 nicht nur aussagekräftiger, sondern kann auch weniger zu Irritationen und Fehlinterpretationen führen, selbst wenn dies für die Unterkategorien ebenso angemerkt werden kann.

An dieser Bemerkung wird gleichzeitig eine Schwachstelle von jeglichen Index-basierten Assessmentframeworks (engl. Aufnahmerahmenwerke) deutlich, die sich auf die einzelnen

¹⁶³ Der Environmental Performance Index (EPI) wurde bereits erwähnt, der Environmental Sustainability Index (ESI) war ein „Vorgänger“ des EPI-Indexes, damals noch in Kollaboration (hauptsächlich) mit der Universität Columbia, siehe die aktuelle Beschreibung des Aufbaus [YCELP & CIESIN, 2010, S. 4], in der die Autoren auch die Weiterentwicklung (von ESI zu EPI) ansprechen und die Berechnungsstruktur erläutern. In den unterschiedlichen Berichten und sog. „Factsheets“ bzgl. des Indexes ist auch von Rahmenwerken zur Datenerhebung die Rede, während die Bezeichnung für die Resultate selbst, wahrscheinlich aufgrund des Rankings von Ländern, als auch wegen der Verzeichnisstruktur auf „Index“ determiniert wurde.

¹⁶⁴ Unter <http://epi.yale.edu/downloads> sind diverse Dokumente sowohl zu Metriken, Aggregationsverfahren und Gewichtungen als auch dem Rahmenwerk an sich und den wissenschaftlichen Herleitungen zu finden.

Indikatoren und ihre Gewichtungen bezieht. So folgt der Bildung eines Rahmenwerkes i.d.R. eine Diskussion um die Validität der Indikatoren, bzgl. ihrer Messbarkeit und den Mechanismen, die für die Messungen genutzt werden. Gleichzeitig ist dies vor allem in größeren Bewertungskontexten (bspw. international/volkswirtschaftlich) der Fall, wobei in kleineren (bspw. betrieblichen) Maßstäben wiederum die Qualifikation mit dem Term Nachhaltigkeit hinterfragt wird. In dem Sinne stellt sich ein weiteres Dilemma bzgl. der Bewertung mittels Aggregationsverfahren, nämlich dass weit gefasste Indikatoren-Rahmenwerke oft in ihrer Validität und Aussagekraft hinterfragt werden. Zugleich werden zu spezifisch gefasste Aufnahmen nicht direkt mit Nachhaltigkeit in Bezug gesetzt, sondern wie auch in Abschnitt 2.4.3 angesprochen wurde, sich eher bspw. auf Material- oder Energieverbrauch bezogen. Dieser Aspekt wird in den Kapiteln 5 und 8 noch ausgeführt. Die Ganzheitlichkeit von Nachhaltigkeitsbewertungen dient dann auch als Überleitung zur betrieblichen Wahrnehmung, was exemplarisch an Lebenszyklus-basierenden Vorgehensweisen in der Folge ausgeführt wird.

3.1.2.5 Von Entwicklungspolitik zu betrieblicher Nachhaltigkeit

Die volkswirtschaftlichen und generell entwicklungspolitischen Nachhaltigkeitsrahmenwerke sind im Kontext betrieblicher Entscheidungen nur bedingt relevant. So argumentiert Kleine selbst, dass „*Soziale Wohlfahrtsfunktionen (...)*“ i.d.R. „*zu generell formuliert*“ sind, „*als dass die untersuchten Sachverhalte ausreichend konkret abgebildet werden könnten*“ [Kleine, 2009, S. 70]. Gleichzeitig ist es, vom systemtheoretischen Ansatz her, logisch dass (system-)relevante Kriterien an die Subsysteme weitergegeben werden. Dies geschieht i.d.R. entweder durch gesetzliche Vorschriften oder gesellschaftlichen Druck, bzw. Konkurrenz und resultierende Profilbildung von Unternehmen in den Bereichen der Nachhaltigkeit. Ohne Einwirkung von außen muss allerdings auf die „intrinsische“ Motivation unternehmerischer Entscheider vertraut werden, was im Kontext der in der Einführung ange deuteten Debatte nur teilweise geschieht.

Ein Ansatz, der sowohl die Rahmenwerke des letzten Abschnitts streift, allerdings der unternehmerischen Praxis näher kommt, sind die sog. Triple Bottom Line(s) (auch TBL, 3BL) von Elkington und die später entwickelten Triple Top Line(s). Dabei ist die Wortherkunft (bei den TBL) auf die Buchhaltung zurückzuführen und entspricht sinngemäß der Idee dreier Werte „unter dem Strich“ für die abschließende Bewertung eines Geschäftes/Prozesses, anstelle der herkömmlichen, alleinigen ökonomischen Endbetrachtung, s. u.a. [Elkington, 2004, S. 1 ff.], [Norman & MacDonald, 2004, S. 243 ff.]. Folglich schließen die TBL sinngemäß den Bogen zum Drei-Säulen-Modell und sind eine der ersten betrieblichen Adaptionen nachhaltigen Wirtschaftens¹⁶⁵. Die Dreiteilung bei der Gewinn-Verlust-Rechnung hat demnach zum Ziel, ökologische und soziale Aspekte in die Endbewertung von Leistungen mit einzubeziehen und folglich eine Wertsteigerung von Leistungen hinsichtlich aller Kriterien in der Geschäftspraxis zu verankern. Epstein liefert 2009 dafür zudem ein entsprechendes Rahmenwerk, welches die angesprochenen Aspekte aufgreift, s. Epstein [Epstein, 2009, S. 45 ff.], Hintergründe bereits in [Epstein & Roy, 2001, S. 588].

¹⁶⁵ Dies gilt im Bezug zu der hier diskutierten Terminologie, natürlich wurde früher auch schon nachhaltig gewirtschaftet. Als Ausführung zu den TBL s. auch die Anmerkungen in Edwards [Edwards, 2010, S. 48 f.].

In Analogie zu den TBL wurde im Jahr 2002 das Triple Top Line (TTL) Konzept vorgestellt, welches die Terminologie aufgreift und im Kontext strategischer Entscheidung der Produktauswahl und des Produktdesigns ausführt. Prinzipiell kann TBL somit als reaktiv und bilanzierend verstanden werden, während TTL als proaktiv zu werten ist¹⁶⁶. In Bezug auf negative ökologische oder soziale Wirkungen ist auch eine präventive Nutzung möglich.

TTL ist zudem im Zusammenhang von sog. Cradle to Cradle (C2C) Visionen zu nennen. Dabei entsprechen diese Ansätze der Idee die Produktentwicklung so zu verändern, dass abfallfreie und sozial verträgliche Prozesse und Produkte entstehen und im Zuge einer kontinuierlichen Veränderung der Produkte somit eine ökosozialverträgliche Wirtschaft entsteht, siehe bspw. McDonough, et al. [McDonough, et al., 2003, S. 434 ff.].

Diesbezüglich ist an die Veröffentlichung von Hilty und Ruddy zu erinnern. Prinzipiell ist die Reduktion von Umweltschäden und sozialen Problemen im Bezug zu Einheiten von Produkten notwendig¹⁶⁷. Das bedeutet, dass das Herunterbrechen von Umweltauswirkungen und sozialen Schäden auf Produkte notwendig wird. Nur in diesem Maße können Produkte, anhand von Kriterien, verglichen werden. Demnach wird die Analyse von Prozessen notwendig, die ihrerseits die entstehenden Wirkungen den Produkten zuweisen können¹⁶⁸.

Die C2C Vision kann somit als Überleitung zu Lebenszyklusanalysen oder Stoffstromanalysen verstanden werden und diese wiederum zu Ansätzen, die auf die Verankerung von nachhaltigen Strategien in der betrieblichen Praxis drängen. Solche Strategien werden in der Folge erläutert, um einen Überblick über Instrumente bereitzustellen, die in der betrieblichen Praxis bereits eingesetzt werden. Zudem wird eine Überleitung dazu geschaffen, wo die Simulation eingesetzt werden kann, um entsprechende Ansätze noch zu verbessern und wie ein resultierendes Softwareprodukt aussehen müsste.

Gleichzeitig ist in diesem Kapitel bereits darauf hinzuweisen, dass es eine beachtliche Entwicklung bzgl. umweltbezogener Strategien in Wirtschaft und Wissenschaft gibt, allerdings die gleiche Innovations- und Investitionskraft im sozialen Kontext noch zurückbleibt¹⁶⁹.

¹⁶⁶ Proaktiv zumindest bzgl. der Produktauswahl und der Produktionsprozesse, so kann diese Entscheidung wiederum als eine Reaktion auf Marktentwicklungen oder verändertes Konsumverhalten gewertet werden.

¹⁶⁷ Dies gilt zumindest im Kontext der Erhaltung von vermeintlichen Lebensstandards. Anders formuliert, die gleiche Verteilung von Gütern (intragenerationelle Gerechtigkeit) bedingt zwangsläufig höhere Ressourceneffizienz. Gleichzeitig ist der Lebensstandard nicht allein auf Basis von Gütern zu messen (eine quantitative Steigerung führt nicht zwangsläufig zu einer höheren Zufriedenheit, siehe auch Kapitel 4 und [Pinzler, 2011, S. 61 ff.]). Hier laufen demnach mehrere Ideen zusammen, einerseits gibt es die Effizienz/Suffizienz Frage, die man zwangsläufig mit damit beantworten sollte, dass beides notwendig und sinnvoll ist und andererseits wird u.a. von McDonough und Braungart zu Recht hinterfragt, ob gewisse Prozesse effizienter gemacht werden sollten und nicht gleich, strategisch bzgl. des Produktdesigns angesetzt werden sollte. Um ein Informatikbeispiel zu geben, ist es manchmal wesentlich effizienter, schlechte Codezeilen wegzuworfen und neu anzufangen, als einen alten, schlechten Code zu verbessern bis er den Wünschen entsprechend funktioniert.

¹⁶⁸ Zu relativieren ist diesbezüglich, dass der Sektor, der am wichtigsten für die Realisierung der anvisierten 50% Reduzierung der Treibhausgasemissionen bis 2050 nach Akashi und Hanaoka der Energiesektor ist (bezugnehmend auf Innovation und anfallende Kosten), s. [Akashi & Hanaoka, 2012, S. 154 f.]. Am zweitwichtigsten ist der Transportsektor, was im Kontext der Logistikprozesse einzuordnen ist, die Produktionsprozesse ihrerseits teilweise erst ermöglichen, s. [Widok, et al., 2011 (b), S. 719 ff.], [Widok, et al., 2011 (c), S. 11 ff.].

¹⁶⁹ Siehe hierzu auch Colantonio [Colantonio, 2007, S. 4]. Des Weiteren gibt es zu diesem Punkt einen sehr interessanten Artikel bzgl. menschlichem Verhalten im Kontext von Nachhaltigkeit („Human behaviour and sustainability“), der sich speziell mit der Frage beschäftigt, wie nachhaltiges Verhalten stimuliert werden kann (anfänglich institutionell, ähnlich zu Spangenberg, allerdings im Verlauf der Publikation verstärkt individuell), siehe Fischer, et al. [Fischer, et al., 2012, S. 153 ff.].

3.2 Nachhaltigkeit im betrieblichen Kontext

3.2.1 Differenzierte Betrachtung von Nachhaltigkeit in Betrieben

3.2.1.1 Einführung in die Strategien betrieblicher Nachhaltigkeit

Wie in den letzten Kapiteln ausgeführt wurde, können vermehrt Ansätze bzgl. einer stärkeren Verankerung nachhaltiger Strategien auf der betrieblichen Ebene konstatiert werden. Dieser Trend kann seinerseits Basis für volkswirtschaftliche Veränderungen sein und folglich mit gesellschaftlichen Veränderungen wechselwirken (stimulieren oder stimuliert werden)¹⁷⁰. Der Produktionsbranche wird dabei ein besonderer Stellenwert zugerechnet, da in Bezug zu Material- und Energieverbrauch sowie Abfall, Schadstoffen und Einsatz von Gefahrstoffen hier ein Großteil der ökologischen Schadwirkung zu verorten ist.

Prinzipiell können betriebliche Entscheidungen, die darauf abzielen ökologische oder soziale Verbesserungspotentiale aufzugreifen, nachhaltigen Strategien zugeordnet werden¹⁷¹. Allerdings ist ein wichtiger Zusatz zu machen; so stellen bspw. McDonough, et al. zu Recht fest, dass eine Effizienzsteigerung betrieblicher Prozesse, die eher komplett substituiert werden sollten, tatsächlich zu einer Verlängerung der Nutzung „falscher“ Prozesse führen kann [vgl. McDonough, et al., 2003, S. 435]. In dem Sinne, wäre eine Effizienzsteigerung dieser Prozesse nicht per se als nachhaltig zu definieren, selbst wenn dadurch positive ökosoziale Wirkungen entfaltet werden. Hier kommt es zu der Frage des Zeithorizonts der Bewertung, zu der Absehbarkeit systemischer Notwendigkeiten und zu Rebound-Effekten¹⁷².

Langer bezieht sich in diesem Kontext auf Kapstein und Tudler [Kapstein & Tudler, 2003, S. 293] um die Stakeholderperspektive¹⁷³ der Befriedigung systemischer Nachhaltigkeitsbedürfnisse zu determinieren. Diese „*integrative Bedürfnisbefriedigung*“ bleibt aber in Bezug zu den ökologischen Notwendigkeiten i.d.R. verkürzt, da auch die gesellschaftliche Stakeholderorientierung nicht zwangsläufig die tatsächlichen (ökologischen) Grenzen widerspiegelt. Die genutzte Formulierung „*ohne die Möglichkeiten zur Bedürfnisbefriedigung zukünftiger Stakeholder zu gefährden*“ [Langer, 2011, S. 36] ist zudem, in Analogie zum Brundtland-Bericht, wiederum kaum von operativer Relevanz. Es bedarf demnach, zuzüglich zur Kapitalerhaltung und -vermehrung¹⁷⁴, einer Qualifikation der langfristigen Wirkung der verwendeten Prozesse sowie eine iterative Überprüfung dieser Qualifikation. Die kontinuierliche Überprüfung kann wiederum prinzipiell als Managementansatz eingeordnet werden, was in den folgenden Punkten noch vertieft werden wird.

¹⁷⁰ Langer spricht von der Akzelerator-Wirkung der Integration des Nachhaltigkeits-Konzeptes in die betriebliche Ebene („*als Transformationsinstrument*“ der Unternehmensführung) [vgl. Langer, 2011, S. 36 f.], [vgl. Hansen & Schrader, 2005, S. 373 f.]. Robinson thematisiert diese mit zusätzlicher Diskussion der Entwicklung von Konzepten bzgl. sozialer Grenzen (analog zu den biophysikalischen) [vgl. Robinson, 2003, S. 375 f.].

¹⁷¹ Natürlich können ebenso marktwirtschaftliche/ökonomische Strategien nachhaltig sein, allerdings kommt es dann darauf an, welche positiven gesellschaftlichen Wirkungen sie entfalten. In dem Sinne schließen sich wiederum soziale Wirkungen an, daher werden diese, zumindest in diesem Abschnitt, Obigen zugeordnet.

¹⁷² Paech führt diese in seinem Kapitel „*die Mär vom grünen Wachstum*“ aus, siehe [Paech, 2013, S. 85 ff.].

¹⁷³ Stakeholderansätze werden in der Folge noch ausgeführt. Siehe diesbezüglich auch Abschnitt 4.1.3.4.

¹⁷⁴ Die Kapitalerhaltung und -vermehrung im Kontext der Nachhaltigkeit bezieht sich wiederum auf alle "drei" Säulen, bzw. den definierten unterschiedlichen Kapitalstöcken/Nachhaltigkeitsdimensionen, wie im vorherigen Kapitel erläutert, siehe zudem [Bieker, et al., 2001, S. 16], [Dyllick & Hockerts, 2002, S. 132 ff.], [Langer, 2011, S. 37 ff.] für weitere Informationen.

Im Kontext des Zielkonfliktes zwischen inter- und intragenerationaler Gerechtigkeit orientieren sich viele Autoren bei der Einordnung von Maßnahmen an der Unterscheidung nach den Effizienz-, Suffizienz- und Konsistenzstrategien (u.a. [vgl. Rogall, 2000, S. 25], [Weissenberger-Eibl, 2003, S. 95 f.], [Bauer, 2008, S. 175 ff.] [Langer, 2011, S. 19 f.], [Thiede, 2012, S. 3 ff.]). Dabei kommt dem von Hilty und Ruddy beschriebenen Dilemma ein besonderer Stellenwert zu, denn auch wenn McDonough, et al. korrekterweise manche Effizienzstrategien auf Basis intergenerationaler Überlegungen kritisieren, besteht im Kontext intragenerationaler Gerechtigkeit das Bestreben nach erhöhtem Output zur Befriedigung bestehender Bedürfnisse¹⁷⁵. Abb. 24 verdeutlicht dies anhand der Nachhaltigkeit-Strategien:

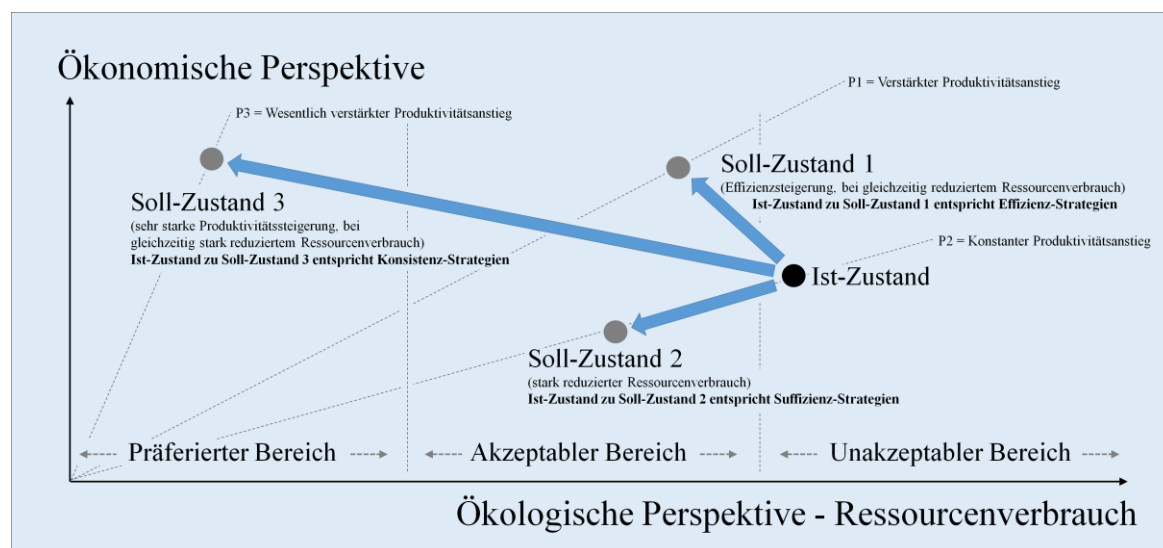


Abbildung 24: Effizienz, Suffizienz und Konsistenz [vgl. Thiede, 2012, S. 3]

In Abb. 24 stellt Thiede mögliche Folgen nicht-kombinierter Strategien vor. Gleichzeitig ist die Visualisierung vorsichtig zu interpretieren, denn sie suggeriert zwangsläufige ökonomische Einbußen bei Suffizienzstrategien. Dies ist zwar sinngemäß korrekt, allerdings besteht durch die Kombination von Strategien, durch Ausgleichssysteme (bspw. staatliche Regulation¹⁷⁶) oder durch die Entlohnung von Kunden bzgl. des Strategiewechsels eine nicht so zwingende Kausalität. Ebenso müssen Effizienz- und Konsistenzstrategien nicht zwangsläufig zu den angezeigten, positiven Resultaten führen. Dementsprechend ist in der vorgestellten Adaption von Soll-Zuständen die Rede¹⁷⁷. Um die Entwicklung der Bewertung betrieblicher Prozesse transparenter zu machen, werden in der Folge die Dimensionen der Nachhaltigkeit im betrieblichen Kontext und sie unterstützende Verfahren konkretisiert¹⁷⁸.

¹⁷⁵ Man muss dies vor dem Hintergrund der ökologischen Grenzen relativieren. Daily und Ehrlich führen vor dem Hintergrund der Versorgungskapazität der Erde bereits 1996 an, dass Suffizienz nötig sein wird. „*Considerable de-development of the overdeveloped countries will be required*“ [Daily & Ehrlich, 1996, S. 999].

¹⁷⁶ Langer spricht hier von der „Änderung von Rahmenbedingungen zur Unterstützung der Änderung von Verhaltensweisen der Akteure“, was für ihn Suffizienzstrategien gleichkommt [vgl. Langer, 2011, S. 19].

¹⁷⁷ Darüber hinaus kann seine Verortung der technischen Möglichkeiten (im Original) falsch interpretiert werden, da die entsprechende Notation sich nur auf den Bereich zwischen den Geraden P1 und P2 bezieht, in Wirklichkeit aber jeweils der Raum um die drei Geraden gemeint war (Auffächerung des Raumes möglicher Lösungen), siehe [Thiede, 2012, S. 3]. Im Bezug zu einer Verknüpfung von Ökologie und Sozialem (auch Ökonomie) siehe auch Agyeman und Evans, welche sich besonders mit gesellschaftlichen Fragen hinsichtlich "ökologischer Gerechtigkeit" beschäftigen [Agyeman & Evans, 2004, S. 155 ff.].

¹⁷⁸ Für ökonomische Evaluierungskonzepte von betrieblichen Maßnahmen s. bspw. [Zuber, 2009, S. 116 ff.].

3.2.1.2 Ökologische Nachhaltigkeit und die stoffliche Perspektive betrieblichen Wirkens

Möller bemerkt im Jahr 2010, dass die softwaretechnologische Unterstützung des Umweltschutzes in Betrieben nicht auf alt hergebrachte Routinen zurückgreifen kann (im Vergleich zur ökonomische Perspektive und Ansätzen, die das Prinzip der ökonomischen Effizienz aufgreifen), und dass „in den Unternehmen (...) erst noch das Erfahrungswissen um Methoden und Konzepte des betrieblichen Umweltschutzes und der Nachhaltigkeit etabliert werden“ muss [Möller, 2010, S. 376]. Trotz dieser Einschätzung, haben sich in den letzten zwei Jahrzehnten verschiedene Verfahren als vielversprechend erwiesen, die mittlerweile auch softwaretechnisch unterstützt werden und in der betrieblichen Praxis zum Einsatz kommen, so bspw. das Stoffstrommanagement oder die Lebenszyklusanalyse¹⁷⁹. Zudem ist davon auszugehen, dass in Anbetracht der Handlungsschwelle und einem differenzierterem Verständnis ökologischer Grenzen und sozialer Zusammenhänge sich neue Verfahren anbieten werden. Um die im vorherigen Kapitel angesprochenen Strategien in Bezug zu betrieblichem Handeln zu setzen, werden in der Folge die grundsätzlichen Wirkungen angesprochen und diese dann an der stofflichen Perspektive, mit der praktischen Ausprägung des Stoffstrommanagements, exemplarisch erläutert.

Die prinzipiellen Adaptionen der beschriebenen Strategien implizieren im Falle von Effizienz und Suffizienz eine Reduktion der Belastung/Nutzung von Naturkapital, wobei Effizienz nicht zwingend zur Reduktion der Quantität des Outputs führen muss (erstrebt wird von Unternehmensseite zumeist das Gegenteil)¹⁸⁰. Im Falle der Konsistenz wäre die Suche nach Substitutionsmöglichkeiten für bestehende Verfahren mit dem Ziel Naturkapital nicht zu nutzen oder in einem reinigenden Kreislauf wiederverwerten zu können (Qualifikation der Angemessenheit von Lösungen). Zwangsläufig impliziert dies auch neue Prozessdesigns, die hinsichtlich auf den Output an nutzbaren Gütern, nicht wesentlich von bestehenden Verfahren abweichen sollten (zwecks intragenerationaler Gerechtigkeit)¹⁸¹.

¹⁷⁹ Dabei ist von besonderem Interesse für diese Arbeit, dass beide Verfahren mit sozialen Aspekten wechselwirken. So kommt es bei der Analyse von Stoffströmen zu lokalen Zuordnungen. Diese können wiederum genutzt werden, um ein Profil der Wechselwirkungen zwischen den in den Betrieben arbeitenden Menschen und den genutzten Stoffen aufzustellen, um so etwaige Schadwirkungen festzustellen oder zumindest zu projizieren, siehe auch Kapitel 4 und 5. Im Bereich der Lebenszyklusanalyse kann zudem die Entwicklung des sog. Social LCA (SLCA oder S-LCA) notiert werden, die im Detail in Kapitel 4 ausgeführt wird.

¹⁸⁰ Hier ist anzumerken, dass obige Aussage, bzgl. der, der Effizienz geschuldeten Reduktion des Ressourcenverbrauchs, von einer ökologisch motivierten Effizienz ausgeht (siehe Hinterberger und Omann für exemplarische Beispielrechnungen [Hinterberger & Omann, 2000, S. 9-11]). Mit Effizienz wird sonst in erster Linie eine Erhöhung der Ressourcenproduktivität angesprochen. Was im Kontext der Aussage von Möller und in Anbetracht der sog. Öko-Effizienz eher an marktwirtschaftlich orientierte Vorgehensweisen erinnert. So wird die Öko-Effizienz i.d.R. als Kennzahl genutzt, um Prozesse wirtschaftlicher zu gestalten, während die Reduktion der Belastung von Naturkapital eher im Kontext von Marketingstrategien oder zur betriebsinternen Investitionsrechtfertigung von Ansätzen genutzt wird, siehe auch [Schaltegger & Sturm, 1990, S. 279–283].

¹⁸¹ Diesbezüglich ist auffällig, dass die propagierte Suche nach Konsistenzstrategien, bzw. neuen C2C Designs, wie von Braungart und McDonough gefordert, im Kontext der sozialen Folgewirkungen unspezifisch bleibt. Es ist natürlich wünschenswert und grundlegend das richtige Ziel, bestehende Verfahren durch umweltschonendere und auch sozial verträglichere zu ersetzen, allerdings geht mit jedem substituierten Prozess, zumindest im größeren Maßstab, eine Umstrukturierung einher, die möglicherweise Arbeitsplätze gefährdet oder in Bezug auf die notwendigen Qualifikationen verändert. Zwar sind mögliche soziale Folgewirkungen teilweise höher einzuschätzen als diese (auch unspezifischen) Gefahren, allerdings bleibt ein Restrisiko, das nicht immer abschließend diskutiert wird. Veränderung impliziert oft auch Angst vor Veränderung, die im Kontext der Akzeptanz und des Nachhaltigkeitsprinzips der Partizipation adressiert werden muss.

Um entsprechende Strategien einsetzen zu können, braucht es zwangsläufig ein Verständnis der betrieblichen Prozesse. Hier besteht mit der Stoffstromanalyse ein Verfahren, das Prozesse im Hinblick auf die Nutzung von Stoffen transparenter machen kann. Zudem ist eine Kombination mit der Simulation möglich, siehe bspw. [Lambrecht, 2009, S. 39 ff.].

Als Stoffe werden i.d.R. alle chemischen Elemente und Verbindungen bezeichnet [vgl. Baccini & Bader, 1996, S. 45]. Im Bezug zur Stoffstromanalyse werden oftmals auch Teil- und Beiprodukte sowie andere Ressourcen, die zur Prozessfunktionalität beitragen oder eine relevante Größe darstellen, betrachtet und als Stoffe deklariert [vgl. Heck, 2002, S. 15].

Als Stoffstrom kann der Weg definiert werden, den ein Stoff in einem System durchläuft. Dabei wird das System als Stoffsystem deklariert. Im Stoffsystem ereignen sich wiederum Transformationsprozesse (bspw. Aufspaltung/Veredelung), die die Quantität des Stoffstroms verändern (bspw. Aufnahme von Energie) und weitere Stoffströme kreieren können (bspw. Schadstoffe). Nach einer Aufnahme lassen sich i.d.R. bereits Transformationsregeln deduzieren. Diese stellen bereits einen Mehrwert bzgl. des Systemverständnisses dar¹⁸².

Das Stoffstrommanagement bezieht die Analyse als Teil eines iterativen Vorgangs mit ein und versucht so kontinuierlich Verbesserungspotentiale zu heben (siehe Abb. 25). Dies impliziert Maßnahmen der Veränderung am (Real-)System und die wiederholte Überprüfung der Stoffströme in Entsprechung der beschriebenen Strategien, bspw. durch die Senkung des Ressourcenverbrauchs (Effizienz/Suffizienz) oder die Identifikation von Prozessen, die durch verbesserte Varianten substituiert werden könnten (Konsistenz)¹⁸³.

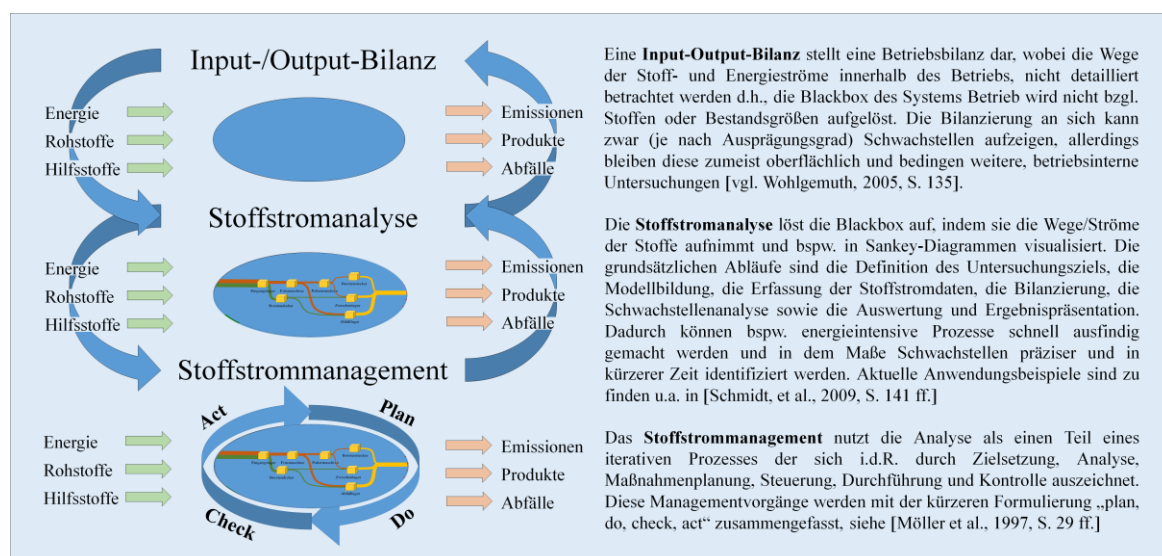


Abbildung 25: Stoffstrommanagement [vgl. Wohlgemuth, 2005, S. 140], [vgl. Mayer, 2003, S. 48]

¹⁸² Die Systemgrenzen determinieren dabei die möglichen Wege der Stoffe, wobei Lebenszyklus-ähnliche Analysen machbar sind, aber zumeist hinsichtlich Planungsfragestellungen auf einen Betrieb fokussiert wird.

¹⁸³ Page und Wohlgemuth beschreiben hier als hervorzuhebendes Element: „*the outstanding feature of the material flow network approach is that it combines the site-specific aspect of compiling input/output ecobalances (...) with the analysis of material flows associated with a certain product or service (...)*“ und definieren folgend „*(...) material flow networks, originally developed at the University of Hamburg (Möller, 2000), may be interpreted as a bookkeeping technique based on graphical modelling in order to analyse distributed material and energy flow systems.*“ [Page & Wohlgemuth, 2004, S. 96]. Für weitere Informationen siehe Wohlgemuth [Wohlgemuth, 2005, S. 133 ff.] und für Case Studies Page, et al. [Page, et al., 2008, S. 1620 ff.].

Zwar besteht mit dem Stoffstrommanagement ein Ansatz, der Transparenz fördert und ganzheitlich ausgelegt ist¹⁸⁴, allerdings können Untersuchungen im betrieblichen Rahmen oft nur auf einen Teil der ökologischen Wirkungen von Betrieben fokussieren (je nach Untersuchungszweck, auf Prozessketten bzgl. der Entstehung von Produkten)¹⁸⁵. So kann es z.B. sein, dass ein Produktionsprozess ökologisch verträglich ist, allerdings die vorgelagerten oder nachgelagerten Prozesse (Abbau von Ressourcen, schwierige Entsorgung, Veredelungsprozesse von Partnerunternehmen) dazu führen, dass die Entstehung, Verarbeitung oder Entsorgung der betroffenen Produkte ökologisch schädliche Wirkungen entfaltet. Diese Prozesse können ebenso in eine Stoffstromanalyse einbezogen werden. Dies ist jedoch nicht immer der Fall, bspw. aufgrund der fehlenden Datengrundlage. Eine umfassende Analyse braucht zudem Fachwissen, welches oft in den Unternehmen fehlt¹⁸⁶.

Vorherige Ausführungen verdeutlichen dabei, dass mit dem Stoffstrommanagement ein Ansatz besteht, der Schwachstellen und Verbesserungspotentiale im Kontext von Effizienz- und Suffizienzstrategien iterativ identifizieren kann. Auch das Auffinden von Substitutionsmöglichkeiten und somit die Anwendung von Konsistenzstrategien ist theoretisch möglich, bleibt allerdings im Hinblick auf die Möglichkeit unklarer vor- oder nachgelagerter Wirkungen in der Aussagekraft bzgl. der Ganzheitlichkeit begrenzt (abhängig von der Modellgröße). Gleichzeitig ist die Lebenszyklusanalyse mit anderen Problemen konfrontiert¹⁸⁷. Eine Ausführung dieser verfahrensbezogenen Merkmale folgt in Abschnitt 3.2.2. Für die ökologische Dimension ist an dieser Stelle festzuhalten, dass das betriebliche Wirken sich durch die Stoffbezüge des Systems Betrieb mit seinen Umsystemen darstellt, Masse- und Energieflüsse transformiert werden und für eine ökologische Bewertung diese transparent gemacht werden müssen, um die erwähnten Nachhaltigkeitsstrategien anwenden zu können.

¹⁸⁴ Zudem gibt es Ansätze der Verbindung von Stoffstromanalysen mit Optimierungsmethoden, s. u.a. Lambrecht [Lambrecht, 2009, S. 42 ff.], prinzipielle Weiterentwicklung der Methodik in [Möller, 2009, S. 59 ff.] sowie bzgl. der Kombination mit Simulationsverfahren [Wohlgemuth, 2007, S. 19], s. zudem Kap. 4 und 5.

¹⁸⁵ Paulus geht in ihrer Dissertation speziell auch auf die Nutzungsphase der Stoffstrombetrachtung bzgl. des Lebenszyklus von Produkten ein, s. [Paulus, 2005, S. 16]. Beispiele der Anwendung im Rahmen sind zudem in [Demir, et al., 2008, S. 213 ff.] sowie [Bogensneider & Wohlgemuth, 2009, S. 157 ff.] zu finden.

¹⁸⁶ Besonders KMU verfügen i.d.R. nicht über Kapazitäten (oder die kontinuierliche Motivation abseits vom Tagesgeschäft), um nicht nur ob der eigenen ökologischen Wirkung Untersuchungen anzustellen, sondern zudem die Wirkung von Partnern aus den Lieferketten, bzw. dem Lebenszyklus ihrer Produkte zu untersuchen. Hinsichtlich der zugrundeliegenden Ökobilanzen notieren Page und Rautenstrauch zudem: „*such ecobalances show a high degree of detail with many balance positions. In addition, the use of various units of measure makes it more difficult to interpret such balances*“ [Page & Rautenstrauch, 2001, S. 7] und weisen damit die Notwendigkeit der Aggregation aus, um Indexwerte zu erstellen und Kennzahlen zu bilden.

¹⁸⁷ Sinngemäß zu diesem Punkt schreibt Möller (im Kontext der Verbindung von Stoffstromanalyse Simulation und Optimalplanungen): „*Der entscheidende Nachteil des direkten Life-Cycle Assessments für Zwecke der Optimalplanung besteht darin, dass sich das LCA auf einzelne Produkte oder Dienstleistungen bezieht, verbundene Produktionen vorgelagert zerlegt werden und nicht-lineare Prozesse linealisiert werden.*“ [Möller, 2009, S. 16]. Zudem merkt er an „*Es ergeben sich für das LCA so viele Einschränkungen, dass Fragen der Optimalität bestenfalls am Rande diskutiert werden* [Huppel, Ishikawa, 2005, S. 28], [Heijungs, Suh, 2002, S. 51 f.]. *Versuche der Integration von Optimierungsmethoden in den Methodenkanon des LCA finden nicht statt.*“ [Möller, 2009, S. 15]. Die letzte Aussage ist dabei zeitlich zu relativieren, so stellen Reinhard, et al. bspw. Ansätze zur Verbesserung der Datengrundlage auf Basis einer verbesserten Dateneingabe- und Überprüfungs-Priorisierungen dar. Auch wenn dabei Optimierungsmethoden nur gestreift werden, impliziert der Ansatz eine grundsätzliche Optimierung des Verfahrens der Datenüberprüfung und des Updates der Lebenszyklusanalyse zugrundeliegenden Datensets [Reinhard, et al., 2016, in press]. Um den Aspekt der Linearität herauszustellen und genauer zu betrachten, können in Meadows, et al. diverse Beispiele gefunden werden, die auf die Schwierigkeit der Erfassung nicht-lineare Beziehungen eingehen. Zudem wird die Problematik explizit thematisiert, siehe „*linearer Verstand in einer nichtlinearen Welt*“ [Meadows, 2010, S. 111].

3.2.1.3 Von volkswirtschaftlicher Veränderung zur Nachhaltigkeit betrieblichen Wirtschaftens

Effizienzsteigerung und Ressourcenproduktivität bilden die logischen Anfänge der Betrachtung von Nachhaltigkeit im betriebswirtschaftlichen Sinne. Langer spezifiziert dabei als Ziele des Strategiepfads der Effizienz „die Erzielung einer dauerhaft über den Kapitalkosten liegenden Rendite unter der jederzeitigen Sicherstellung der Liquidität“ [vgl. Langer, 2011, S. 43], [vgl. Hockerts, 2003, S. 22], [Weissenberger-Eibl, 2003, S. 99]¹⁸⁸. Es ist leicht nachzuvollziehen, dass dieser Strategiepfad einer grundsätzlich wünschenswerten Unternehmensvorstellung entspricht. Suffizienzstrategien dagegen müssen i.d.R. über Beteiligung, d.h. den Stakeholderansatz vor Akteuren gerechtfertigt und teilweise gegen Widerstand durchgesetzt werden [vgl. Langer, 2011, S. 42 f.]. Dies impliziert, dass i.d.R. Effizienzmaßnahmen im Sinne der Masse der Stakeholder von Betrieben sind (es sei denn es kommt zu Rationalisierungsprozessen), wobei Suffizienzmaßnahmen oft nur durch intrinsische Motivation von Akteuren ausgelöst werden und, je nach Größe des Betriebes, verschiedene Entscheidungszyklen durchlaufen müssen. Generell ist die Verkleinerung oder Begrenzung von Geschäften nicht vorrangiges Ziel der meisten ökonomischen Modelle¹⁸⁹.

Generell kann zudem ein verstärkter Fokus auf die Lieferketten in Bezug zur ökonomischen Nachhaltigkeit konstatiert werden, siehe bspw. Chaabane, et al. [Chaabane, et al., 2011, S. 104 ff.]. Dabei geht es in erster Linie um Optimierungsstrategien hinsichtlich der Aspekte der operativen und strategischen Standortentscheidungen (bzgl. Produktion und Lagerauswahl/-haltung, generelles Zeitmanagement und weiteren). Im Bezug zu nachhaltigen Strategien kommt es hauptsächlich zur Erzielung von Effizienzgraden im ökonomischen Sinne. Gleichzeitig sind ganzheitlichere Effizienzbetrachtungen im Kontext der Einbindung sozialer Faktoren oder ökologischer Standards lohnenswert (in Beziehung zum Energieeinsatz, Materialeinsatz, Ausbildung von Mitarbeitern (Wissenskapital) und ähnlichen). Die soziale Seite des betrieblichen Supply-Chain-Managements wird dabei in der Dissertation von Schmidt behandelt, dabei geht er auch konkret auf die Implikationen von Veränderungsprozessen auf die betriebliche/ökonomische Praxis bzw. das Beschaffungsmanagement ein, siehe Schmidt [Schmidt, 2013, S. 58 ff.] und Kapitel 4 für weitere Details.

Abgesehen von dieser offensichtlichen Orientierung am grundsätzlichen ökonomischen Prinzip der Effizienz, bekommt die Langfristigkeit von betrieblichen Entscheidungen im

¹⁸⁸ Ferner resümiert er: „Letztlich können unter der Effizienzstrategie die grundlegenden Elemente ökonomischer Prinzipien in der Marktwertmaximierung subsumiert werden“ [Langer, 2011, S. 43]. Exemplarisch können die Kostenzuweisungen in Andersson, et al. verstanden werden, welche die Verbindung von ökonomischen Kriterien und ökologischen Wirkungen aufzeigt (in DES/LCA), s. [Andersson, et al., 2011, S. 896].

¹⁸⁹ Hier muss es zudem zwangsläufig zu einer begrifflichen Unterscheidung kommen, da die Begriffsfolge „nachhaltigen Wirtschaftens“ nicht zwangsläufig ein Wirtschaften im Kontext der dreidimensionalen Nachhaltigkeit impliziert. Prinzipiell sollte hier entweder spezifiziert werden, für wen oder was es nachhaltig ist, oder es sollte klar formuliert werden, dass es um Wirtschaften im Kontext „einer nachhaltigen Entwicklung“ geht. Genauer noch wäre zudem die Ausdifferenzierung, ob nachhaltiges Wirtschaften die Wertschöpfungsprozesse und -quellen auch ausgelagert von dem ausführenden Unternehmen verortet. Es ist in diesem Kontext leider so, dass einige der Formulierungen sich sinngemäß auch auf eine alleinige Mehrung des ökonomischen Kapitals beziehen könnten, auch wenn dies nicht im Interesse der heutigen Verwendung der Begrifflichkeit ist. Eine Spezifikation ist daher erforderlich. Schmidt macht in seiner Dissertation die Unterscheidung zwischen der Erhaltung des Unternehmen (nachhaltig für das Unternehmen) und der Entsprechung der Begrifflichkeit im Kontext einer nachhaltigen Entwicklung, siehe [Schmidt, 2013, S. 20 f.]

Hinblick auf größere Unsicherheiten, ökonomische Nachhaltigkeit und des sich beschleunigenden weltweiten Handels und Wandels eine erhöhte Priorität. In seinem Kapitel „nachhaltige Ökonomie“ aus dem Fachbuch „Volkswirtschaftslehre für Sozialwissenschaftler“ spezifiziert Rogall 15 Problemdimensionen, bei denen davon auszugehen ist, dass sie auch die betriebliche Vorausplanung betreffend an Relevanz gewinnen werden (siehe Tab. 3). Nicht alle davon implizieren direkte Auswirkungen auf das Tagesgeschäft von Unternehmen im Generellen und KMU im Speziellen. Allerdings ist es im Sinne einer nachhaltigen betrieblichen Planung von Bedeutung, volkswirtschaftliche Veränderungsprozesse im Blick zu halten, um nicht auf ihrer Basis mit Veränderungen konfrontiert zu werden, die die Wirtschaftlichkeit des eigenen Unternehmens in Bedrängnis bringen.

Ökologische Dimension	Ökonomische Dimension	Sozial-kulturelle Dimension
Klimaerwärmung (1)	Negative Entwicklungen auf dem Arbeitsmarkt (6)	Fehlentwicklungen in Wirtschaft und Politik (11)
Zerstörung der Arten- und Landschaftsvielfalt (2)	Unzureichende Befriedigung der Grundbedürfnisse mit nachhaltigen Produkten (7)	Soziale Unsicherheit, Armut, demographische Fehlentwicklungen (12)
Verbrauch nicht erneuerbarer Ressourcen (3)	Instabilität des Geldwertes/Finanzmärkte, Konzentration, Externalität, Ineffizienz (8)	Chancenungleichheit, ungleiche Einkommens-/Vermögensverteilung (13)
Übernutzung der erneuerbaren Ressourcen (4)	Außenwirtschaftliche Ungleichgewichte, Abhängigkeiten, Unterentwicklung (9)	Innere/äußere Sicherheit, gewaltsame Konflikte, Massenimmigration (14)
Gefährdung der menschlichen Gesundheit (5)	Staatsverschuldung: unzureichende Ausstattung mit meritokratischen Gütern (10)	Technische Risiken (15)

Tabelle 3: Problemdimensionen im 21. Jahrhundert (nachhaltige Ökonomie) [vgl. Rogall, 2013, S.124]

Es ist davon auszugehen, dass es legislative Anpassungen geben wird. So werden sich die Trends (zumindest bzgl.) der ökologischen Dimension und demnach der Punkte 1 bis 5 voraussichtlich noch verstärken¹⁹⁰. In der Einführung wurde diesbezüglich bereits der Emissionshandel erwähnt und darauf hingewiesen, dass sich Zertifikate (laut Planung, wahrscheinlich) kontinuierlich verteuern werden. Auch wenn der Europäische Emissionshandel grundsätzlich nicht als das positivste Beispiel gesehen wird (die Zertifikate sind noch viel zu billig, um Veränderungsprozesse und betriebliche Investitionen anzustoßen/zu forcieren¹⁹¹), kann an dem dahinterliegenden Prinzip, das Weitergeben/Herunterreichen von systemischen Notwendigkeiten an seine Subsysteme, erkannt werden. Mit einer fortschreitenden Vernetzung der Welt und des Welthandels, sowie den in Tabelle 3 beschriebenen Problemdimensionen ist davon auszugehen, dass sich dieser Trend verstärken wird.

Zusätzlich zur möglichen Verstärkung legislativer Vorgaben ist davon auszugehen, dass durch die verstärkte Transparenz sich langfristig auch die Zuordnung von ökologischen und sozialen Schäden verbessert. Sollte es diesbezüglich zu keiner (regulativen) ökonomischen Konsequenz auf Basis des Verursacherprinzips kommen, so ist doch davon auszugehen, dass es (zumindest langfristig) bzgl. der Außenwirkung von Unternehmen Konsequenzen

¹⁹⁰ Punkt 14 ist im Kontext der Massenimmigration aktuell stark in den medialen Fokus gerückt ist. Die möglichen Folgen bleiben bis dato noch schwer abzuschätzen. In Bezug zur ökonomischen Nachhaltigkeit fällt es zwar schwer, hier direkte Relationen abzuleiten, allerdings sind indirekte, in Bezug auf den Arbeitsmarkt, das Sozialsystem, eine Veränderung der Legislative, Auswirkungen auf den Welthandel und generell die Stimmung in der Wirtschaft durchaus wahrscheinlich.

¹⁹¹ Siehe hierzu auch Schwaiger, et al., die auch auf die Zukunft des europäischen Emissionshandels und die Implikationen für Firmen eingehen [Schwaiger, et al., 2012, S. 103 ff.].

geben wird und somit Kunden durch ihre Kaufkraft eine ökonomische Rückkopplung bzgl. der Geschäftspraxis von Unternehmen in Gang setzen¹⁹². Anders formuliert kann es hier zu Imageschäden kommen, welche Auftragseinbrüche nach sich ziehen und somit Absatz, Umsatz und Gewinn beeinflussen. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, dass Ignoranz gegenüber den Veränderungsprozessen zu einer zu klein eingeschätzten Notwendigkeit an Liquidität führen kann, der wiederum Opportunitätskosten bzw. Ausfälle folgen können.

Diese Ausführungen implizieren in ihrer Gesamtheit einen großen Anreiz, wenn nicht eine Notwendigkeit, nicht nur rein ökonomisch zu wirtschaften, sondern ganzheitlichere Aspekte in die Betrachtung mit aufzunehmen und verstärkt ökonomische Ressourcen einzusetzen um soziales und ökologisches Kapital zu schützen (Naturkapital) bzw. aufzubauen (Wissenskapital/Humankapital). Dies ist von besonderer Bedeutung, wenn man sich die u.a. von Möller und Langer angesprochene Nicht-Linearität von ökologischen und sozialen Prozessen vor Augen führt, d.h., dass sich die Auswirkungen ihrer Nutzung erst beim oder nach dem Erreichen bestimmter Grenzwerte zeigen und dementsprechend die vorausschauende Planung erschwert ist [vgl. Langer, 2011, S. 42], [vgl. Dyllick & Hockerts, 2002, S. 135], [vgl. Bieker, et al., 2001, S. 17 f.].

In dem Sinne impliziert Nachhaltigkeit im ökonomischen betrieblichen Sinne, zusätzlich zu den bestehenden Mechanismen der wirtschaftlichen Praxis, eine konkrete Evaluierung der Wertigkeiten nicht ökonomischer Größen und eine Abschätzung ihrer möglichen Auswirkungen in verschiedenen Zeitdimensionen. Besonders ist dies festzustellen, wenn von der fehlenden Kompensationsmöglichkeit anderer Kapitalsorten, im Vergleich zum Naturkapital ausgegangen wird. Dies in Verbindung mit der Nicht-Linearität und der Irreversibilität der Nutzung endlicher Kapitalstöcke stellt letztlich die Begründung dar, für die oben beschriebene Notwendigkeit nach einer multikriteriellen Bestandsaufnahme und Wertigkeitsanalyse von bestehenden betrieblichen Prozessen und Ressourcen [vgl. Langer, 2011, S. 42], [vgl. Dyllick & Hockerts, 2002, S. 136].

Zur Unterstützung des betrieblichen Managements in diesen Punkten wurden bereits verschiedene methodische Ansätze entwickelt und in praktischen Verfahren eingesetzt¹⁹³. Diese werden unter Punkt 3.2.2 vertieft und bilden mit anderen Aspekten einen Teil der konzeptionellen Basis für die eigene Entwicklung. Was in diesem Abschnitt auch deutlich geworden sein sollte, ist, dass die Trennung zwischen den Nachhaltigkeitsdimensionen auch oder gerade besonders in der betrieblichen Praxis verschwimmt. Daher wird in der Folge die soziale Seite kurz erläutert, um anschließend auf angesprochene Verfahren einzugehen.

¹⁹² Es ist korrekt, dass dies in der Masse bis dato nicht der Fall ist, allerdings gibt es diverse Beispiele für einen verstärkten Trend der Transparenz betrieblichen Wirkens, siehe bspw. Chan, et al. [Chan, et al., 2013, S. 100 ff.] und die diversen Beispiele, die in Dubielzig thematisiert werden, siehe [Dubielzig, 2009, S. 1 ff.]. Zudem kam es in den vergangenen Jahrzehnten verstärkt zur Bildung von Organisationen (bspw. Wikileaks, Lobbywatch, Abgeordnetenwatch, etc.) welche diesen Trend unterstützen. Dazu erlaubt neuere Technologie (wie Handykameras, Tonmitschnitte, etc.) auch Normalbürgern, eine schnelle Möglichkeit für mehr Transparenz zu sorgen. In dem Sinne ist eine Veränderung zu der Intransparenz wirtschaftlicher Praxis von noch vor Jahrzehnten zu konstatieren und es ist wahrscheinlich, dass sich dieser Trend verstärkt. Falls dies der Fall sein sollte, ist ferner zu projizieren, dass sich die Rückkopplung durch Kundenentscheidungen verstärken wird.

¹⁹³ Bspw. die erwähnte Kombination aus Stoffstromanalyse und Simulation, ferner die Balanced Scorecard, nachhaltiges Supply-Chain-Management, Human Resource Management Ansätze neuere Arbeitszeitmodelle und weitere.

3.2.1.4 Soziale Nachhaltigkeit im betrieblichen Kontext

Die soziale Seite betrieblicher Nachhaltigkeit wird im Detail in Kapitel 4 vertieft, daher wird an dieser Stelle lediglich ein Grundverständnis bzgl. der betrieblichen Aspekte gelegt sowie die Bezüge zu den erwähnten Strategien (Effizienz, Suffizienz, Konsistenz) und den von Pufé formulierten Prinzipien der Nachhaltigkeit hergestellt.

Soziale Nachhaltigkeit wird, auch auf Basis der hohen Interdisziplinarität des Sozialen, aus verschiedenen Perspektiven betrachtet. Dabei können diverse Abstufung gemacht werden, die sich in der Regel, ähnlich gesellschaftlichen Bedürfnispyramiden, auf die jeweilige Zielgruppe beziehen. Im entwicklungspolitischen Sinne sind zwangsläufig andere Kriterien von Relevanz, als bei der innerbetrieblichen Betrachtung. Als Hauptkategorien der betrieblichen Betrachtung können die Aspekte der Gesundheit, Kommunikation und Transparenz sowie der Beteiligung definiert werden. Je nach Autor sind hier unterschiedliche andere Interpretationen möglich, die in der Folge noch erwähnt werden. Diese drei Kategorien wurden gewählt, da sich die Masse der sozialen Aspekte davon ableiten lassen. Zwischenmenschliche Austauschbeziehungen bzw. das soziale Gefüge wird in diesem Kontext der Kommunikation zugeordnet, während Entfaltungsmöglichkeiten und Freiräume der Beteiligung zugeordnet werden, einen ersten Überblick über diese Einteilung gibt Abbildung 26:

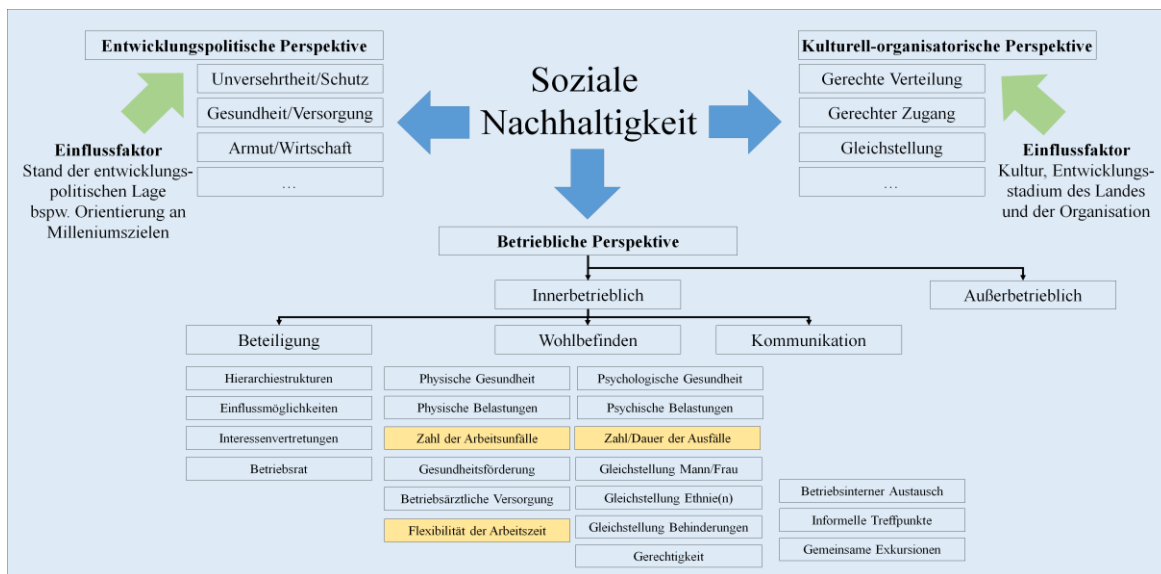


Abbildung 26: Grobübersicht betriebliche Perspektive der sozialen Nachhaltigkeit

Das von Pufé beschriebene Prinzip der Partizipation kann, entsprechend der begrifflichen Bestimmung, der Beteiligung zugeordnet werden, wobei es gleichzeitig als beschreibender Sammelbegriff für eine Reihe betrieblicher und überbetrieblicher Informationsflüsse verstanden werden kann. Im Bezug zu der Kommunikation und Transparenz bilden Humanressourcen i.d.R. Quellen und Senken, während vereinzelt (bspw. in der Außenrepräsentation, dem Marketing, als auch der Nachhaltigkeitsberichterstattung) die Quellen den Berichten, Kennzahlen, bzw. der generellen Geschäftspraxis zugeordnet werden können. Die Adressaten sind dabei sowohl interne als auch externe Stakeholder, wobei die interne Wirkung nicht zu unterschätzen ist. So wirkt sich der Einsatz der meisten Nachhaltigkeitsinstrumente (siehe auch Kap. 3.2.2, sowie [IDW Köln, 2004, S. 9]), i.d.R. positiv auf das Wohlbefinden

und die Motivation sowie, daraus folgend, auf die Produktivität von Mitarbeitern aus [vgl. IDW Köln, 2004, S. 15 f.].

Dieser Punkt (und Kommunikation im Generellen) hat zudem einen besonderen Stellenwert bei der Durchsetzung möglicher Suffizienzstrategien. Hier kann es, wie erwähnt, dazu kommen, dass bestimmte Strategien den rein ökonomisch orientierten Konzepten zuwiderlaufen. In dem Sinne, ausgehend davon, dass nicht alle Stakeholder die Notwendigkeit solcher Strategien verinnerlicht haben, wird ein Wahrnehmungs-, und Bewusstseinswechsel angestrebt, der ein hohes Maß an Kommunikation und Transparenz benötigt¹⁹⁴. Dasselbe gilt prinzipiell für Konsistenzstrategien, falls diese (bspw. zur Erreichung von Kreislaufwirtschaften) das Kerngeschäft verändern, bzw. größere Veränderungen an der Struktur oder am Ablauf der Geschäftsprozesse beinhalten (oder diese komplett austauschen). Diese Prozesse betreffen i.d.R. eine Reihe interner Stakeholder, die sowohl durch die Aspekte Beteiligung, als auch über Kommunikation und Transparenz zumindest informiert, besser noch beteiligt werden sollten.

Bezugnehmend auf Effizienzmaßnahmen, die rein ökonomisch konnotiert sind, besteht zudem eine oft berechtigte Angst vor Rationalisierungsprozessen. Hier kommt es zwangsläufig auch auf die Firmenpolitik, das Firmenklima und den Bekanntheitsgrad von innerbetrieblichen Restrukturierungen bei den Mitarbeitern an. Zudem gilt es strikt zu trennen, zwischen rein ökonomisch konnotierten Effizienzmaßnahmen und sog. Sozio-Effizienzmaßnahmen, die sich mehr auf die Steigerung des innerbetrieblichen sozialen Kapitals beziehen, als auf das ökonomische. Zu innerbetrieblichem sozialem Kapital kann bei Effizienzsteigerungen die Mitarbeiterförderung, Weiterbildungsmaßnahmen und der Ausbau der innerbetrieblichen Kommunikation verstanden werden¹⁹⁵. Dabei kommt es insbesondere zum Ausbau von Fähigkeiten der Humanressourcen (Weiterbildung/Ausbildung) sowie zu strukturellen, organisatorischen Anpassungen, welche Humanressourcen neue Entfaltungsmöglichkeiten erlauben¹⁹⁶. Für weitere Informationen, siehe Kapitel 4, in der Folge werden Verfahren erläutert, die die Aspekte der letzten 3 Kapitel im betrieblichen Rahmen unterstützen.

¹⁹⁴ Langer schreibt zu diesem Punkt: „Die Suffizienzstrategie lenkt dementsprechend das Betrachtungsfeld auf die Kapitalgrößen der sozialen Nachhaltigkeit. Es wird die Entwicklung des innerbetrieblichen Human- und Sozialkapitals sowie des externen Sozialkapitals [vgl. Arnold, et al. 2001, S. 52], [Gminder, et al., 2002, S. 97 f.] zum zentralen Bestandteil der Unternehmensstrategie“ [Langer, 2011, S. 39].

¹⁹⁵ Um ein einfaches Beispiel für den Ausbau von Kommunikationsstrukturen zu nennen, wurde bspw. im Fraunhofer IPK, ein sog. Wissensnavigator eingeführt, der Mitarbeitern die Möglichkeit gab, nach Fachbegriffen zu suchen und als Feedback eine Liste von internen Mitarbeitern anbot, die sich mit dem gesuchten Begriff wissenschaftlich beschäftigen (inklusive Kontaktinformationen). In dem Sinne wurde das innerbetriebliche Netzwerken durch Technologie verstärkt.

¹⁹⁶ In einem Interview mit Google-Personalchef Laslo Bock, erwähnte dieser drei Kernstrategien des Personalmanagements bei Google, einem Unternehmen, das als innovativer Vorreiter im Bereich des Personalmanagements gilt. Inhaltsgemäß sind diese das Schaffen informeller Treffpunkte zwischen den Mitarbeitern, um deren Austausch zu fördern und die organisatorische Unterstützung von Innovation. Dies bedeutet, dass über die informellen Treffpunkte hinweg, zusätzlich betriebsinterne Strukturen geschaffen werden, die Mitarbeiter nutzen können, um ihre Verbesserungsideen vorzuschlagen und sie Zeit abseits des Kerngeschäfts dafür bekommen, diese Ideen auszuarbeiten. Der dritte Aspekt ist wiederum die Effizienz – diesmal allerdings darauf bezogen, dass Mitarbeitern alltägliche Arbeiten abgenommen werden, bzw. ihr Unternehmen sie hierbei unterstützt, sodass sie mehr Zeit/Freiraum/Konzentration für ihre eigentliche Arbeit haben. So bietet Google Ölwechsel für Autos, Reinigung für Anzüge und diverse weitere Dienstleistungen des täglichen Lebens kostengünstig an, oder übernimmt sogar teilweise die Kosten ganz [vgl. Haufe OR, 2011, S. 1].

3.2.2 Verfahren der betrieblichen Nachhaltigkeit mit Simulationsbezug

3.2.2.1 Vorarbeiten und Einführung

Da im Bereich der Operationalisierung von Nachhaltigkeit und der Entwicklung entsprechender Verfahren seit einiger Zeit geforscht wird, resümiert diese Einführung, in chronologischer Reihenfolge, umfangreiche Studien, die zur Einordnung der folgenden Ausführungen und als Verweise für detailliertere Informationen zu den Instrumenten dienen sollen.

Im Jahr 2004 führte das IDW Köln im Rahmen eines BMBF geförderten Forschungsprojekts eine Analyse zum Einsatz von betrieblichen Instrumenten zur Förderung nachhaltigen Wirtschaftens durch. Ein Projektergebnis, die Häufigkeit der Anwendung der 20 (vorge schlagenen) Instrumente (in Prozent bzgl. 309 Unternehmen), ist in Abb. 27 visualisiert¹⁹⁷:

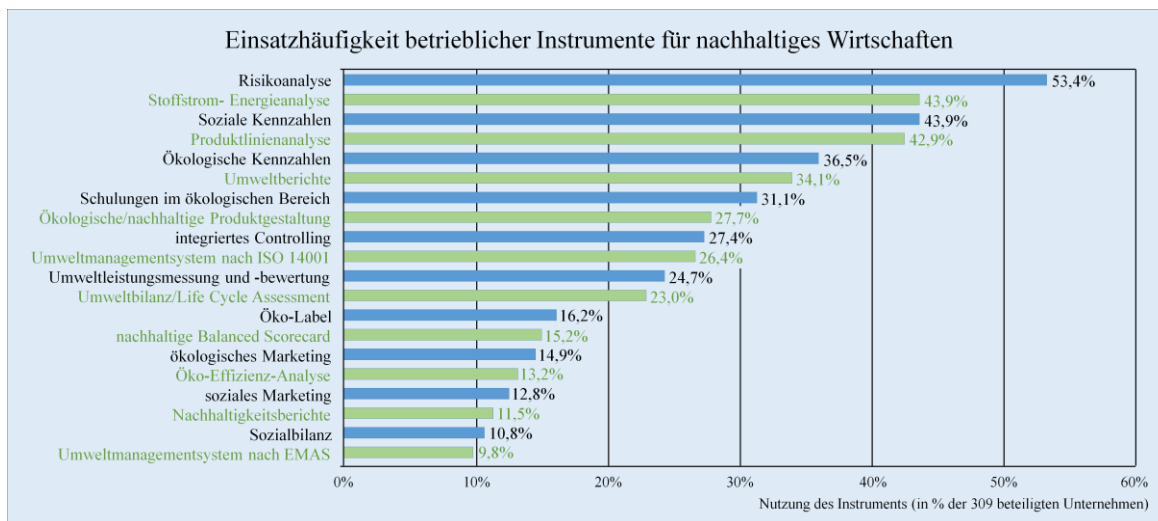


Abbildung 27: Einsatz betrieblicher Nachhaltigkeitsinstrumente [vgl. Biebeler, 2004, S. 31]

Im Jahr 2007 wurde, unter Leitung des BMU, eine Studie zu u.a. obigen (insgesamt 46) Instrumenten und Konzepten durchgeführt. In dieser gehen die Autoren auf 134 Seiten spezifisch auf die Instrumente ein. Dabei werden u.a. Stärken und Schwächen der Instrumente, sowie Nutzungsgrad und Dimensionen thematisiert, siehe [BMU, et al., 2007, S. 49 ff.]¹⁹⁸.

Im Jahr 2010 haben Benoît und Vickery-Niedermann eine Literaturanalyse bzgl. Aufnahme- und Bewertungswerkzeugen für soziale Nachhaltigkeit durchgeführt, in der sie aktuelle Instrumente und Verfahren in ihrer Anwendung und Passgenauigkeit für Szenarien beschreiben, siehe [Benoît & Vickery-Niedermann, 2010, S. 8 ff.].

Im Jahr 2014 hat die Chalmers University of Technology einen Bericht über Nachhaltigkeitsinstrumente und sog. „best practices“ (engl. für bewährte/beste Verfahren) für den

¹⁹⁷ In den letzten 12 Jahren hat es zwangsläufig Anpassungen an der Nutzungshäufigkeitsverteilung gegeben, bspw. kann von einer Verstärkung der Nachhaltigkeitsberichterstattung ausgegangen werden. So sind es bei Rabe von Pappenheim im Jahr 2009 noch 64% der 250 größten internationalen Konzerne die CSR Reporting durchführen [Rabe von Pappenheim, 2009, S. 28], mittlerweile wohl über 90%, wie eine Studie von KPMG aus dem Jahr 2011 nahelegt [KPMG, 2011, S. 8], s. auch die folgenden Quellen und [Widok, 2009, S. 43 ff.].

¹⁹⁸ Beteiligt waren zusätzlich die Leuphana Universität (Lüneburg), das Centre for Sustainability Management (CSM), sowie das Forum nachhaltige Entwicklung der deutschen Wirtschaft (ecosense). Eine Übersicht über die 46 Instrumente, inklusive möglicher Simulationsbezüge ist in Abschnitt 3.2.2.5 zusammengefasst.

Transport-/Logistiksektor veröffentlicht. In diesem werden Instrumente im Lichte praktischer Erfahrungen mit teils neuem Fokus beschrieben, siehe [Furberg, et al., 2014, S. 9 ff.].

Zusätzlich zu den genannten Veröffentlichungen gibt es weitere Literaturüberblicke/Konferenzbeiträge, die sich i.d.R. spezieller mit unterschiedlichen Anwendungsfeldern beschäftigen. Die für die Produktion relevanten Quellen, werden in der Folge noch referenziert.

Auf Basis dieser Vorarbeiten wird sich Abschnitt 3.2.2 darauf konzentrieren die Bezüge zur Simulation zu verdeutlichen und auf Überschneidungspunkte von operationalen Technologien und methodischen Ansätzen mit simulationsgestützter Nachhaltigkeitsoptimierung hinweisen. Für eine Detailbetrachtung der Verfahren wird auf obige Quellen verwiesen, für einen resümierenden Überblick auf Abschnitt 3.2.2.5. Die Instrumente werden folgend in drei Kategorien unterteilt, Rahmenwerke und kennzahlenbasierte Instrumente mit ähnlicher Struktur, Instrumente mit Lebenszyklusbezug sowie Instrumente, die bereits Simulationen nutzen¹⁹⁹. Gleichwohl wird in der Folge viel auf methodische Gemeinsamkeiten verwiesen, weshalb teilweise Instrumente außerhalb ihrer Kategorie erwähnt und besprochen werden.

3.2.2.2 Rahmenwerke und kennzahlenbasierte Instrumente

Der Begriff „Rahmenwerke“ (oder engl. „Frameworks“) wird aufgrund seiner Deutungsvielfalt als Sammelbegriff für sehr unterschiedliche Ansätze genutzt bzw. kann sehr unterschiedliche Ansätze (in seinem Rahmen) zusammenfassen. Im Kontext dieses Kapitels können Ausprägungen wie folgt kategorisiert werden (wobei die Grenzen fließend verlaufen):

- Rahmenwerke, die in ihrer Gesamtheit darauf ausgelegt sind, eine Berechnungsstruktur, bzw. einen Algorithmus vorzugeben, welcher zur Aggregation von Nachhaltigkeitskennzahlen genutzt wird (in der Folge Berechnungsrahmenwerke)²⁰⁰,
- Rahmenwerke, die Tools bereitstellen, die zur Ausnahme, Modellierung oder Verbesserung von Nachhaltigkeitsaspekten genutzt werden (Toolrahmenwerke)²⁰¹,

¹⁹⁹ Zu dieser Kategorien zählen auch Instrumente, deren methodische Ansätze denen der Modellbildung ähneln und deren Untersuchungsobjekte folglich in ein Simulationsmodell überführt werden könnten.

²⁰⁰ Das von Colantonio im Jahr 2009 vorgestellte sog. Social Sustainability Assessment Framework (SSAF) kann als Beispiel für sowohl Berechnungs- als auch methodische Rahmenwerke dienen. Generell wird hier bereits auf die unterschiedlichen Charaktere von Zielen und strategischen Vorgehensweisen, den resultierenden methodischen Ansätzen sowie Indikatoren und Metriken verwiesen. Gleichzeitig liefert es eine Bewertungsstruktur, die einer kennzahlenbasierten Berechnungsmetrik folgt, siehe [Colantonio, 2009, S. 6 ff.]. Ferner kann auch auf das Berechnungsrahmenwerk von Odeh verwiesen werden, der in seiner Dissertation die einzelnen Berechnungsschritte deutlich vorstellt, siehe [Odeh, 2013, S. 134 ff.]. Auch die erwähnten Circles of Sustainability und die meisten UN-indikatorbasierten Ansätze können dieser Kategorie zugeordnet werden.

²⁰¹ Als ein Beispiel einer auf einen einzelnen Ansatz bezogenen Ausprägung (Sensitivitäts-Analyse) und Nachhaltigkeit kann hier exemplarisch auf das Rahmenwerk von Tuner et al. verwiesen werden. Die Autoren gehen hier auch vertieft auf die Makroebene ein, siehe [Tuner, et al., 2003, S. 8076]. In einer eher betrieblich orientierten Perspektive, können die an der HTW Berlin durchgeführten Projekte OpenResKit, RESEFI und MOEBIUS genannt werden, die die Bereitstellung von Softwarewerkzeugen im Kontext der Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes innerhalb eines Rahmens vorgeben. Dabei wurden hauptsächlich (Ressourcen-)Effizienzstrategien unterstützt, allerdings auch der Netzwerkgedanke sowie die mobile Unterstützung der Datenaufnahme, der Modellierung und das Energiemanagement, siehe bspw. [Finkbeiner, et al., 2013, S. 344 ff.], [Krehan & Wohlgemuth, 2013, S. 985 ff.] und [Boß & Wohlgemuth, 2015, S. 239 ff.] für weitere Informationen. Es ist zu beachten, dass der Nachhaltigkeitsbegriff dieser Projekte weit gefasst werden würde. Das impliziert, dass entsprechend der in Abschnitt 3.1.1 thematisierten Aspekte, die ausdifferenzierteren Anwendungskategorien (bspw. Ressourceneffizienz, aber auch Energie, Abfall, etc.) im Kontext einer Strategie der Nachhaltigkeit zusammengefasst und durch übergeordnete Maßnahmen gemanagt/unterstützt werden sollten, andernfalls ist eine anwendungsspezifische Titulierung passender.

- Rahmenwerke, die darauf ausgelegt sind, den Prozess der Werkzeugauswahl zu unterstützen oder andere methodische Aspekte thematisieren, die zur Auswahl der passenden Strategie von Relevanz sind (in der Folge methodische Rahmenwerke)²⁰².

Zu beachten ist zudem, dass „organisatorische“ Rahmenwerke, die darauf ausgelegt sind eine betriebliche, teils informelle Struktur vorzugeben, der dritten Kategorie zugeordnet werden. Dies ist dadurch begründet, dass sie i.d.R. dazu dienen, die Prozesse der Findung oder Durchführung von Nachhaltigkeitsstrategien zu unterstützen (die innerbetriebliche Kommunikation von Strategien spielt hier eine große Rolle). Ferner muss die Grenze zwischen der zweiten und dritten Kategorie oftmals im Laufe der Zeit angepasst werden. Dies liegt daran, dass (besonders in der Forschung, aber auch bei betrieblichen Ansätzen) die Rahmenwerke öfter als Berechnungsstrukturen beginnen und schließlich durch Weiterentwicklung und Hinzunahme von Verfahren zu methodischen oder Toolrahmenwerken ausgebaut werden. In der Literatur sind diesbezüglich viele Assistenzsysteme zu finden²⁰³.

Die Unterstützung dieser Rahmenwerke durch Simulationen kann sich konsequenterweise an den Kategorien orientieren, wobei Toolrahmenwerke und methodische Rahmenwerke prinzipiell zusammengefasst werden können. Für diese sind Simulationsverfahren, meist als ein oder als verschiedene Ansätze vorhanden, die empfohlen oder bereitgestellt werden, um entsprechend der Nachhaltigkeitsstrategie spezifische Sachverhalte mittels Systemanalysen zu untersuchen. Demnach besteht i.d.R. keine methodische Kombination aus Rahmenwerk und Simulation, sondern lediglich der Verweis oder die Bereitstellung der Technologie als Teil einer übergeordneten Strategie²⁰⁴.

Für Berechnungsrahmenwerke, wie auch andere kennzahlenbasierte Berechnungsalgorithmen, kann die Simulation als Analysewerkzeug von „What if-“ und „How to“-Szenarien entsprechend der Ausführungen in Kapitel 2 eingesetzt werden. Dazu muss folglich die Berechnungsstruktur oder Teile davon in ein Simulationsmodell überführt werden. Integrative

²⁰² Ein Beispiel für ein solches Rahmenwerk, mit dem Hauptziel, die Auswahl des geeigneten Instrumentes zu unterstützen, wurde von de Ridder, et al. vorgestellt. Dabei unterteilt er den Auswahlprozess in vier Phasen, um die passgenaue Technologie zu finden [vgl. de Ridder, et al., 2007, S. 423 ff.]. Von den vier Phasen (Problemanalyse, Auffindung und Definition von Optionen, Analyse, Evaluation) kann zudem deduziert werden, dass mögliche Unterstützungssoftware sich per se auch nur einzeln auf den Modellbildungs-, Simulations- und Auswertungsbereich beziehen muss, um bereits einen konkreten Mehrwert an Entscheidungsgrundlagen zu entfalten. Zudem besteht auch die Möglichkeit, den Nutzer mittels Assistenten bei der Problemabgrenzung und somit bei der Vorstufe zur Modellbildung zu unterstützen, allerdings sind solche Systeme selten. Dies würde sozusagen eine softwareseitige Unterstützung der Zieldefinition einer Simulationsstudie, bzw. eine ähnliche Vorgehensweise wie bei der Lebenszyklusanalyse bzgl. der Definition des Geltungsbereiches implizieren. Prinzipiell sind derartige Rahmenwerke jedoch in der Minderheit und werden meist eher als Entscheidungsunterstützungssysteme kategorisiert. Dies kann bspw. auch an einer Veröffentlichung erkannt werden, die ähnlich konkret auf die Auswahl von Indikatorsystemen eingeht, bzw. Kerncharakteristiken von solchen Systemen analysiert, siehe Marchand, et al. [Marchand, et al., 2014, S. 46 ff.]. Dabei analysieren die Autoren ähnlich strukturiert wie bei de Ridder, et al., allerdings wird der Fokus auf die Identifikation von Charakteristiken der Indikatorsysteme/Indikatoren gelegt und nicht darauf eine Struktur zu schaffen, die die Auswahl des richtigen Instrumentes erlaubt (auch wenn die Konsequenz sich ähnlich darstellt, nämlich die Entscheidungsgrundlage für die Auswahl von Instrumenten/Indikatorsystemen zu verbessern).

²⁰³ Siehe bspw. Singh, et al., die einen sehr detaillierten und umfassenden Überblick über Nachhaltigkeitsinstrumente geben und speziell Indikatorsysteme diskutieren [Singh, et al., 2008, S. 189 ff.].

²⁰⁴ Dabei könnte theoretisch auch der Prozess der Auswahl unterstützt werden, allerdings ist dieser Fall im Vergleich zu dem operationalen Charakter der anderen Lösungen vernachlässigbar und entspricht eher nicht-simulationsbezogener Entscheidungsunterstützung. Der Hauptgrund dafür ist, dass das dynamische Systemverhalten hier von keiner Relevanz ist, während dies oftmals die Ursache für den Einsatz von Simulation ist.

Ansätze können hier zu Kombinationen aus Simulationsverfahren und statischen Berechnungsalgorithmen führen, wobei letztere i.d.R. auch einfach mit ins Simulationsmodell aufgenommen werden könnten. Die Überführung von einer Berechnungsstruktur, ohne dynamische Wechselwirkungen, kann zwar in einem weit gefassten Verständnis von Simulation (das Ausprobieren an einem Modell) auch als Simulation bezeichnet werden, wird allerdings (in diesem Bezugsrahmen) oft anders abgegrenzt, siehe auch Kapitel 3.3.

Konsequenterweise kann man die Kombination zwischen kennzahlenbasierten Systemen/Berechnungsrahmenwerken in dem Sinne zusammenfassen, dass sich in Analogie zum Ablauf einer normalen Simulationsstudie ein Ablaufplan ergibt, der marginal abgewandelt ist. Hier käme es zur Definition des Untersuchungszweckes, der Identifikation der dynamischen Komponenten, der Bestimmung des chronologischen Ablaufes (inklusive der Transformationsregeln), der Definition der Schnittstellen zwischen Rahmenwerk und Simulation (und Definition der Berechnungsalgorithmen) sowie anschließend der Simulation und des Abgleichs der Resultate entsprechend des Untersuchungszweckes²⁰⁵.

Um diese Kombination beispielhaft zu verdeutlichen, können in Abb. 28 die oberen Ebenen des CSR-Frameworks von Labuschagne, et al. als statische Aggregationsgrundlage verstanden werden. Hier werden die Ebene 4 Performanzkriterien anhand von Indikatoren der Ebenen 5 und 6 gebildet, wobei diese, aufgrund der Länge, nur angedeutet werden²⁰⁶. Im Hinblick auf die Nachhaltigkeitsstrategie ist zu bestimmen, worauf sich die Simulation beziehen soll, was die dynamischen Systemelemente sind, wie diese simuliert werden können und wie sich die Verbindung von Simulationsergebnissen und dem Rahmenwerk praktisch darstellt. Die wahrscheinlichste Fragestellung ist eine Eruiierung von Simulationsszenarien bzgl. der Einwirkung veränderter Parameter auf die Performanzkriterien der oberen Ebenen.

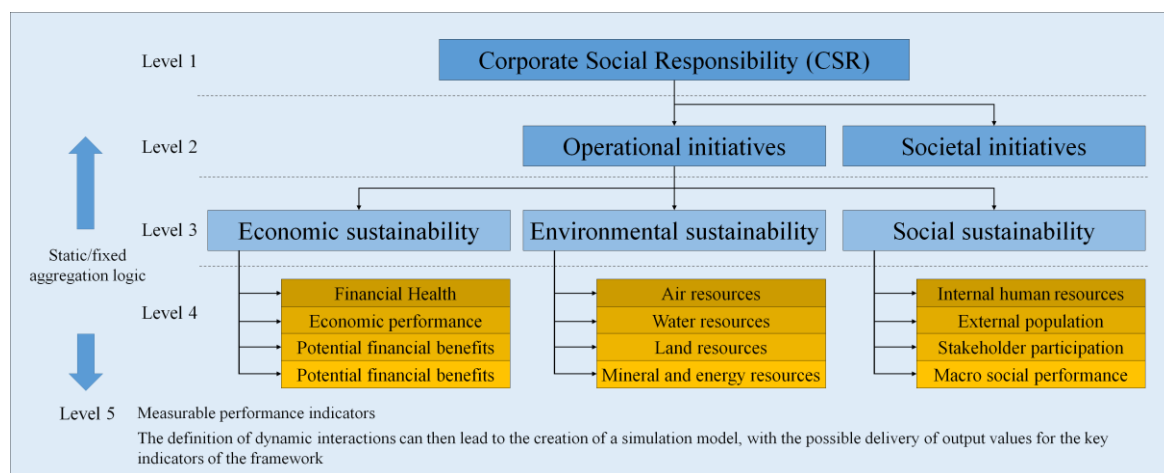


Abbildung 28: Assessment framework of operational initiatives [vgl. Labuschagne, et al., 2007, S. 9]²⁰⁷

²⁰⁵ Siehe bspw. auch Bagheri & Hjorth, die zuerst SD-Simulationen im Bezug zur Nachhaltigkeit von Systemen erstellen und diese mit einem Rahmenwerk verbinden [Bagheri & Hjorth, 2005, S. 280 ff.].

²⁰⁶ Für Berechnungsbeispiele, s. u.a. [Labuschagne, et al., 2007, S. 16 ff.], aber auch in größerem Detail bzgl. der einzelnen Berechnungsschritte und Kompositionsmöglichkeiten Odeh [Odeh, 2013, S. 134 ff.].

²⁰⁷ Die Autoren betiteln es auch als „proposed framework to assess the sustainability of operational initiatives“, zudem ist zu notieren, dass das Framework insgesamt über 6 Ebenen verfügt, wobei die letzten 2 (also die Ebenen 5 und 6) in der Veröffentlichung in größerem Detail erläutert werden, siehe Labuschagne, et al. [Labuschagne, et al., 2007, S. 16 ff.]. Eine ähnliche Grundstruktur (mit 5 Ebenen) ist auch im „Lowell Center for Sustainable Production indicator framework“ zu erkennen, siehe [Veleva & Ellenbeck, 2001, S. 523].

Dies impliziert, dass bspw. eine Produktion, welche Kennzahlen zum Energieverbrauch liefert, die ihrerseits in den Level 4 Indikator für Mineral und Energieressourcen eingehen, modelliert und simuliert werden kann und die Simulationsergebnisse genutzt werden, um die Auswirkungen von Veränderungen in der Produktion auf das Rahmenwerk, bzw. die Kennzahlen der übergeordneten Ebenen zu evaluieren. I.d.R. geschehen diese Prozesse getrennt voneinander, gleichzeitig eröffnen sich in diesem Punkt Forschungsfragen, ob eine technologische Verbindung lohnenswert ist und wie sie praktisch umgesetzt werden kann. Siehe diesbezüglich Kapitel 5.

Im Rahmen nachhaltiger Strategien und bei der Eruierung solcher Szenarien eröffnen sich zudem Fragen nach der Simulationsdauer und Langfristigkeit von Maßnahmen. So müssten bspw. bei der Betrachtung von Landnutzungsaspekten teilweise 20 Jahre in die Betrachtung eingehen, um eine wissenschaftlich abschließende Aussage bzgl. der ökologischen Wirkung treffen zu können. Dies ist im Kontext von Simulationsstudien in der Produktion ein eher langer Zeitrahmen und auch im Bezug von Rahmenwerken kommt es hier voraussichtlich zu einer großen Anzahl von Änderungen, die unbekannt sind. In dem Sinne ist eine Verbindung mit Lebenszyklusanalysen von zusätzlichem Interesse und wird folgend erläutert.

3.2.2.3 Auf Lebenszyklus-Analyse basierende Konzepte

Die Lebenszyklusanalyse (LCA) ist aufgrund des Langfristigkeitsprinzips und des Ganzheitlichkeitsprinzips von besonderem Interesse für die Evaluation der Nachhaltigkeit von betrieblichen Maßnahmen²⁰⁸. Um die Kombinationsmöglichkeiten zwischen Simulationsverfahren und LCA darzustellen, muss kurz auf die Beschaffenheit von LCA Daten eingegangen werden. Diese können für einzelne Prozesse, als auch für Produkte/Teilprodukte, in Form von sog. Datasets vorliegen. Somit können auch unterschiedliche Teile eines Lebenszyklus (einzeln) vorhanden sein. Hinsichtlich der Produktion kann das sowohl für Vor- und Nachketten, als auch für die Produktionsphase selbst gelten. Diese Daten sind i.d.R. bereits aggregiert, inklusive der LCA eigenen Wirkungsabschätzung, sodass sich ein ökologischer Einflussfaktor eines Stoffes/Produktes anhand des Datensets eindeutig zuweisen lässt²⁰⁹.

Die Simulation der unterschiedlichen Teile des Lebenszyklus hat nun den Vorteil (gegenüber der LCA), einerseits das dynamische Verhalten des Systems sichtbar zu machen und andererseits spielerisch Änderungen am System vorzunehmen und Veränderungen somit in ihrer Wirkung begreifbarer zu machen²¹⁰. Die LCA Daten ihrerseits umspannen die einzelnen Phasen und ermöglichen einen ganzheitlichen Blick auf Stoffe/Produkte.

²⁰⁸ Dies spielt hauptsächlich darauf an (wie in Abschnitt 3.2.1.1 ausgeführt wurde), dass Maßnahmen in der Produktion (oder anderen Teilen des Lebenszyklus) zwar positiv bewertet werden können, falls diese allerdings dabei helfen, die Nutzung eines schädlicheren Prozesses zu verlängern, man sie nicht als nachhaltig bezeichnen dürfte (trotz positiver Wirkungen). Die Ganzheitlichkeit impliziert wiederum übergreifende Konzepte, in denen die Produktionsphase nur ein Teil des Lebensweges von Materialien und Produkten ist. Im Kontext nachhaltiger Maßnahmen ist ein Verständnis der Vor- und Nachketten von elementarer Bedeutung.

²⁰⁹ Die Einflussfaktoren werden bspw. in GWP (global warming potential), UBP (Umweltbelastungspunkte) oder einem CO₂-Äquivalent gemessen. Ein Überblick an Tools und Veröffentlichungen, mit Bezug zur Nachhaltigkeit während der Design Phase kann in Ramani, et al. [Ramani, et al., 2010, S. 3-5] gefunden werden.

²¹⁰ Die spielerische Veränderung ist auch in einer LCA möglich, allerdings liegt ihr i.d.R. nicht ein ähnlich parametrisierbares/dynamisches Modell zugrunde, wie es bspw. bei der Produktionssimulation der Fall ist.

Der Vorteil einer Kombination beider Verfahren ist nun, dass sich beide Ansätze logisch ergänzen, ohne sich gegenseitig ihrer positiven Eigenschaften zu berauben (zumindest solange die LCA Daten in ausreichender Qualität und für sowohl Vor- und Nachkette von Lebenszyklusphasen vorliegen). Dies bedeutet, dass die aggregierten Datensets der LCA in Form von genutzten Stoffen oder Teilprodukten in der Simulation genutzt und die Ergebnisse der Simulation mit ihnen verbunden werden können. Dazu muss es zwangsläufig zu einem Daten-Import und der technologischen Zuweisung der Datensets der LCA zu Modellelementen in der Simulation kommen.

Beispielhaft soll hier auf das EcoFactory Projekt der HTW verwiesen werden, in welchem die Produktionsphase mittels der gleichen Software, die auch in dieser Arbeit verwendet wird, in einem Simulationsmodell abgebildet wurde. Zusätzlich wurden LCA Daten mittels eines dafür erstellten Stoffbrowser integriert, siehe u.a. Reinhard, et al. [Reinhard, et al., 2013, S. 532 ff.] oder Widok, et al. [Widok, et al., 2012 (a), S. 264 ff.], [Widok, et al., 2012 (b), S. 7 ff.]. Als Konsequenz des Projektes konnte eine Simulationssoftware entwickelt werden, deren Simulationsergebnisse sich nicht nur auf die Produktionsphase bezogen, sondern die die ökologische Wirkung verschiedener Vorketten, anhand von LCA Daten, mit in die Simulationsergebnisse übertrug. Dies erlaubte nicht nur eine ganzheitlichere Sicht auf die Produkte, sondern auch neue Erkenntnisse über die Wirkung von Veränderungen am Produktionssystem in Referenz zur ökologischen Auswirkung über den Lebensweg.

Darüber hinaus sollte noch notiert werden, dass eine Simulation der unterschiedlichen Phasen eines Lebenszyklus generell möglich ist (und auch teilweise realisiert wird). Das impliziert, dass verschiedene Teile des Lebenszyklus als simulierbare Systeme definiert werden können, was die LCA sinngemäß aufgreift, indem sie unterschiedliche Datensets für verschiedene Teile des Lebenszyklus anbietet/bereitstellt und je nach Parametervariation sich dabei unterschiedliche Kombinationen und entsprechende Endresultate ergeben. Um diese unterschiedlichen Phasen in höherer Auflösung und in ihren dynamischen Auswirkungen zu betrachten, bieten sich wiederum Simulationsstudien an. In dem Sinne, kann eine Verbindung der Verfahren in beide Richtungen erfolgen [vgl. Widok, et al., 2012 (a), S. 267 f.].

Diese beiden Szenarien der Kombination gibt es auch in anderen Dimensionen und können sowohl entwicklungspolitisch als auch auf individuelle Teilsysteme bezogen werden. Als Quintessenz der Kombination kann festgestellt werden, dass sich durch die Integration bereits aggregierter Datensets eine Reihe von zusätzlichen Aussagen treffen lassen können. So kann die Simulation sowohl die LCA unterstützen, in dem Sinne, dass Teilsysteme in größerem Detail und mit unter Bezug der dynamischen Varianz von Ergebnissen verschieden interpretiert und somit verschiedene Ergebnisse auch entsprechend des Impacts auf den Lebenszyklus miteinander verglichen werden können. Ferner kann die LCA die Simulation unterstützen und liefert sog. Rucksäcke an Datenmaterial, die vorher in der Simulation nur mit erheblichen Mehraufwand an Modellierung bzw. Konzeption und Programmierung von Systemen möglich waren²¹¹.

²¹¹ Die Schaffung zusätzlicher Systeme ist auch hier zwangsläufig notwendig, allerdings kann es sich teilweise nur um eine Verrechnung mit einem aggregierten Wert für unterschiedliche Materialien oder Vorkettensets handeln. Daher ist der zusätzliche Aufwand vergleichsweise vernachlässigbar, als beim Anlegen zusätzlicher Strukturen für die Durchführung von LCA's und Verbindungen mit dieser.

3.2.2.4 Nachhaltigkeitsoptimierung durch Simulationsanalysen von Systemen

Um generelle Aussagen bzgl. des Nutzens der Kombination von Simulationsverfahren mit weiteren betrieblichen Instrumenten für nachhaltiges Wirtschaften treffen zu können, werden in der Folge ausgewählte Ansätze angesprochen, um anhand ihrer prägenden Merkmale zusammenfassende Aussagen treffen zu können. Überschneidungspunkte und existierende Ansätze der Verbindung mit Simulationsverfahren²¹² sind demnach u.a. festzustellen bei:

- der Risikoanalyse (in der Literatur oft mit Monte Carlo Simulationen verbunden)²¹³,
- der erwähnten Stoffstromanalyse (die bzgl. der Modellierung und des dynamischen Systemfortschritts Analogien zur ereignisdiskreten Simulation aufweist)²¹⁴,
- Frühaufklärungssystemen (siehe [BMU, 2007, S. 53] für weitere Informationen)²¹⁵,
- der Produktlinienanalyse (wird oft fälschlicherweise mit Öko-Bilanzen/LCA, bzw. der Verbindung mit Sozial-Bilanzen (da dreidimensional) gleichgesetzt)²¹⁶,
- diversen Managementansätzen, mit unterschiedlichen Ausrichtungen, bspw.
 - der Entscheidungsunterstützung beim Umweltmanagement, als auch
 - dem Total Quality Management (TQM, bzw. ökologisch TQEM) oder
 - dem Supply Chain Management²¹⁷.

Von den 46 Konzepten und Verfahren, die vom BMU thematisiert wurden, ist davon auszugehen, dass der Großteil durch Simulationen unterstützt werden kann, allerdings ist diese Unterstützung per se nicht für jedes Instrument sinnvoll/effizient. Daher wird in der folgenden Zusammenfassung eine Einschätzung lohnenswerter Verbindungen gegeben (3.2.2.5).

²¹² Es ist darauf hinzuweisen, dass es hier konkret um Kombinationen mit Simulationsverfahren für die betriebliche Nutzung, inklusive eines Nachhaltigkeitsfokus handelt, und dass einige der aufgezählten Instrumente (bspw. Risikoanalysen) natürlich bereits seit einiger Zeit mit Simulationsverfahren kombiniert werden, allerdings nicht zwangsläufig mit einem Fokus auf Nachhaltigkeitskriterien. Die Liste spiegelt dabei Verfahren wider, zu denen es eine größere Anzahl an Veröffentlichungen mit entsprechenden Kombinationen gibt, erhebt allerdings keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder Betonung der Signifikanz der Verfahren.

²¹³ Zio beschreibt in seinem Fachbuch diverse Anwendungsszenarien/“case studies“ bzgl. der Kombination aus Risikoanalyse und Monte Carlo Simulationen, siehe bspw. [Zio, 2013, S. 92]. Hier kann man eine logische Verbindung zu dem Rahmenwerk von Tuner, et al. aufbauen, um die Adaption der Sensitivitätsanalyse/Risikoanalyse auf Nachhaltigkeitsaspekte zu untermauern, siehe auch [Tuner, et al., 2003, S. 8076].

²¹⁴ Diverse Anwendungsbeispiele sind in Schmidt, et al. [Schmidt, et al., 2009, S. 141 ff.] zu finden, s. auch Lambrecht bzgl. der Verbindung zur Simulation [Lambrecht, 2009, S. 39 ff.], zudem diskutieren Schmidt, et al. auch Operations Research Ansätze zur Kombination mit der Stoffstromanalyse [Schmidt, et al., 2007, S. 271 ff.]. Darüber hinaus wird die Verbindung zwischen Simulation und der Stoffstromanalyse im Detail in der Dissertation von Wohlgemuth behandelt, siehe [Wohlgemuth, 2005, S. 197 ff.] für die technische Ausarbeitung der Software, welche eine Verbindung beider Verfahren in einem Ansatz erlaubt.

²¹⁵ Werden im BMU Bericht mit betrieblicher Nachhaltigkeit und Simulation in Bezug gesetzt. Sinngemäß sind derart Systeme sicherlich weit verbreitet, allerdings begrifflich nicht immer klar determiniert.

²¹⁶ Tatsächlich gibt es zur Verbindung von Produktlinienanalysen (PLA) und der Simulation eher eine geringe Anzahl von Veröffentlichung. Dies kann an drei Faktoren liegen, erstens der impliziten Berücksichtigung sozialer und damit weicher Faktoren, zweitens der per Definition oftmals verbalen Natur von Ergebnissen und drittens der Betrachtung des gesamten Lebenszyklus, was die Erstellung aussagekräftiger Modelle ressourcenintensiver macht. Abgesehen von diesen Problemen sind allerdings auch Parallelen zu anderen Bilanzierungsansätzen deutlich, was generell für eine mögliche Verbindung zur Simulation spricht. Darüber hinaus bieten die Matrixdarstellung der PLA und eben der Ganzheitlichkeitsanspruch interessante Potentiale im Kontext der Verbindung von Nachhaltigkeit und Simulationsverfahren.

²¹⁷ Wie bereits in Abschnitt 2.4.3 angedeutet, kann im Kontext von Lieferketten von einer Verstärkung der Beachtung nachhaltiger Aspekte ausgegangen werden. Im Kontext der Kombination mit Simulationsverfahren ist der große Vorteil, dass Auswirkungen (bspw. des Austausches eines Zulieferers) in ihren Bedeutungen erfassbarer und quantifizierbarer gemacht werden können, siehe bspw. [Chang & Makatsoris, 2001, 24 ff.].

Als Kernkriterium für die Kombinationsmöglichkeit kann prinzipiell die formale Beschreibung einer Problem-/Fragestellung gelten. Generell sind Planungsfragestellungen, die mit konkret messbaren Auswirkungen in der Zukunft verbunden sind, von besonderem Interesse, da sich diese gut mit der Evaluation von verschiedenen Optionen durch die Simulation eruieren lassen. Dies zeigt sich auch an der Häufigkeit von simulationsgestützten Analyseansätzen wie in der vorangegangenen Aufzählung. Risikoanalysen sind generell im Kontext des Untersuchungszweckes herauszustellen, da zwangsläufig Risiken in Relationen zu verschiedenen Entwicklungen eruiert werden sollten. Auch die Kombination von Stoffstromanalysen und Simulationsverfahren wurde bereits verdeutlicht.

In dem Sinne können viele der beschriebenen Nachhaltigkeitsinstrumente, auch wegen der hohen Adaptierbarkeit der Simulation, mit dieser verbunden werden. Foglich bereichert sie die Instrumente um die Aspekte der dynamischen Betrachtung, der „Ausspielbarkeit“ von verschiedenen Szenarien und generell einer Verbesserung der Grundlage betrieblicher Entscheidungen. Hier sind wiederum die Managementansätze zu erwähnen, da es bei ihnen zu iterativen Überprüfungszyklen kommt, in denen Simulationen genutzt werden können, um besser fundierte Entscheidungsgrundlagen für die Maßnahmen des nächsten Zyklus zu erstellen. Zudem ist anzumerken, dass das Langfristigkeitsprinzip in puncto der „tatsächlichen“ Nachhaltigkeit nicht bei allen Instrumenten und Konzepten eine Rolle spielen kann und diese daher in Managementansätze eingebunden werden müssten („kann“ wegen des operationalen Charakters vieler Instrumente). Wie in Abschnitt 3.2.2.1 verdeutlicht, wird vielfach der Term „nachhaltig“ bereits für fokussierte Optimierungsmaßnahmen einzelner Indikatoren genutzt, was den beschriebenen Nachhaltigkeitsprinzipien nicht folgt.

Problematisch sind ferner Ansätze, die über sehr weiche Kriterien verfügen, wie es bei sozialen Aspekten oft der Fall ist, bzw. so wahrgenommen wird. Die schwierigere formale Beschreibung und unsichere Akzeptanz von Modellen auf ihrer Basis, stellen hier sowohl Wissenschaft als auch Wirtschaft noch vor Probleme. Analog dazu heißt es in der BMU Studie zu bspw. PLA: *„Wie im Fall von produktbezogenen Ökobilanzen oder von Sozialbilanzen treten auch bei der PLA Schwierigkeiten im Zusammenhang mit nicht direkt messbaren Kriterien sowie begrenzten Informationsbeschaffungs- und Informationsverarbeitungskapazitäten auf. Diese Probleme werden im Fall der PLA verschärft, da die Komplexität durch die Mehrdimensionalität erhöht wird. Im Bemühen um einen Kompromiss zwischen Komplexität und Praktikabilität kann die PLA unterschiedlich ausgestaltet werden.“* [BMU, 2007, S. 87]. Dieser Ausschnitt weist mehrere wichtige Punkte auf, erstens die erwähnte Schwierigkeit mit schwer messbaren Kriterien, zweitens die Problematik der Mehrdimensionalität, die sich hauptsächlich auf die gemeinsame Betrachtung ökonomischer, ökologischer und sozialer Aspekte bezieht (aber auch auf die Betrachtung verschiedener Ebenen beziehen kann) und drittens die Kernherausforderung einen Mittelweg zwischen Komplexitätsreduktion und Aussagekraft zu finden. Diese drei Aspekte gelten so auch für diese Arbeit. Bzgl. der ersten Schwierigkeit wird das Kapitel 4 soziale Kriterien für die Simulation adressieren und genau abgrenzen. Zuvor erfolgen noch eine Zusammenfassung der Simulationsbezüge der Nachhaltigkeitsinstrumente sowie abschließende Erkenntnisse zu der zweiten Herausforderung (Mehrdimensionalität), indem in Punkt 3.3 der in dieser Arbeit verfolgte Nachhaltigkeitsansatz final determiniert wird.

3.2.2.5 Zusammenfassung

Fachliche Analysen helfen dabei, auf einen Prozess oder ein System zu fokussieren und je nach Analysemethode diese zu untersuchen, ggfs. auch auf Basis der Erkenntnisse zu optimieren. Wie in den vorangegangenen Abschnitten verdeutlicht, kann und erfolgt dies bereits durch Nutzung unterschiedlicher Instrumente, auch nach Nachhaltigkeitskriterien. Allerdings besteht hier eine Kernherausforderung des Managements in puncto der Verbindung fachlicher Analysen mit strategischen Planungen. So impliziert ein optimierter Prozess (auch wenn er hinsichtlich ökonomischer, ökologischer und sozialer Kriterien verbessert wurde) noch nicht zwangsläufig eine nachhaltige Verbesserung des Systems oder eines Um-Systems. Bzgl. der Prüfung, welche Auswirkungen die Veränderung des Prozesses haben kann, sind im besonderen Maße Simulationsverfahren hervorzuheben, denn sie erlauben Folgeuntersuchungen und -abschätzungen betrieblicher Restrukturierungsmaßnahmen.

Zudem erfordern die beschriebenen Strategien der Nachhaltigkeit zur Bewertung von Maßnahmen bereits aggregierte Kennzahlen. Diese Aggregation impliziert ihrerseits zwangsläufig eine andere Informationsebene, als die der Detailindikatoren, die in fachlichen Analysen (bspw. der Stoffstromanalyse) genutzt werden (siehe Abb. 29). Dies bedeutet, dass es bei dem Prozess der Aufbereitung, Verdichtung und Präsentation zu Informationsverlusten kommen kann. Zwar können, bei guter Präsentation, auch neue Erkenntnisse, durch das in Bezugsetzen von Aspekten, erarbeitet werden, allerdings ist Ersteres zwangsläufig durch die Abnahme des Informationsumfanges und Letzteres nur bei korrekter und guter Aufbereitung möglich. Diese unterschiedlichen Untersuchungsrahmen zwischen Strategiestellung im Hinblick auf die Nachhaltigkeit und anwendungsspezifischer Analyse ist eine Kernaufgabe des Managements, die aufgrund der Anforderung eines hohen Fachwissens in verschiedenen Disziplinen betrieblich selten ausreichend ganzheitlich und langfristig geplant als auch umgesetzt wird.

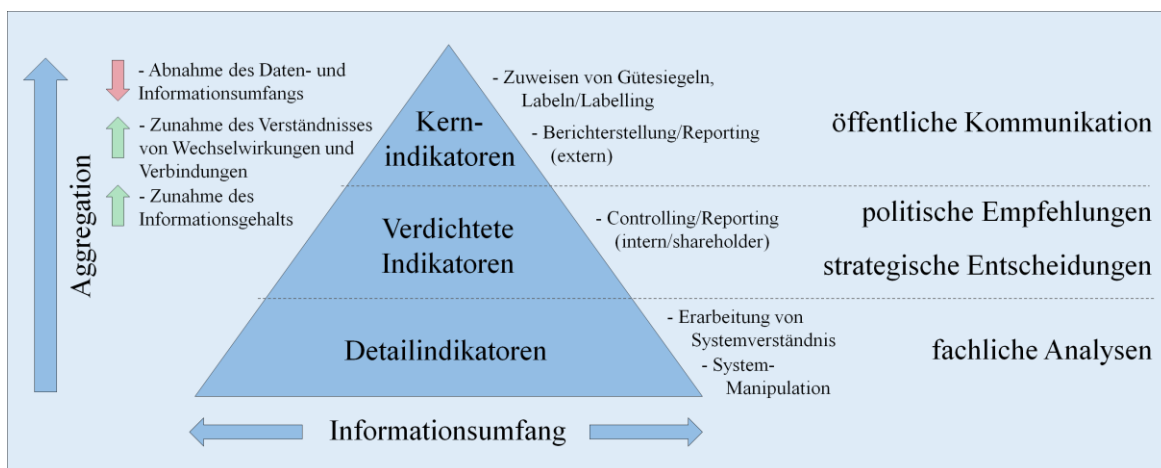


Abbildung 29: Aggregation und Kommunikation [vgl. Kleine, 2009, S. 97], [vgl. Braat, 1991, S. 59]

Einen resümierenden Überblick über betriebliche Instrumente, inklusive einer Einschätzung der Kombinationsmöglichkeiten mit Simulationsverfahren, schließt sich auf der folgenden Seite an, während anschließend die Nachhaltigkeitsbetrachtung, wie sie in dieser Arbeit realisiert wurde, für die funktionale Anforderungsanalyse determiniert wird.

Konzept oder Instrument zur Stärkung betrieblicher Nachhaltigkeit		Möglichkeiten einer lohnenswerten methodischen Verbindung mit der Simulation									
		Hauptanwender (betriebliche Abteilungen)									
		Controlling	Ein- kauf	F&E	Marke- ting/ PR	Perso- nal	Produk- tion	Rechnungs- wesen	Strat. Planung	Vertrieb/ Logistik	
Konzept	BUIS	X	X	X	X		X	X	X	X	X
	Controlling	X				X	X	X			X
	Marketing		X	X	X				X	X	
	Rechnungswesen	X						X	X		
	Sozialmanagementsystem	X	X		X	X	X	X		X	
	Supply Chain Management	X	X		X		X	X	X	X	X
	Sustainability B. Scorecard	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	TQEM	X	X		X	X	X	X	X	X	X
	Umweltmanagementsystem	X	X		X	X	X	X	X	X	X
Instrument	ABC-Analyse	X	X				X				
	Anreizsystem					X					
	Audit	X	X				X	X		X	
	Benchmarking	X		X			X	X		X	
	Bericht	X			X	X		X			
	Budgetierung	X	X				X	X			
	Checkliste	X	X		X		X			X	
	Community Advisory Panel				X		X				
	Cross-Impact-Analyse	X		X					X		X
	Dialoginstrumente	X			X		X		X		
	Emissionszertifikatehandel	X					X	X			
	Employee Volunteering				X	X					
	Env. Shareholder Value	X						X			
	Früherkennung	X		X	X				X		X
	Investitionsrechnung						X	X		X	X
	Kennzahl/Indikator	X			X		X	X	X	X	
	Kostenrechnung	X						X			X
	Label				X						
	Leitbild/-linie	X				X			X		
	Materialflusskostenrechnung	X						X			X
	Materialflussrechnung	X		X			X				X
	Netzwerke	X			X				X		
	Nutzen-Risiko-Dialog				X		X				
	Ökobilanz	X	X				X				X
	Öko-Design			X	X		X				
	Öko-Effizienz-Analyse	X	X				X				X
	Öko-Kompass			X			X				
	Öko-Rating					X		X			
	Produktlinienanalyse	X	X	X			X				X
	Qualitätszirkel		X			X	X			X	
	Risikoanalyse	X					X	X	X		X
	Sozialbilanz				X	X		X	X		
Sponsoring	X			X							
Stakeholder Value					X		X	X			
Stoffstromanalyse	X		X			X				X	
Szenarioanalyse	X		X					X		X	
Vorschlagswesen				X	X	X		X	X		

Tabelle 4: Anwender von Nachhaltigkeitsinstrumenten und Simulationsbezug [vgl. BMU, 2007, S. 5]

3.3 Abgrenzung des Nachhaltigkeitskonzeptes für die Softwareerstellung

3.3.1 Zusammenfassung der Herausforderungen und Probleme

3.3.1.1 Vorbemerkung

Dieser Abschnitt dient als Vorstufe der funktionalen Anforderungsanalyse in Kapitel 5 und somit der Klarstellung, wie Nachhaltigkeit in dieser Arbeit abschließend verstanden und abgegrenzt wird. Die Notwendigkeit dieser Klarstellung ergibt sich aus der Vielfältigkeit der Definitionen und des Interpretationsspielraums. Dazu wird auf die Kernprobleme bei Definition und Abgrenzung von Lösungen eingegangen, um anschließend die methodische Grundlage für die funktionale Konzeption zu präsentieren.

3.3.1.2 Definitionsproblematik

Die folgende Tabelle resümiert kurz und prägnant verschiedene Ansätze der Definitionsfindung der Nachhaltigkeitsbegrifflichkeiten und resümiert die Probleme dieser Definitionen:

Definitionsansatz	Problematik
Brundtland-Definition	Geringe Operationalität (siehe „Nachhaltigkeitsdilemma“ [Hilty & Ruddy, 2010 S. 8] und bzgl. Substituierbarkeit wie auch bei Stärkegraden [Ekins, 2000, S. 72 ff.] und [Neumayer, 2010, S. 34]).
Schützendes Gut, Kapitalansätze, Stärkegrade von Nachhaltigkeit	Teilweise „zu“ starke Orientierung an ökonomischen Strategien/Fundierungen (s. bzgl. Ansatzherkunft [Hauff, 2015, S. 311], [Pezzey & Toman, 2002 (a), S. 21 ff.], [Pezzey & Toman, 2002 (b), S. 180 ff.] und bzgl. technischen Umsetzungen [Möller, 2010, S. 376]).
Nutzenfunktionen und Entwicklungspolitische Indikatoren	Kaum Operationalität im betrieblichen Maßstab, Gefahr der zu starken Abstraktion von Sachverhalten [vgl. Kleine, 2009, S. 70].
Systemtheoretische Ansätze und Ganzheitlichkeitsprinzip	Komplexitätsprobleme, d.h., Explodieren von Lösungsräumen bei komplexen (ganzheitlichen) Modellansätzen, ressourcenintensive Adaption bzgl. der Verankerung in der betrieblichen Praxis.
Langfristigkeitsprinzip	Abschätzungs- und Absehbarkeitsproblematik zukünftiger Bedürfnisse, Ziele und Notwendigkeiten (siehe u.a. [Pretty, 1994, S. 39]).

Tabelle 5: Probleme bei der Definition und Abgrenzung von Nachhaltigkeitsbegrifflichkeiten

3.3.1.3 Zeitneutrale Mess- und Bewertungsproblematik

Im Versuch, die Nachhaltigkeit von Maßnahmen zu bestimmen, folgen zwingend komparative Probleme, d.h., es müssten auch Ansätze miteinander verglichen werden, die mit heutigen Standards keinen eindeutig identifizierbaren gemeinsamen Nenner haben. Dies impliziert, dass bspw. ein Vergleich von zwei Prozessen, wobei der eine sozialer und der andere ökologisch verträglicher wäre, zu Verständnis- oder Akzeptanzproblemen führen kann. Die Aggregation auf eine einzelne Kennzahl, die für einen derartigen Vergleich nötig wäre, wirft ihrerseits mehrere Probleme auf. Erstens suggeriert sie die Vergleichbarkeit, zweitens sind die notwendigen Gewichtungen fachlich umstritten. So ist bspw. nur schon die kategorische Dreiteilung und Gleichgewichtung auf keinerlei substantiellen formalen Modellen entstanden, sondern impliziert mehr den abstrakten gesellschaftlichen Wunsch einer Wahrnehmung verschiedener Aspekte in einer ausgewogenen Balance. Die Gewichtungen der Unterkategorien auf verschiedenen Ebenen haben, zumindest teilweise, ähnliche Probleme.

Um dies an einem überspitzten Beispiel zu verdeutlichen, könnte man die CO₂ Einsparung bei der Herstellung einer Schraube als eine nachhaltige Maßnahme deklarieren. Wenn man dies jedoch mit einer politischen Nachhaltigkeitsentscheidung und -maßnahme, die bspw. den Ausbruch einer Hungersnot in einem Flüchtlingslager verhindert, vergleichen wollen würde, entstehen (u.a. ethische) Rechtfertigungsprobleme²¹⁸. Theoretisch müsste man in diesem Kontext Stärkegrade nachhaltiger Wirkung spezifizieren, hier wiederum sind die Begrifflichkeiten (starke/schwache/Abstufungen von Nachhaltigkeit) mit Konzepten vorbelastet, was ihre Verwendung einschränkt. Ein umfassendes Konzept zur Lösung dieser Problematik konnte in der Fachliteratur nicht ausgemacht werden.

3.3.1.4 Zeitabhängige Mess- und Bewertungsproblematik - Historizität

Prettys Einschätzung der Unabsehbarkeit zukünftiger Bedürfnisse/systemischer Anforderungen ist zumindest teilweise valide, siehe [Pretty, 1994, S. 39]. Tatsächlich braucht die Qualifikation der Nachhaltigkeit von Prozessen eine zeitliche Eingrenzung oder einen Verweis auf einen absehbaren zeitlichen Rahmen. Abb. 30 verdeutlicht eine Veränderung der Bewertung einer Maßnahme über die Zeit an einem Beispiel. Hier ist herauszustellen, dass die u.a. von Thiede und Langer thematisierten Effizienz-, Suffizienz- und Konsistenzstrategien, nach derzeitigem Wissen, Ansätze zur Überwindung von Ressourcenproblematiken darstellen [vgl. Langer, 2011, S. 19 f.], [vgl. Thiede, 2012, S. 3 ff.]. Gleichzeitig ist die Aufteilung auf sie umstritten; in der Wirtschaft werden Effizienzmaßnahmen bevorzugt, da sie oft keine großen Eingriffe in bestehende Systeme darstellen und finanziell rentabel sind. Es könnte sich allerdings herausstellen, dass eben jene Maßnahmen zukünftig nicht mehr als nachhaltig deklariert werden und bereits durchgeführte Maßnahmen rückwirkend als nicht-nachhaltig eingestuft werden. Vielleicht ist mehr Suffizienz zwingend erforderlich²¹⁹.

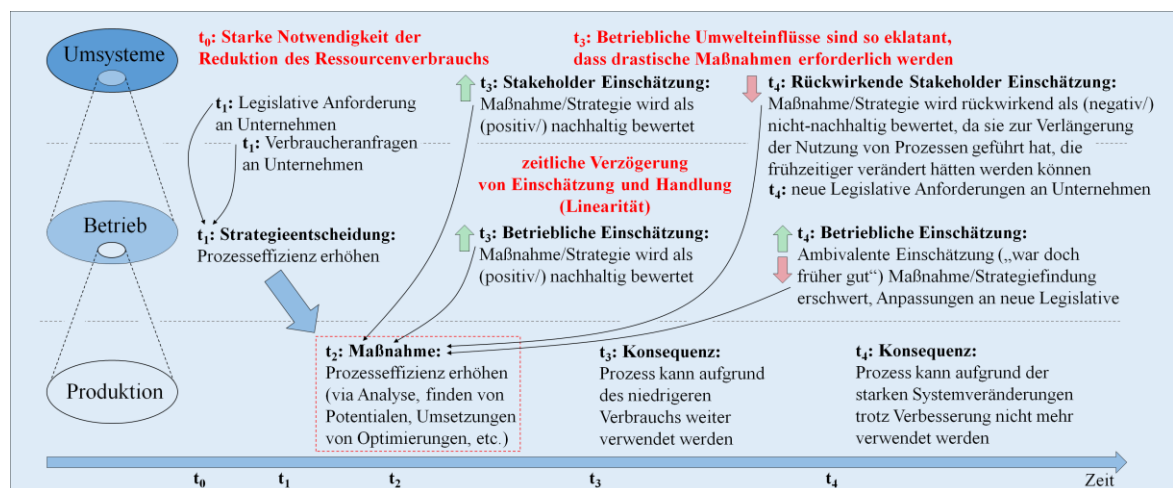


Abbildung 30: Zeitabhängige Bewertungsproblematik der Nachhaltigkeit von Maßnahmen

²¹⁸ Zwangsläufig sind in diesem Kontext passende Vergleichsprozesse nur die, welche als Alternativprozesse im gleichen Kontext genutzt werden können. Das Herunterbrechen auf eine Kennzahl führt jedoch zu einer Vergleichbarkeit von Prozessen und Maßnahmen, die nicht viel miteinander gemein haben, und hier fehlt es bis dato noch an den umfassenden formalen Modellen, die solche Vergleiche erlauben würden.

²¹⁹ Gleichzeitig kann es ebenso sein, dass es zu den revolutionären Technologiesprüngen kommt, die derzeitige Debatten der Ressourcenproblematik relativieren würden (Fusionstechnologie, Energieumwandlung). Hier muss die Wahrscheinlichkeit des Eintritts solcher Entwicklungen genauer quantifiziert werden, sowie die Abschätzbarkeit der Folgen (auch Technologiefolgeabschätzung) und ebenso die Wahrscheinlichkeiten und Auswirkungen für das Ausbleiben dieser Entwicklungen, um verantwortungsvolle Entscheidungen zu treffen.

3.3.1.5 Herausforderungen an die Modellierung und Simulationssysteme

Die Herausforderungen an Modellierung und Simulationssysteme im Bezugsrahmen der betrieblichen Nachhaltigkeit können wie folgt zusammengefasst werden:

- **Komplexitätsprobleme:** Der Versuch alle Verbindungen und Wechselwirkungen zu modellieren, führt zwangsläufig zu Modellen, die derzeit kaum simulierbar, bzw. nur unter riesigem Aufwand behandelbar sind. Konsequenterweise muss es Einschränkungen geben, bspw. Ansätze zur Nutzung bestehender Datensätze, die als aggregierte Kennzahlen von Prozessschritten genutzt werden können (LCA).
- **Modellierungsaufwand:** Die Schwierigkeit manifestiert sich ähnlich wie bei Komplexitätsproblemen, allerdings kommt hinzu, dass Systeme zur vereinfachten Datenaufnahme und schnelleren Modellierung benötigt werden, die die Abstraktion und Parametrisierung ermöglichen, ohne elementaren Informationsverlust zu bedingen.
- **Ressourcenintensivität:** Die Modellierung sowie die Datenaufnahme und auch die Simulation selbst verursachen an mehreren betrieblichen und außerbetrieblichen Stellen zusätzliche Kosten, bspw. in Form von notwendigem Kapital, bzw. durch die Bindung von Humanressourcen. Diese Kosten können durch Softwaresysteme zumindest reduziert werden. Zudem braucht es zukünftig möglicherweise verstärkt Anreizsysteme in Form von Ausgleichszahlungen (oder legislative Änderungen).
- **Fachwissen und Anreiz:** Die Datenaufnahme, die Modellierung, die Entwicklung von methodischen Bewertungsmechanismen, die Bereitstellung und Wartung von IT-Systemen, die Strategieentscheidungen, u.v.m., brauchen jeweils Fachpersonal für eine qualifizierte Einschätzung und Durchführung der notwendigen Arbeiten. Dies ist i.d.R. für KMU kaum ohne Zuschüsse zu leisten und i.d.R. auch nicht im direkten Aufmerksamkeitsfokus, was wiederum dazu führen kann, dass größere Änderungen nur schleppend durchgeführt werden (zu wenig Anreiz/Bedarf/Druck).
- **Soziale/weiche Faktoren:** Eine große Fülle von sozialen Faktoren werden zwar in der betrieblichen Praxis wahrgenommen und teilweise auch gemanagt, allerdings ist eine formale Beschreibung und resultierende Modellierung und Simulation entsprechender Wirkungen bis dato noch die absolute Ausnahme. Selbst bereits einigermaßen etablierte Aspekte, bspw. Arbeitsschutzwissenschaftliche Erkenntnisse sind in Simulationslösungen kaum vertreten. Die Kombination arbeitsmedizinischer und psychologischer Wirkungen mit Simulationstechnik und möglicherweise Produktionssimulation braucht ihrerseits Fachpersonal aus verschiedenen Disziplinen, welche in der Praxis selten in ähnlich interdisziplinären Projekten zusammenkommen. Hier braucht es neue Ansätze des Austausches und der gesellschaftlichen Forschung.
- **Akzeptanzprobleme:** Für den Fall, dass derartige (umfassende soziale) Lösungen gelingen würden, besteht ein Akzeptanzproblem bzgl. technischer Lösungen, die humane Aspekte thematisieren. I.d.R. besteht ein, teils berechtigter, Argwohn gegenüber dem Management sozialer Faktoren mittels computergestützter Analysen. Dem muss durch eine erhöhte Transparenz von Bewertungsstrukturen und Kommunikation von Gründen für etwaige Einschätzungen entgegengetreten werden, um so eine gemeinschaftlich akzeptierte Basis für Veränderungen zu schaffen.

3.3.2 Verfolgter Ansatz zur Bewertung von betrieblicher Nachhaltigkeit

3.3.2.1 Abschließende Definitionsbestimmung

Wie Hilty und Ruddy sehr deutlich beschrieben haben, ist die Brundtland-Definition aufgrund des Nachhaltigkeitsdilemmas (d.h. der Integration von inter- und intragenerationaler Gerechtigkeit) operational eher unwirksam [vgl. Hilty & Ruddy, 2010, S. 8 ff.]. Kapitalansätze haben sich derweil in angewandten Lösungsansätzen etabliert und determinieren den operationalen Term „nachhaltig“, somit als mehrdimensionales zusammengesetztes Konstrukt, welches zu einer dimensionsübergreifenden Bewertung von (System- und/oder Prozess-Veränderungs-) Maßnahmen genutzt werden kann. Für diese Arbeit wird abschließend von einer Trennung auf die Dimensionen Ökonomie, Ökologie und Soziales ausgegangen.

Für die Bewertung erfolgt ein Abgleich von i.d.R. mindestens zweier zu vergleichender Prozesse/Ansätze, bzw. sie identifizierender Kennzahlen, die Wirkungen auf die zugrundeliegenden Kapitalstöcke entfalten. Zur abschließenden Bewertung braucht es normative Werte, die im Hinblick auf die von u.a. Pufé thematisierten Prinzipien [Pufé, 2012, S. 28 f.] und die von u.a. Thiede und Langer postulierten Strategien [Langer, 2011, S. 19 f.], [Thiede, 2012, S. 3 f.] im Vorfeld einer Bewertung von Ergebnissen eruiert werden müssen²²⁰.

Gleichzeitig braucht es eine formale Beschreibung, bzw. Metrik, bzgl. der Komparativen und Superlativen des Begriffes „Nachhaltig“, wie bspw. McElroy, et al. in unterschiedlichen Publikationen thematisieren, siehe z.B. [McElroy, et al., 2007, S. 6 ff.].

Der Term Nachhaltigkeit entspricht analog der Absicht, Veränderungen obigen Ausführungen entsprechend zu gestalten. Zudem verkörpert er das generelle Bestreben nach „gesunder“ Balance zwischen den Dimensionen als auch intragenerationeller Verteilungsgerechtigkeit und intergenerationeller Chancengleichheit, welche kontinuierlich zu fördern sind²²¹.

3.3.2.2 Ebenenprinzip, Systemtheorie, Ganzheitlichkeit

Nachhaltigkeit kann nur durch die Definition und Quantifizierung der Austauschbeziehungen zwischen komplexen Systemen verstanden werden. Wenn diese unbeachtet bleiben, ist eine Nachhaltigkeitsqualifizierung nur Spekulation. Positive wie negative Wirkungen sind begrenzt definier- und zurechenbar. Langfristige Aussagen können mit Hinweisen/Modellen hinsichtlich ihrer Aussagekraft und Wahrscheinlichkeit versehen werden, bleiben aber auf Basis vieler Unbekannten schwierig bis unmöglich im Vorfeld zu validieren. Nach Kapitalansätzen kann die Ganzheitlichkeit/Aussagekraft eines Ansatzes als Bruch verstanden werden, der die Anzahl von genutzten Indikator-Gewichtungs-Kombinationen zur Erhebung des Sachverhaltes durch die Anzahl der möglichen/notwendigen Kombinationen teilt.

²²⁰ Ein Abgleich nur eines Prozesses mit normativen Werten ist auch möglich, die Gesamtheit der normativen Werte entspricht aber sinngemäß einem Abbild der den Prozess definierenden Kennzahlen.

²²¹ Dies folgert entweder große technologische und/oder gesellschaftliche Fortschritte (Effizienz-/Konsistenzmaßnahmen) oder Umstrukturierungen von Wirtschaft und Gesellschaft hinsichtlich Suffizienzstrategien. Zudem sollten Detailmaßnahmen und –analysen, die sich auf wenige Indikatoren, ohne ganzheitlichen Anspruch oder langfristige Auswirkungsabschätzungen beziehen, nicht nachhaltig benannt werden, sondern vielmehr als „ökologisch/sozial oder ökonomisch verträglich/optimiert“ betitelt werden (oder noch spezifischer, in Abhängigkeit vom Anwendungskontext).

3.3.2.3 Ausdifferenzierung des Kapitalansatzes und Indikatorbildung

Im Vergleich zweier ähnlicher Prozesse ist die kapitalbasierte Aggregation von Kennzahlen valide, solange die Nenner miteinander vergleichbar sind. Umrechnungen, wie bspw. in der ökologischen Perspektive auf CO₂-Äquivalente sind wissenschaftlich etabliert (wenn auch nicht ganz unumstritten), allerdings können nicht alle Wirkungen derart ausgedrückt werden, sodass es teilweise, bspw. bei Einflüssen stark schädlicher Stoffe, zu differenzierteren Schadensanalysen kommen muss. Die Umweltbelastungspunkte (UBP) können hier als beispielhaftes Verfahren genannt werden, welches in der Konzeption noch aufgegriffen wird.

Prinzipiell richten sich die Indikatoren nach dem Untersuchungszweck und dem Anwendungsfeld. Angestrebt wird eine Bewertung in allen drei Nachhaltigkeitsdimensionen, wobei die Dreiteilung beibehalten wird. Eine Aufschlüsselung und genauere Betrachtung von Kategorien und Unterkategorien erfolgt in Kapitel 4, 5 und 7, bzgl. des Zusammenspiels von Naturkapital und Sozialem Kapital siehe auch Roseland [Roseland, 2000, S. 78].

3.3.2.4 Parameterabgrenzung und Bewertung

Die Parameterbestimmung ergibt sich den Indikatoren folgend aus drei Faktoren: erstens aus dem Untersuchungszweck, zweitens aus dem Realsystem und drittens aus den Modellierungsmöglichkeiten der genutzten Software. Hier kann es teilweise zu Einschränkungen oder softwareseitiger/modellierungstechnischer Abstraktion von realen Prozessen kommen.

Zudem ergibt sich aus der mehrfach thematisierten Notwendigkeit Fachpersonal einzubinden ein zwingender Dialog bzgl. der Parameterbestimmung, auch wenn bereits ein Rahmenwerk vorliegen sollte. Dies gilt sowohl für Maschinen, ihre Funktionsweise, ihre Verbräuche, als auch für soziale Aspekte wie bspw. arbeitsmedizinische Auswirkungen. Dem folgt darüber hinaus, dass mögliche Software eine relativ freie Definition von Indikatoren erlauben muss, was in Kapitel 5 weiter ausgeführt werden wird. Die Bewertung von Simulationsergebnissen im Kontext der Nachhaltigkeit obliegt ähnlichen Anforderungen an die Einbindung von Fachpersonal.

3.3.2.5 Simulation, Optimierung und Management

Generell kann die Simulation zur Unterstützung von Optimierungsansätzen in der Produktion genutzt werden; im Bezug zu nachhaltigen Strategien muss aber ein Zusatz gemacht werden. So ist die Verbesserung einzelner Kennzahlen zwar i.d.R. bereits ein positives Ergebnis, allerdings nicht ausreichend zur Qualifikation einer nachhaltigen Maßnahme. Hier besteht die beschriebene Notwendigkeit der Einbindung der Simulation in einen iterativen Managementprozess, andernfalls handelt es sich lediglich um ökologische oder soziale Verbesserungen von Teilprozessen und sollte auch nur derart oder noch spezifischer deklariert werden [vgl. Widok & Wohlgemuth, 2013, S. 518].

3.3.2.6 Soziale Seite der Nachhaltigkeit

Die soziale Seite der Nachhaltigkeit obliegt noch stärkerer Definitionsschwankungen und sehr verschiedener Ansätze der Aufnahme, Bewertung und des Managements. Um diese Schwierigkeit greifbarer zu machen, schließt sich in Kapitel 4 eine detaillierte Analyse an.

4 Integration des Sozialen in die Simulation von Produktionsbetrieben

4.1 Definitionen und Abgrenzung sozialer Nachhaltigkeit

4.1.1 Einführung

4.1.1.1 Zur Notwendigkeit der Detailbetrachtung des Sozialen

Es existieren nachvollziehbare Gründe dafür, dass soziale Nachhaltigkeit in seiner formalen Betrachtung hinter der ökonomischen und der ökologischen Dimension zurückliegt. Dazu gehören in erster Linie die immaterielle Natur des Sozialen und die damit einhergehende Schwierigkeit einer Messung/Überprüfung von Daten, während gleichzeitig die Notwendigkeit besteht, eine kritische Masse an Individuen bzgl. Interaktion und Wirkungen auf sie zu befragen oder statistisch auszuwerten. Die Feststellung von Wirkungen auf Basis von Statistiken offenbart zudem Schwächen bzgl. der falschen Interpretation von Korrelationen sowie kausalen Rangfolgen, die ihrerseits dazu führen, dass Ergebnisse nicht eindeutig und unmissverständlich sind. Befragungen haben ihrerseits multiple sozialwissenschaftlich definierte Schwachstellen. Trotz dieser Schwierigkeiten, die in der Folge ausführlicher dargestellt werden²²², gibt es aber auch gute Gründe, warum soziale Aspekte, auch bei der Produktionssimulation, stärker in den Fokus gerückt werden sollten. Einige Argumente hierfür wurden in der Einführung erwähnt, zusammengefasst bezogen sich diese auf:

- die Gefährdung von Menschen und sozialen Strukturen durch ihre Nichtbeachtung (mit Folgen wie Verletzungen, Krankheit, Produktivitätsverlust, u.v.m.),
- die generelle (hauptsächlich ethisch, aber auch wirtschaftlich motivierte) Stärkung unternehmerischer Nachhaltigkeitsansätze, die das Soziale miteinbeziehen,
- die generell geringe Verbreitung von Softwarelösungen für soziale Bereiche,
 - die kaum existierende softwaretechnische Unterstützung der Betrachtung und des Managements von innerbetrieblichen sozialen Wechselwirkungen,
- die Verbesserung der Steuerungsfunktion von Kunden (für den Fall, dass eine Kennzeichnungen von Produkten durch verbesserte Ansätze möglich wird).

Zusätzlich zu diesen Punkten kann als Kernargument für eine genauere Betrachtung sozialer Aspekte, auf die Notwendigkeit der gesellschaftlichen und innerbetrieblichen Akzeptanzbildung für die Unterstützung von Transformationsprozessen verwiesen werden²²³. Badura,

²²² Probleme und Herausforderungen bei der Definition sozialer Nachhaltigkeit und sozialen Kapitals werden in Abschnitt 4.1.2 im Detail erläutert. Dem schließen sich Vorschläge an, die diese Probleme thematisieren.

²²³ Auch das BMBF greift diese Idee auf, indem es aktuell (2015) die sozio-ökologische Forschung (oder auch gesellschaftsbezogene Nachhaltigkeitsforschung) verstärkt und schreibt als eine Motivation dafür: „Die großen gesellschaftlichen Herausforderungen und die damit verbundenen grundlegenden technischen und sozialen Innovationen können nur dann bewältigt werden, wenn Lösungsstrategien unter Einbindung aller gesellschaftlicher Gruppen auf solider wissenschaftlicher Grundlage entwickelt und umgesetzt werden. Notwendig ist neben dem Wissen über empirische Sachverhalte, Systemdynamiken und Wechselbeziehungen (Systemwissen) auch die Untersuchung von Werten und Normen, um Veränderungsbedarf sowie erwünschte Ziele begründen zu können (Ziel- oder Orientierungswissen). Schließlich wird auch Wissen darüber benötigt, wie diese Ziele zu erreichen sind (Transformations- oder Entscheidungswissen).“ [BMBF, 2015, S. 4].

et al. schreiben dazu (im Bezugsrahmen einer betrieblichen Gesundheitspolitik): „*Schwinden (...) Respekt und Gemeinsamkeiten im Denken, Fühlen und Handeln, werden (...) Organisationen nur noch durch Zwang und Geld zusammengehalten*“. Dem folgend „*entwickeln sie sich zu Risikofaktoren für ihre Mitglieder. Es häufen sich Missverständnisse, Beziehungskonflikte und Fehler. Es sinkt die Fähigkeit zum Umgang mit Herausforderungen. Es sinkt ihre Lern- und Leistungsfähigkeit. Es leiden Gesundheit und Loyalität. Genau dies glauben Experten gegenwärtig in der Arbeitswelt hochentwickelter Gesellschaften beobachten zu können (z.B. O’Toole & Lawler 2006), weil Unternehmen immer häufiger wie Geldmaschinen und immer seltener wie Produktionsgemeinschaften geführt werden.*“ [vgl. Badura, et al., 2010 (b), S. 63]. Das zugrundeliegende Prinzip dieser eher gruppendynamischen, betrieblich/organisatorischen Ausführung ist ebenso gesellschaftlich adaptierbar. Es verdeutlicht, dass anstehende Transformationsprozesse sowohl auf der Makro- als auch der Mesoebene durch soziale Maßnahmen oder zumindest durch überlegte Kommunikationsstrategien begleitet werden müssen, da es andernfalls zu fehlender Akzeptanzbildung und den oben beschriebenen (und weiteren) möglichen negativen Wirkungen kommen kann.

Deduktiv schließt sich an, dass auch das Nachhaltigkeitsverständnis von Individuen Einfluss auf die Durchsetzung und die Güte der Auswirkung von Maßnahmen hat²²⁴, da dieses die gemeinsame ideelle Basis für nachhaltige Entscheidungen darstellt. Dubielzig zitiert hier Nef mit der Aussage: „*Sozial ist ein gesellschaftsbezogenes Verhalten, welches als intelligente und langfristig angelegte Form des Egoismus letztlich sowohl dem Individuum als auch der Gemeinschaft dienlich ist*“ [Nef, 1998, S. 11], [vgl. Dubielzig, 2009, S. 13]²²⁵. Hierdurch wird der Bezug zwischen individuellem Handeln und einer auf unterschiedlichen Ebenen der Gesellschaft verankerten Erwartungshaltung zum Handeln des Individuums erklärt, da nach dieser Feststellung, sozial orientiertes Handeln einen beidseitigen positiven Gegenwert haben sollte. Die Projektion des Gegenwertes steht allerdings in Konkurrenz zu rein egoistischem Verhalten, dessen Erwartungswert, besonders in kapitalorientierten Ideologien, oft höher eingeschätzt wird, weshalb es oft zu „unsozialen“ Entscheidungen kommt.

²²⁴ Diese prinzipiell einfach zu verstehenden Deduktionen haben darüber hinaus klare Bezüge zum systemtheoretischen Verständnis des „Herunterreichens“ von systemerhaltenden Anforderungen an Subsysteme, wobei Individuen hier als Systemelemente eines unteren oder des untersten Subsystems interpretiert werden können. Ferner, da das Nachhaltigkeitsverständnis von Individuen kulturell und regional beeinflusst ist, können teilweise überregionale, aber auch innerbetriebliche Konflikte bei der Verständigung auf, bzw. der Entscheidung für Maßnahmen, auf die unterschiedlichen Wahrnehmungen von Bedürfnissen zurückgeführt werden. Diese sind i.d.R. nicht der Hauptgrund, können sich allerdings dazu entwickeln oder andere verstärken.

²²⁵ Dabei bleibt dem Individuum bei der Bewertung seines eigenen Verhaltens logischerweise die Frage, welche Aktion einen positiven sog. Return on Investment (ROI) hätte, also sich lohnen würde (aus egoistischer Hinsicht) und welche Aktionen eher altruistisch zu bewerten sind. Das langfristige Lohnen kann wiederum auch mit nachhaltig übersetzt werden, nur das hier die Trennung zwischen dem Systemelement Individuum und seinen Umsystemen (bspw. Gesellschaft, Ökosystem) gemacht wird. Hier ist festzuhalten, dass die begriffliche Umschreibung, die von Nef genutzt wird, speziell mit dem Wort „Egoismus“, durchaus umstritten ist und verschiedene Autoren hier weitere Abstufungen zwischen philanthropischen, altruistischen und egoistischen Verhaltensmustern machen (bspw. in Badura, et al [Badura, et al., 2010 (b), S. 62]). So können bspw. Aktionen, die den eigenen Nächsten helfen, dem Individuum aber nur durch die Freude anderer, sowohl als altruistisch, also auch als egoistisch eingeordnet werden, wobei der Bewusstseinszustand des ausführenden Individuums, im Moment der Entscheidung für die Handlung, als entscheidender Faktor für die Einteilung gelten müsste. Oft sind jedoch unterbewusste Wirkungen im Spiel, die nur schwer, gar nicht oder nur rückwirkend festzustellen sind. Das Prinzip des Zusammenspiels aus Erwartung und Bewertung der individuellen Handlungen kann, davon abgesehen, allerdings als gemeingültig angesehen werden, wobei wiederum externe Einflussfaktoren (wie bspw. Kultur) zu unterschiedlichen Ausprägungen führen, siehe auch Punkt 4.1.2.

Eine Detailbetrachtung des Sozialen und die Stärkung sozialer Instrumente hat daher nicht nur den Zweck operationale Lösungen zu entwerfen, sondern auch die Sensibilisierung und die Verankerung von sozialen Prinzipien in Individuen voranzutreiben, um deren Bewertungsgrundlage zur Entscheidungsfindung nachhaltig in Richtung gemeinschaftlichem und verantwortungsbewusstem Handeln zu verändern²²⁶. Dies impliziert auch, dass die bereits stärker instrumentell angegangenen Fragen des betrieblichen Umweltschutzes (und weitere Nachhaltigkeitsansätze) von einer erhöhten Inkorporation sozialer Aspekte profitieren können²²⁷, da u.a. die gemeinsame ideelle Basis gestärkt wird. Das Kernproblem ist jedoch nach wie vor, etwaige positive und negative Wirkungen in Zahlen ausdrücken zu können. Dafür müssen Lösungen erarbeitet werden, um ein verbessertes Systemverständnis auch im sozialen Bereich zu erlangen und genau dort setzt die in dieser Arbeit präsentierte Lösung an.

Auf Grundlage dieser relativ unterschiedlichen Motivationen²²⁸ und resultierenden Anforderungen wird sich das folgende Kapitel darauf konzentrieren, eine breite inhaltliche Basis für das Verständnis der sozialen Seite der Nachhaltigkeit zu bilden, um folgend für die Simulation von Produktionsbetrieben einen Ansatz zu entwickeln, der alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit integrativ einbeziehen kann. Aufgrund der Komplexität der Thematik, die u.a. arbeitsmedizinische, neurobiologische sowie organisationswissenschaftliche Zusammenhänge mit einbezieht, muss ferner im Anwendungskontext stark abstrahiert werden. Dies impliziert, dass bzgl. der Detailbetrachtung vieler Wechselwirkungen konsequent auf Quellen verwiesen wird, die sich spezifischer mit Ansätzen und Instrumenten auseinandersetzen. Zudem impliziert es, dass der eigene Ansatz nur an sehr spezifischen sozialen Kriterien getestet wird. Die genauen Kriterien werden in Kapitel 7 thematisiert. Gleichzeitig wird ein Konzept erstellt und realisiert, mit dem diverse soziale Aspekte modelliert und simuliert werden können, die über die demonstrierten Beispiele hinausgehen.

Um eine Grundlage für die Folge zu determinieren, wird im Anschluss eine einleitende Begriffsbestimmung erfolgen. Dem schließen sich die Hauptunterschiede zwischen der sozialen Dimension und der ökonomischen/ökologischen an sowie die Detailbetrachtung der Definitionen, bzw. dessen, was als „sozial“ definiert wird. In Abschnitt 4.2 wird auf existierende betriebliche Ansätze des Managements sozialer Aspekte eingegangen, um Überschneidungspunkte und Differenzierungsmerkmale des hier verfolgten Ansatzes zu bestimmen und Hinweise auf Formalisierungen sozialer Kriterien zu geben. Letztlich wird in Abschnitt 4.3 der eigene Ansatz gegen bestehende abgegrenzt und zur Konzeption übergeleitet.

²²⁶ Ähnlich formuliert das BMBF (s. S. 100) und bzgl. Wissen, das „zur Veränderung von Verhaltensweisen und Normen beitragen“ kann, Langer [vgl. Langer, 2011, S. 21], [vgl. Enquete-Kommission, 1998, S. 373].

²²⁷ Man könnte auch schärfer argumentieren und formulieren, dass ohne soziale Anstrengungen bspw. in den Bereichen Bildung, Aufklärung aber auch Ausgleichssysteme, die nötigen Umweltmaßnahmen langfristig nicht durchzusetzen sind. Autorin Pinzler bezieht sich in diesem Kontext bspw. auf die sog. new economics foundation (nef) und greift deren Kernaussage sinngemäß auf; sie formuliert: „Umweltschutz, so sind sie sich heute sicher, lässt sich nur dauerhaft durchsetzen, wenn die Menschen ihn verstehen und darin auch einen Vorteil sehen. Deswegen begannen die nef-Forscher immer stärker über die Grundbedingungen eines guten Lebens, sprich über Sozialpolitik, Verteilung und Gerechtigkeit, nachzudenken“ [Pinzler, 2011, S. 221].

²²⁸ Zzgl. zu den hier eher gesellschaftlich motivierten Aspekten kommen noch klar wirtschaftliche Motivationen hinzu. So werden „Planungen von Fertigungssystemen (...) häufig ohne Berücksichtigung des Personals durchgeführt. Das Personal wird meist erst im Anschluss durch eine überschlägige Berechnung des Personalbedarfs geplant“ [vgl. Müller, et al., 2013, S. 326]. Daraus ergibt sich eine Möglichkeit der Nutzung der Simulation zur Entscheidungsunterstützung, wie sie bspw. in Zülch & Stock [Zülch & Stock, 2010, S. 1 ff.] und Zülch, et al. [Zülch et al., 1994, S. 269 ff.] thematisiert wird [vgl. Müller, et al., 2013, S. 326 f.].

4.1.1.2 Einleitende begriffliche Abgrenzung

Zur Beschreibung von sozialen Aspekten werden viele sich ähnelnde Begriffe genutzt, die teilweise Deckungsgleichheit suggerieren. Einleitend kann wie folgt abgegrenzt werden:

Unternehmerische Gesellschaftsverantwortung, engl. **Corporate Social Responsibility (CSR)**, wird von der EU als Konzept eingeordnet, auf dessen (freiwilliger) Basis soziale Belange von Unternehmen adressiert und in Wechselwirkungen mit Stakeholder gesetzt werden können²²⁹. Oft wird auch der Begriff unternehmerischer Nachhaltigkeit, engl. **Corporate Sustainability (CS)**, synonym verwendet [vgl. Rabe von Pappenheim, 2009, S. 24]. Dabei sind CSR-Maßnahmen als Ermöglicher (engl. enabler) von Nachhaltigkeit einzuordnen. Gesellschaftliches Engagement von Unternehmen, engl. **Corporate Citizenship (CC)**, sind gemeinwohlorientierte betriebliche Aktivitäten, wie bspw. Spenden. Zudem kann der deutsche Verantwortungsbegriff auch mit der Begriffsfolge „**Corporate Responsibility**“ (**CR**) übersetzt werden, welche zumeist als Oberbegriff genutzt wird, um CSR- und CC-Ansätze zu verbinden [vgl. Rabe von Pappenheim, 2009, S. 24], s. Ausführungen in Abschnitt 4.2.2.6. **Soziale Verantwortung (SV)** wird zudem oft fälschlicherweise mit CSR, also mit betrieblichem Wirken, gleichgesetzt, ist aber genereller, als gesellschaftliches Prinzip, zu verstehen und geht über die Verantwortungen unternehmerischen Wirkens hinaus.

Soziales Kapital, engl. **Social Capital (SC)**, entspricht der Anwendung von Kapitaltheorieansätzen auf die soziale Dimension. Es hat sehr unterschiedliche Definitionen und Ausprägungen, s. Abschnitt 4.1.3.3 für weitere Details²³⁰. Soziale Nachhaltigkeit, engl. **Social Sustainability (SS)**, wurde in Kap. 3 bereits eingeführt. Als ein Differenzierungsmerkmal zu sozialem Kapital können Instrumente und Maßnahmen als Bestandteile von Strategien thematisiert und mit dem Adjektiv qualifiziert werden²³¹. Soziale Lebenszyklusanalyse, engl. **Social Life Cycle Assessment (S-LCA)**, ist ein Verfahren zur Analyse sozialer Wirkungen über den Lebenszyklus (i.d.R. von Produkten oder bzgl. Prozessen), bspw. werden Kinderarbeit oder Arbeitsbedingungen betrachtet und Untersuchungsobjekten zugewiesen.

²²⁹ Dabei werden Umweltanstrengungen i.d.R. auch einbezogen, was dazu führt, dass CSR oftmals mit unternehmerischen Nachhaltigkeitsanstrengungen gleichgesetzt wird. Allerdings hat die EU mit ihrer neuen Richtlinie klare (verbindliche) Anforderungen formuliert, die in den nächsten Jahren (je nach Ratifikationszeitraum, wahrscheinlich 2017) bedingen nicht-ökonomische Indikatoren mit in die Berichterstattung mit aufzunehmen. Dies gilt zumindest für Unternehmen mit über 500 Mitarbeitern. Zudem gibt es eine Reihe an Richtlinien von NGOs, die in Punkt 4.2 noch diskutiert werden. Hier ist auch die DIN ISO 26000 zu nennen, d.h. der Leitfaden zur gesellschaftlichen Verantwortung von Organisationen. Moratis argumentiert hier, dass die ISO 26000 Definition „*out of the ordinary*“ ist, da sie über die Grenzen dessen hinausgeht, was bis dato unternehmerische Standards sind und somit auf die Rückbesinnung zu moralische Werten drängt [vgl. Moratis, 2016, S. 26 ff.]. Einen sehr umfangreichen Überblick kann auch durch Webseiten wie die Sustainability Disclosure Database (<http://database.globalreporting.org/>) erreicht werden, die bereits ca. 9000 Organisationen und über 33.000 Berichte zählt und diverse Veröffentlichung zum Themenkomplex bereithält.

²³⁰ Eine Eruierung der Thematik und die Definition von sozialem Kapital wurde von der Weltbank um das Jahr 2000 stark gefördert, mit diversen Veröffentlichungen, siehe die sog. „Social Capital Initiative“ oder Grootaert [Grootaert, 1998, S. 1 ff.]. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Wahrnehmung des Sozialen existieren verschiedene Ausprägungen, wie bereits in Kap. 3 angedeutet, als auch Human-Kapital und Wissens-Kapital als nicht zugehörige Bestandteile vorgestellt wurden. Die Enquete-Kommission führt bspw. noch institutionelles Kapital auf [Enquete-Kommission, 1998, S. 43], welches auch Spangenberg's Darstellung von Nachhaltigkeit als Prisma erinnert (s. S. 68). Auch Wrase spricht in ihrer Dissertation von einem „Viereck“ auf Basis der politisch-kulturellen Ausführungen, s. [Wrase, 2010, S. 306 ff.]. Zusammenfassend gibt es verschiedene Interpretationen, weshalb der eigene Ansatz in der Folge soziales Kapital detailliert abgrenzen wird.

²³¹ Ferner besteht die sprachliche Möglichkeit der Nutzung als Adjektiv und der Qualifizierung von Maßnahmen oder Instrumenten als „sozial nachhaltig“, bzw. als „sozial verträglich“, was häufiger genutzt wird.

4.1.2 Hauptunterschiede des Sozialen zu den anderen Dimensionen der Nachhaltigkeit

4.1.2.1 Relativität – Erhöhte Abhängigkeit von kulturellen/regionalen Räumen

Dieser Abschnitt dient der genauen Erklärung, warum die soziale Seite in ihrer formalen Betrachtung und der sich anschließenden Ausarbeitung von computergestützten Instrumenten schwieriger handhabbar ist und wie die zugrundeliegenden Probleme angegangen werden können. Zusätzlich wird auch definiert, was sie hauptsächlich von den anderen beiden Dimensionen unterscheidet, um jene Formulierung zu rechtfertigen. Dabei kommt es bei sozialen Kriterien zuerst zu Einflüssen der Kultur auf bestehende Werte und Normen, die ihrerseits mit Individuen wechselwirken. Dies impliziert eine erhöhte Relativität sozialer Aspekte gegenüber ökologischen oder ökonomischen. Zwar werden in unterschiedlichen Regionen auch differierende Standards, Bewertungsmaßstäbe und Ansätze in ökologischen und ökonomischen Bereichen genutzt, allerdings sind bspw. für die ökologische Dimension die zugrundeliegenden chemischen und physikalischen Grundvoraussetzungen identisch. Ebenso gilt für die ökonomische Dimension die gleiche mathematische Berechnungsgrundlage wirtschaftlichen Handelns (auch wenn in der Praxis Unterschiede bestehen).

Die Hintergründe kultureller Einflüsse auf Bewertungsgrundlagen von arbeitstechnischen Systemen und sozialem Gefüge in Organisation/der Arbeitswelt werden sehr ausführlich in Badura, et al. ausgeführt, siehe [Badura, et al., 2010 (b), S. 65 ff.]²³². Zudem stellen die Autoren „*die Frage nach den Bedingungen von Solidarität, Gemeinsinn und moralischem Bewusstsein*“ [Badura, et al., 2010 (b), S. 62 f.], welche sich zwangsläufig auf die Wertung auswirken. Im Hinblick auf den oft formulierten Einwand der Unmöglichkeit einer Verallgemeinerung aufgrund von Individualität, bemerken sie ferner, dass „*auch wenn Gedanken, Gefühle und Motive eines Menschen als etwas zutiefst Persönliches, ja Intimes erlebt werden, unterliegen sie lebenslanger gesellschaftlicher Regulation: durch das moralische Bewusstsein und durch Kooperation mit Verwandten, Freunden, Kollegen, Vorgesetzten etc. Nicht einzelne Individuen sind die elementaren Bausteine von Gesellschaft, sondern soziale Netzwerke und gemeinsame Überzeugungen, Werte und Regeln. Homo sapiens ist in erster Linie ein zwischenmenschlicher Maximierer kollektiven Nutzens und erst in zweiter Linie rationaler Egoist*“ [Badura, et al., 2010 (b), S. 62]. An diesem Zitat lässt sich ein Unterschied in der Wertung/Betonung im Vergleich zu der Aussage von Nef (S. 101) festmachen.

An einem relativ frühen Versuch der Definitionsfindung sozialer Nachhaltigkeit lässt sich ein weiteres Beispiel deuten. So stellt die Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ vor allem die freie Entfaltung der Persönlichkeit des Einzelnen und die Sicherung der gesellschaftlichen und gesamtwirtschaftlichen Leistungspotenziale sowie der Sozialsysteme heraus [vgl. Enquete-Kommission, 1998, S. 51f.], [Weissenberger-Eibl, 2003,

²³² Dubielzig führt als Beispiel Kinderarbeit an. Er notiert, dass die den sozialen Themen zugrundeliegenden Wahrnehmungen „*besonders abhängig von kulturellen und politischen Begleitumständen*“ sind. „*Bspw. variiert die Bewertung von Kinderarbeit stark zwischen Industrie- und Entwicklungsländern. Soziale Themen können dementsprechend im Vergleich zu ökologischen Themen schwieriger durch „objektive“ Daten beschrieben werden (vgl. Bennett & James 1999, 34), sondern sind durch kulturelle und politische Umstände geprägt (vgl. hierzu z.B. auch Beschorner, T. et al. 2004; Visser 2006)*“ [Dubielzig, 2009, S. 33].

S. 97], [Langer, 2011, S. 24]. Hier kann eine kulturelle Prägung bei der Definitionsbildung vermutet und exemplarisch angeführt werden. So besteht die Wahrscheinlichkeit, dass bspw. im asiatischen Raum die freie Entfaltung des Einzelnen nicht an oberster Stelle der Beschreibung dessen stehen würde, was die Nachhaltigkeit des Sozialen ausmacht.

In Analogie zu ökologischen Einflüssen kann allerdings festgestellt werden, dass es auch hier zu regionalen Unterschieden kommen kann, da die Beschaffenheit des Ökosystems zwangsläufig den Klimabedingungen, Nährstoffeinträgen und regionalen Wechselwirkungen angepasst ist. Dies gilt trotz der ähnlichen Reaktion des Naturkapitals auf Schadeinwirkung. Ähnlich gibt es eine kulturelle Anpassung von Menschen auf soziale Wirkungen. Zudem haben beide Betrachtungswinkel gemein, dass es zwangsläufige Grenzen gibt, d.h., auch wenn Pflanzen bspw. unterschiedlich resistent auf Kälte- oder Hitzeeinwirkungen von außen sind, kann man davon ausgehen, dass Feuer i.d.R. (es gibt Ausnahmen) zerstörend wirkt. Ebenso gibt es menschliche Belastungsgrenzen und Aspekte, die trotz größerer Unterschiede gemein sind. Physische Belastungen sind dabei nur ein Aspekt, auch psychologische Faktoren lassen sich teilweise verallgemeinern. Auf Basis der Prägung kultureller Einflüsse auf die Psyche und der ideellen Natur kann hier jedoch eine höhere Differenzierung, bzw. Ausfächerung von Kriterien ausgemacht werden als bei physischen Einflüssen.

Als kulturell übergreifendes soziales Interesse können prinzipiell Gesundheit und der Wunsch auf Unversehrtheit definiert werden²³³. Auch die Qualität von Kommunikationsstrukturen ist elementar für ein harmonisches und produktives soziales Gefüge, wobei es bei der Art der Kommunikation, bspw. in puncto Transparenz schon zu größeren kulturellen Anpassungen kommt. Prinzipiell wird auch das Streben nach Glück und Freude als allgemeingültiges Ziel definiert. Allerdings ist es ebenso kulturellen, regionalen und letztlich auch individuellen Schwankungen ausgesetzt. An diesem Punkt lässt sich ein weiteres Merkmal erkennen, denn auch wenn das generelle Streben nach Glück als allgemeingültiges Prinzip gesunder Menschen definiert werden kann, ist die Essenz dessen, was Glück impliziert, individuell verschieden. Es kann somit zu einer individuellen Auffächerung von gesellschaftlich geteilten Prinzipien kommen (siehe „Bipolarität“, im folgenden Abschnitt).

Für die Definition des Sozialen können somit verschiedene Einflussfaktoren konstatiert werden, die i.d.R. zu unterschiedlichen Definitionen auf verschiedenen kulturellen, regionalen und organisatorischen Ebenen führen. Die Kriterien, die dabei von Organisationen oder Ländern auf nationaler, entwicklungspolitischer oder geostrategischer Ebene definiert werden, sind zwangsläufig nicht dieselben wie die, die im Rahmen von Produktionen oder den meisten wirtschaftlichen Entitäten genutzt werden²³⁴. Dies und die Ausführung der Begriffes „Bipolarität“, bzw. „Multipolarität“ werden in der Folge genauer betrachtet.

²³³ Dies ist auch im betrieblichen Kontext relevant. Badura, et al. betonen hier zudem Bildung als Grundvoraussetzung funktionaler Organisationen: „*Bildung und Gesundheit sind zentrale Elemente des Humanvermögens einer Organisation. Sie hängen auf das Engste miteinander zusammen als Voraussetzung hoher Leistungsfähigkeit und Leistungsbereitschaft, hoher Qualität und Effizienz*“ [Badura, et al., 2010 (b), S. 61].

²³⁴ Dies lässt sich bspw. gut an den noch unausgeprägten und sehr verschiedenen Indikatoren erkennen, die von Omann und Spangenberg im Jahr 2002 diskutiert wurden, siehe [Omann & Spangenberg, 2002, S. 6 ff.]. An dieser Veröffentlichung ist auch gut zu erkennen, welche Fortschritte die Wissenschaft bei der Erforschung des Feldes der sozialen Nachhaltigkeit in den letzten zwei Jahrzehnten gemacht hat, da viele Aspekte, dem damaligen Stand der Wissenschaft entsprechend wesentlich unspezifischer behandelt wurden als sie nun bspw. in den verschiedenen CSR-Richtlinien von Organisationen wie der GRI oder der EU thematisiert werden.

4.1.2.2 Multi-Polarität der sozialen Dimension

Dubielzig elaboriert in seiner Einführung zu sozialer Nachhaltigkeit, dass wenn in seiner Arbeit von „sozial“ die Rede ist, es sowohl die individuelle, als auch die gesellschaftliche Ebene betrifft [vgl. Dubielzig, 2009, S. 12 f.]. Aus dieser Zuordnung sozialer Aspekte zu zwei Sphären folgert er eine Bipolarität des Sozialen, die auch von Empacher und Wehling determiniert wird [vgl. Empacher & Wehling, 2002, 41 ff.], [vgl. Dubielzig, 2009, S. 13 f.].

Prinzipiell ist diese Überlegung zu honorieren, allerdings scheint es arbiträr von zwei Polen zu reden und das ideelle Konstrukt der Gesellschaft als zweiten Pol zu sehen. Dies liegt darin begründet, dass die Definition von Kriterien, das Management von sozialen Aspekten und Einflussfaktoren sich logisch auf unterschiedlichen Ebenen der Gesellschaft äußert und auf verschiedene Gruppen, wie im vorigen Abschnitt ausgeführt, unterschiedlich wirkt.

Dies bedeutet, dass in dieser Arbeit nicht von zwei Polen ausgegangen wird, sondern die Wirkungen auf das Soziale²³⁵ und die Wirkungen von dem Sozialen²³⁶ sich auf mehrere Pole verteilen, bzw. von ihnen (in verschiedener Qualität) ausgehen, siehe Abb. 31.

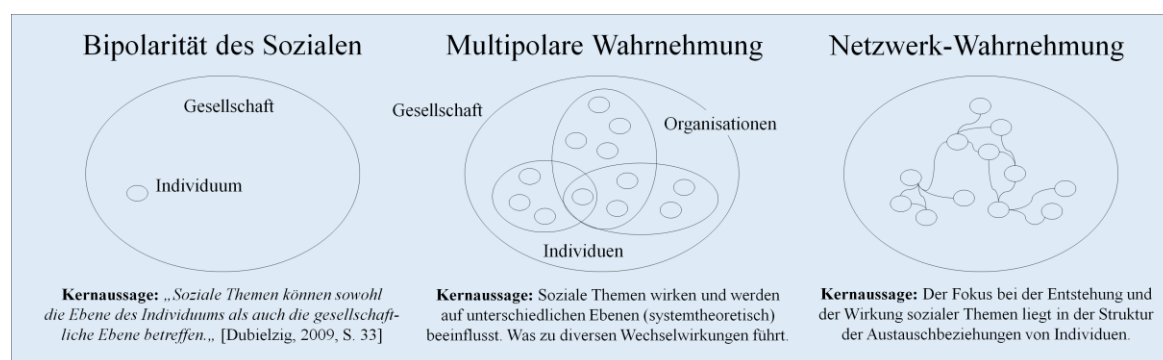


Abbildung 31: Verschiedene Wahrnehmungen der Wechselwirkungen des Sozialen

Der kleinste Pol bleibt dabei das Individuum. Von ihm ausgehend, können verschiedene Gruppen²³⁷ determiniert werden, die auch als Netzwerke charakterisiert werden können und mit dem Individuum wechselwirken²³⁸. Dies impliziert einerseits ein weiteres Differenzierungsmerkmal den anderen Dimensionen gegenüber und erklärt andererseits die Schwierigkeit der Konsensbildung bei der Definition und Abgrenzung von Kriterien.

²³⁵ Beispiele dafür sind Werte und Normen, Definitionen, Anpassungen, Veränderungen von Maßnahmen.

²³⁶ Beispiele dafür sind empfundene Anforderungen, Nachhaltigkeitsverständnis von Individuen, u.v.m.

²³⁷ Generell kann hier von organisatorischen Gruppen ausgegangen werden, in denen die Konzeptbildung des Sozialen vorangetrieben wird, aber auch der Freundeskreis sowie das in-/direkte Arbeitsumfeld sind Pole, die teilweise großen Einfluss auf das Nachhaltigkeitsverständnis von Individuen haben und mit seiner Wahrnehmung wechselwirken. Die Individuen haben ihrerseits Einfluss auf die Definition von Kriterien in organisatorischen Netzwerken, die sich somit durch Rückkopplungsschleifen, anhand der Verknüpfungen, wiederum auf andere Individuen auswirken. Als Gesellschaft kann letztlich eine territoriale Abgrenzung einer größeren Masse an Individuen definiert werden, wobei die rein geografische Trennung, bspw. durch Kommunikationstechnologie, allerdings auch die Funktionsübernahme durch Organisationen zunehmend erodiert.

²³⁸ Die Netzwerkbetrachtung hat speziell mit dem Aufkommen sozialer Netzwerke, die hier technologisch zu verstehen sind, einen neuen Stellenwert erreicht, da durch die vereinfachte Bildung von Kommunikationsstrukturen, diese im Vergleich zu früher, vermehrt auch ohne organisatorische Beteiligung gebildet werden. Die Gruppenbildung und ihr Management wurden demnach durch Technologie wesentlich vereinfacht, was die Einflussmöglichkeiten aktiver Individuen abseits ihrer organisatorischen/betrieblichen oder politischen Position erhöht hat.

4.1.2.3 Komplexität und Unbestimmtheit der Wirkungszusammenhänge

Möchte man ökonomische Wirkungen von Maßnahmen evaluieren, folgt man den Kapitalströmen und kann anhand der relativen Größen Bezüge herstellen. Auch wenn diese Größen kaum Aufschluss über den tatsächlichen Einfluss des Kapitals geben, kann an ihnen zumindest eine vergleichbare Metrik zur Beurteilung angesetzt werden, indem die Quantität des Einflusses beziffert wird. Im Kontext sozialer Kriterien können zwar ebenso Kapitalströme als ökonomische Ausgangsbasis notiert werden, auch können teilweise soziale Einflüsse spezifiziert und qualifiziert werden, allerdings sind die Korrelationen zwischen ökonomischen Einfluss und sozialer Auswirkung teilweise unüberschaubar und so vielfältig, dass eindeutige kausale Zuweise oft scheitern²³⁹. Zudem ist die Quantifizierung sozialer Wirkungen noch sehr unspezifisch. Die beschriebene Adaption der ökonomischen Sichtweise und somit Abschätzung von finanziellen Kapitalströmen als Grundlage zur Bemessung sozialer Wirkungen ist kaum, trotz entsprechender Beispiele, als adäquater Ansatz einzuschätzen²⁴⁰.

Im Vergleich zu ökologischen Wirkungen kann notiert werden, dass die Wirkungsabschätzung sich i.d.R. auf Einträge in ein System und an Vergleichen zwischen Input-, Output-Relationen und der Fähigkeit der Systeme, bspw. Schadstoffe zu absorbieren, festmachen lässt. Es gibt eine Ähnlichkeit, die gleichzeitig die Schwierigkeit sozialer Wirkungen skizziert, nämlich dass sich Systeme auf Basis des Eintrages verändern, bzw. anpassen²⁴¹. Dies (im Sozialen) zu beziffern und im Vergleich zu ökologischen Resistenzen und der Anpassungsfähigkeit von Systemen abzuschätzen, übersteigt den derzeitigen (bekannten) Stand der Wissenschaft²⁴² und verstärkt die Verständnisschwierigkeit der sozialen Dimension.

²³⁹ Dubielzig macht dies u.a. auch an der Schwierigkeit der Abgrenzung sozialer Kriterien [vgl. Dubielzig, 2009, S. 33] und wiederum der Immaterialität fest [vgl. Empacher & Wehling, 2002, 41 ff.]. Im Bereich der Berichterstattung hat sich allerdings im letzten Jahrzehnt viel getan. So argumentierte Gray im Jahr 2002 noch bzgl. der Verbesserung von Standards: *“And despite the emergence of private initiatives for standards such as SA8000 and AA1000, there looks to be a real danger of social reporting becoming very much more partial and bland than even the less praiseworthy attempts at environmental reporting”* [Gray, 2002, S. 11]. Dubielzig ordnet dies zusätzlich im Kontext der Vielfältigkeit und teilweisen Undurchsichtigkeit von Wirkungskorrelationen ein [vgl. Dubielzig, 2009, S. 30 ff.]. Zudem notiert er, dass noch keine Einigkeit bzgl. der Kategorisierung von sozialen Aspekten besteht [vgl. Dubielzig, 2006, S. 44], was auch an Omann und Spangenberg's Formulierung des *„lack of conceptual clarity“* [Omann & Spangenberg, 2002, S. 4] erinnert, mit dem eine Schwierigkeit der sozialen Dimension beschrieben wurde. Auch Colantonio greift diese in ihrer Beschreibung der sozialen Dimension auf [Colantonio, 2007, S. 6]. Benoît und Vickery-Niedermann beziehen sie zudem in erster Linie auf Auditing und Monitoring Frameworks, wo sie die instrumentelle Anwendung möglicher Kategorisierungen verorten [vgl. Benoît & Vickery-Niedermann, 2010, S. 10], siehe auch Abschnitt 4.1.2.4.

²⁴⁰ Pinzler macht dies sehr deutlich, in dem sie viele Beispiele anführt, die die Korrelationen von Einkommensverhältnissen und der Wahrnehmung von Glück als Untersuchungsgegenstand haben [Pinzler, 2011, S. 61 ff.]. Dabei wird deutlich, dass das Wohlbefinden von Menschen sich, ab einem Schwellenwert, nicht durch die Einflussgröße steigert, sondern dass es sich in Relation zu Mitmenschen und gesellschaftlichem Status entwickelt [vgl. Pinzler, 2011, S. 65 ff.]. In dem Sinne geht es um die Qualität der gesellschaftlichen Teilhabe, welche die Einflussgröße (das Geld) erlaubt. Hier ist jedoch einfach nachzuvollziehen, dass die Größe nicht zwingend die Qualität der „erkauften“ sozialen Teilhabe steuert [vgl. Pinzler, 2011, S. 89 ff.].

²⁴¹ Dies ist zwangsläufig auch bei sozialen Wirkungen zu beobachten, d.h., soziale Wirkungen die auf Individuen einwirken (bspw. über kulturelle Normen), verändern i.d.R. auch deren eigenes Bewertungssystem.

²⁴² Dies ist auch der Fall auf Basis der Anzahl an möglichen Korrelationen und der Unabschätzbarkeit ihrer Wirkungen, die sich bei jedem Individuum stark unterscheiden können. Die (teilweise) ideelle Natur sozialer Aspekte führt darüber hinaus zu Problemen der Grenzziehung. Die Themenvielfalt und Multipolarität verstärken diese Schwierigkeit zusätzlich. Daher sind Richtlinien und Rahmenwerke, wie sie u.a. in Benoît und Vickery-Niedermann diskutiert werden, der Versuch Vielfalt einzugrenzen, um Ansatzpunkte für Wirkungsabschätzungen in gruppenorientierten Analysen darzustellen [vgl. Benoît & Vickery-Niedermann, 2010, S. 7].

Jørgensen, et al. vergleichen in diesem Kontext ELCA und SLCA; dabei diskutieren sie, dass die kausale Verbindung zwischen Input und Output im Falle von sozialen Wirkungen weniger mit dem Prozess an sich zu tun hat, sondern mit der Art und Weise des Umgangs mit den Prozessen durch die involvierten Akteure [vgl. Jørgensen, et al., 2008, S. 2]²⁴³.

4.1.2.4 Schwierigkeit der Kategorisierung und Themenvielfalt

Die Themenvielfalt der sozialen Dimension ist beispielhaft durch die Veröffentlichungen der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) nachzuvollziehen, die in regelmäßigen Abständen Handlungsanleitungen für die (arbeits-)medizinische Vorsorge publiziert. Dabei wird konkret der Anwendungskontext physischer und psychologischer Gesundheit, bzw. der Unversehrtheit von Individuen thematisiert. Allein dieser Ausschnitt der sozialen Dimension differenziert zwischen physikalischen Krafteinwirkungen, Lärm, Vibration, Repetition von Tätigkeiten, Schadstoffeinwirkungen, generell der Luftqualität, Stress und weiteren als Gefahren-, bzw. Einwirkungsquellen. Die Quellen verfügen ihrerseits über sehr unterschiedliche Verfahren des Testens und der Vorsorge, s. z.B. [DGUV, 2013, S. 19 ff.], [DGUV, 2009, S. 6 ff.]. Als positiv ist hier zu notieren, dass dieser Bereich (zumindest der physischen Einwirkungen) einerseits bereits wissenschaftlich relativ intensiv bearbeitet wurde (s. auch Abschnitt 4.2.1.2) und andererseits gesetzliche Verordnungen zu dem Großteil der möglichen (physischen) Einwirkungen bestehen. Wie diese in der betrieblichen Praxis umgesetzt werden, ist allerdings nicht immer zwingend deckungsgleich (und im Bezug zu psychologischen Faktoren noch unternehmensspezifischer und oft unausgereift)²⁴⁴.

Es kann hier zusammengefasst werden, dass sich aufgrund der Multipolarität des Sozialen, der Themenvielfalt und der hohen Abhängigkeit von kulturellen Werten und Normen eine allgemeingültige Kategorisierung von Themenkomplexen nur schwer durchsetzt. Allerdings gibt es diverse Ansätze für einzelne Anwendungskontexte und es ist davon auszugehen, dass mit zunehmender Auseinandersetzung mit der Thematik, diese abstrahiert werden können, sodass in Zukunft umfassendere anerkannte Modelle entstehen werden.

²⁴³ Wörtlich beziehen sie sich auf das Verhalten von Firmen, obige Feststellung diene der Abstraktion, genau formulieren sie: „*In ELCA it is generally accepted that the environmental impacts arise because of the nature of these processes. In other words, there is a causal link between process and environmental impact. The environmental assessment, thus, is based on an aggregated inventory of input and output for processes that are needed to provide the function defined in the functional unit. Regarding SLCA, on the other hand, it has been discussed whether this is a valid approach.*“ [Dreyer et al., 2006, S. 88 ff.] “*and*” [Spillemaeckers et al., 2004, S. 1 ff.] “*, for example, argue that most social impacts have no relation to the processes themselves, but rather to the conduct of the companies performing the processes. The causal link is therefore not from process to social impact, but from conduct of the company to the social impact*“ [vgl. Jørgensen, et al., 2008, S. 2]. Daran kann man festmachen, dass die ausschlaggebende Instanz für die soziale Dimension die involvierten Individuen sind. Zu obigem Zitat bleibt anzumerken, dass es natürlich bestimmte Prozesse gibt, die definitiv soziale Konsequenzen haben (bspw. Wasseraufbereitung). Ferner kommt es auf die Inklusion sozialer Wirkungen an, d.h., dass viele ökologische Wirkungen auch als soziale gedeutet werden können.

²⁴⁴ Hier kann wiederum der Zustand der Überzeugungen innerhalb des Betriebs/der Organisation als Indiz für die Anwendung und Durchsetzung von (Präventions-)Maßnahmen gesehen werden. Somit spielen die in den letzten Abschnitten thematisierten Aspekte der Netzwerke und die gruppenspezifische Weitergabe sozialer Werte und Normen im Bezug zur betrieblichen Praxis eine große Rolle. Allerdings wird dieser Bereich der Bewusstseinsbildung selten explizit organisatorisch gemanagt und bezieht sich eher auf politische, mediale Diskussionen und Leitbild-Erschaffung, der Maßnahmen folgen sollen, siehe bspw. den Fortschrittsbericht zur nationalen Nachhaltigkeitsstrategie 2012 [BPA, 2012, S. 54]. Hier spielen zwangsläufig soziale Faktoren wie Vertrauen und Bezugsnähe zur Übernahme und Verinnerlichung von Normen und Werten eine Rolle.

4.1.2.5 Probleme der Quantifizierbarkeit

In Hinsicht auf die Quantifizierung sozialer Wirkungen sind zwei Aspekte zu unterscheiden:

- Einerseits kommt es zu ethischen Konflikten bei der Quantifizierung des Sozialen.
- Andererseits gibt es eine grundsätzliche Schwierigkeit der Quantifizierung eines ideellen, stark wandelbaren, mit vielen Korrelationen bedachten Konstruktes.

Zum ersten Aspekt ist festzuhalten, dass das Leben eines Menschen grundsätzlich nicht quantifizierbar sein sollte (zumindest nicht in Geld aufwiegar). Ebenso ist festzustellen, dass die Gesundheit einer Bewertungsspannbreite ausgesetzt sein kann, zwischen dem, wie sie von dem betroffenen Individuum und wie sie von der Gesellschaft bewertet wird (s. bspw. Bakan [Bakan, 2005, 78 ff.]²⁴⁵. Dies wird gerade in der Gesundheitspolitik oder im Hinblick auf die Unterschiede zwischen US-amerikanischer und westeuropäischer krankenhäuslicher/sozialer Versorgung deutlich. Auch Freiheit und Entfaltung sollten, mit Bezug zu geschichtlichen Ereignissen (bspw. Sklavenhandel), prinzipiell nicht bewertbare Größen darstellen²⁴⁶. Die generellen Prinzipien sollten keinen verhandelbaren Gegenwert haben, sondern absolut gültig sein²⁴⁷. Bei der Quantifizierung solcher Größen, bspw. im Gesundheitswesen, wird zudem befürchtet, dass sich ein Trend der Kapitalisierung verstärkt²⁴⁸, was sich in Debatten zur sog. Zweiklassenmedizin oder zu Notständen in der Pflege zeigt.

Hier ist prinzipiell zu unterscheiden zwischen einer Notwendigkeit der Quantifizierung (bspw. hinsichtlich von Kostenkalkulationen, die erforderlich sind für das Fortbestehen von Einrichtungen und Leistungen) und dem Missbrauch mit Bezug zur Profitmaximierung auf Kosten einzelner Individuen oder Gruppen von Individuen. Gleichzeitig, gerade im Vergleich zu dem US-amerikanischen Modell, kann festgehalten werden, wie notwendig ein gesellschaftlicher Konsens (der in den letzten Kapiteln angedeutet wurde) im Kontext der Bereitstellung von Leistungen (auch unprofitabler) und sozial orientierter Politik ist.

²⁴⁵ Hier könnte bspw. die Funktion, die das Individuum in der Gesellschaft ausübt und die (zumindest) Indizien zur Wichtigkeit für die Gesellschaft erlaubt, als Bewertungsgrundlage der Gesundheit des Individuums gelten. Dies führt allerdings zu ethischen Fragestellungen, von denen manche philosophische Überlegungen der Gleichbehandlung des Einzelnen zuwiderlaufen. Natürlich muss man darauf hinweisen, dass unterschiedliche Wertungen in Form von ökonomischen Kriterien (bspw. Entlohnung) bestehen und bestanden haben, diese folgern auch unterschiedliche Möglichkeiten der sozialen Teilhabe. Regulatorische Maßnahmen um Angleichungen zu stimulieren, sind aufgrund der verschiedenen Interessengruppen und ihrer gesellschaftlich differenzierten Einflussmöglichkeiten ein fortlaufend umstrittener und sich kontinuierlich als schwierig erweisender Prozess. Spangenberg betont hier: „*Soziale Nachhaltigkeit ist ein normatives Konzept, das zwar der Anbindung an die Empirie bedarf, aber nicht aus dieser abgeleitet werden kann.*“ [Spangenberg, 2003, S. 649]. Aus diesem Zitat kann die Überzeugung gefolgert werden, dass es (ethische) Werte geben muss, welche die quantitativen Korrelationen einrahmen und somit das normative Konzept des Sozialen maßgebend in ein ethisch-moralisches Gerüst einfügen, welches seinerseits als Grundlage für Maßnahmen zu verstehen ist.

²⁴⁶ Die beschriebenen Arbeitsbedingungen vieler Wanderarbeiter [Amnesty International, 2013, S. 31 ff.] und die von Chan thematisierten Zustände in Applefabriken [Chan, et al., 2013, S. 108 ff.] verdeutlichen, wieviel Arbeit noch investiert werden muss, bis ähnliche Praxen der Vergangenheit angehören. Die Seite <http://slaveryfootprint.org/> deklariert bspw. plakativ, dass noch immer „*at least 27 million slaves worldwide*“ existieren. Ferner erlaubt sie, in Analogie zu CO₂-Footprints, auf Basis eines Fragebogens, eine Abschätzung wieviele Sklaven heute in Zulieferverhältnissen für einen arbeiten, ohne dass die Relation für die meisten Menschen spürbar wäre. An diesem Beispiel wird ein Prinzip sozialer Wirkung erkennbar, nämlich dass Distanz zu unsozialem Verhalten beiträgt und Nähe dem i.d.R. entgegenwirkt (aufgrund der sozialen Verflochtenheit).

²⁴⁷ Dies erinnert zudem an die von McElroy, et al. [McElroy, et al., 2007, S. 6 ff.] thematisierte Abstufung des Adjektivs „nachhaltig“. Im Kontext bestimmter ethischer Ziele ist eben diese Abstufung unangebracht.

²⁴⁸ Auch hinsichtlich der Produktionssimulation bestehen Risiken des Missbrauchs durch die Quantifizierung von sozialen Wirkungen. Diese werden in der Konzeption eindeutig gekennzeichnet.

Komplementär zu diesen Ausführungen können die von Omann und Spangenberg thematisierten „*bad experience of the 1960s*“ [Omann & Spangenberg, 2002, S. 4] verstanden werden. Hier diskutieren die Autoren die Problematik einer „zu forschen“ Einführung und gesellschaftlichen Nutzung von sozialen Kenngrößen und somit die Gefahr gesellschaftlicher Ablehnung bei ungenügendem kommunikativem Vorlauf. Sie beziehen sich auf die Diskussionen größer angelegter Definitions- und resultierender Indikatorbildung zur Messung und Quantifizierung²⁴⁹. Insofern stellen auch sie Kommunikation und Transparenz als entscheidende Aspekte der Einführung und Nutzung quantitativer Modelle sozialer Kriterien heraus.

Im Vergleich zur ökologischen Dimension kann die Biodiversität angeführt werden, die sich bisher eindeutiger Quantifizierung entzieht. Dabei besteht analog ein Muster des kontinuierlichen Wandels und der Unüberschaubarkeit (im Fall der Artenvielfalt). Dubielzig qualifiziert dies in der ökologischen Dimension als Ausnahme [Dubielzig, 2009, S. 34]²⁵⁰.

Die Quantifizierung und auch die folgende Datenaufnahme betreffend, kommt es unter anderem zu Verzerrungen und dem Problem der individuellen Ausprägung, bzw. individuellen Bewertungen. Beispielhaft können dazu Schmerzskaleten in der Medizin genannt werden, die auf das Prinzip eingehen, dass viele soziale Kriterien trotz gleicher Einflussgröße (bspw. Schmerz) individuell unterschiedlich empfunden werden. Zudem bestehen Probleme der sog. relativen Größe, d.h., dass nicht immer absolute Werte erkannt/empfunden werden, sondern Größen in Relation zu vorherigen Erlebnissen/Zuständen. Dies hat einerseits Folgen für die sog. Bedürfnispyramiden von Menschen, als auch auf die Quantifizierungen von Wirkungen, die in Relation zu dem individuellen Zustand schnell schwanken können²⁵¹.

²⁴⁹ Dies ist vergleichbar mit den gesellschaftlichen Resistenzen, welche sich bspw. bei der „zwangsweisen“ Abschaffung alter Glühbirnen in der EU oder dem EU-weiten Rauchverbot innerhalb einräumiger Gaststätten zeigten. Zudem können diese Maßnahmen erneut als das Herunterreichen von systemerhaltenden Anforderungen an Subsysteme charakterisiert werden und können als gesellschaftliche Effizienz- und (teilweise) als Konsistenzstrategien qualifiziert werden, siehe die Entsprechungen in Kapitel 3. Wie sich aus den Beispielen ferner zeigt, ist der gesellschaftliche Bewusstseinszustand bzgl. der Notwendigkeit von Veränderungsmaßnahmen ausschlaggebend für die Akzeptanz(-bildung). Dies gilt im besonderen Maße für Veränderungen, die der bisherigen Praxis zuwiderlaufen. Eine historische Kontextbildung kann in diesem Fall zur Relativierung beitragen, bspw. zeigen Weizsäcker, et al. verschiedene geschichtliche Innovationszyklen [Weizsäcker, et al., 2010, S. 26]. Dabei sind die Verallgemeinerung der Zyklen in diesem Kontext nur peripher von Interesse, vielmehr ist, an den teilweise stark in die Gesellschaften eingreifenden Innovationen erkennbar, dass es fast immer Resistenzbewegungen gab, von Maschinenstürmern bis zur derzeitigen Kritik am Einsatz neuer Technologien. Dies verdeutlicht die Schwierigkeit der Akzeptanzbildung für Maßnahmen, welche in das Leben von Individuen eingreifen und den „Status quo“ nachhaltig verändern. Dabei ist die durch technologische Innovation ausgelöste „Zukunftsangst“ nur eine Seite der Medaille. So thematisiert auch Pinzler berechnigte Ängste vor vermeintlich gut gemeinten, dann fehlgeleiteten regulativen Doktrinen (von staatlicher oder organisatorischer Seite), in dem sie u.a. den Philosophen Karl Popper zitiert mit: „*Der Versuch den Himmel auf Erden zu verwirklichen, produzierte stets die Hölle*“ [Pinzler, 2011, S. 46]. Sie postuliert dies im Kontext der Dürsterkeit des Nationalsozialismus, des Sowjetkommunismus des Kapitalismus sowie der entsprechenden literarischen Zukunftsbefürchtungen von Orwell, Samjatin und Huxley. Auf Basis dieser geschichtlichen, negativ vorbelasteten Beispiele ist der Eingriff durch regulative Maßnahmen in die Freiheit von Individuen emotional vorbelastet, was sich in der US-amerikanischen Gesellschaft noch stärker manifestiert als in Europa (hinsichtlich der traditionell gepflegten Unabhängigkeit von der englischen Regulation/„Unterdrückung“).

²⁵⁰ Zudem verweist er bzgl. einer allgemeinen Betrachtung des Problems der Quantifizierbarkeit auf Fischer [Fischer, 1989, 154 ff.] und Kahle [Kahle, et al., 1992, 28 ff.], die im Kontext des Sozialen ähnlich einzuordnen sind, wie die Ausführungen zur Quantifizierbarkeit in Kapitel 2 und 3.

²⁵¹ In diesem Zusammenhang ist der Wirtschaftsnobelpreisträger und Psychologe Kahneman zu würdigen, der in seinem Buch „Thinking, Fast and Slow“ Fehlinterpretationen in Statistiken und Auswertungen der menschenorientierten Forschung aufzeigt. Speziell Heuristiken und kognitive Verzerrung werden intensiv behandelt und sind bzgl. der Quantifizierung von sozialen Größen sehr relevant, siehe [Kahneman, 2012, S. 139 ff.].

4.1.2.6 Schwierigkeit von Messungen und der Datenaufnahme

Die Quantifizierbarkeit ist im Grunde ein Teilproblem der Aufnahme und Bewertung sozialer Wirkungen, bzw. die logische Voraussetzung quantitativer Erfassung. Die Schwierigkeit der Messung und Datenaufnahme ist der zweite Teil. Sie wird von mehreren Umständen erschwert, so gibt es bspw. einen Argwohn von Arbeitern gegenüber Anstrengungen (bspw. der Unternehmensführung) zur Aufnahme medizinischer (aber auch anderer individuumsbezogener) Daten [vgl. Badura, et al., 2010 (b), S. 68]²⁵². Datenschutzrechtliche Überlegungen sind diesbezüglich miteinzubeziehen und ethische Fragestellungen im Hinblick auf die folgende Nutzung der Daten sind von Relevanz und erklären das Misstrauen. Speziell in Bezug zu Rationalisierungsmaßnahmen, welche bspw. in der Produktion aufgrund der verstärkten Nutzung von Maschinen und Technologie eine große Rolle spielen, bestehen teils berechnete Ängste von Individuen, ihre Leistung und ihren Zustand transparenter zu machen, da sie fürchten ihre Arbeitsstelle einzubüßen oder mehr leisten zu müssen²⁵³.

Selbst wenn diese Bedenken außer Acht gelassen werden, kann allerdings die überwiegende Anzahl sozialer Wirkungen zurzeit als nicht messbar eingestuft werden. So kann z.B. eine Stimmungsveränderung eines Mitarbeiters aufgrund der Anweisung seines Vorgesetzten noch im Nachhinein erfragt werden, eine zeitnahe Messung und eindeutige Qualifizierung bleibt allerdings mit den bestehenden technologischen Möglichkeiten ausgeschlossen²⁵⁴.

Um dennoch Aussagen zu Korrelationen treffen zu können, kommt es i.d.R. zur Nutzung von Modellen. Dabei können fehlende Daten teilweise durch statistische Daten ersetzt werden. Zudem kann es zur Nutzung von „Proxyindikatoren“ kommen [vgl. Grootaert & van Bastelaer, 2001, S. 9]²⁵⁵. In beiden Fällen bietet sich die Simulation als Instrument an, da negative Wirkungen nicht am Realsystem/Individuum „getestet“ werden müssen und das fehlende Systemverständnis einen klassischen Anwendungsbereich der Simulation darstellt.

²⁵² So notieren Badura, et al. bspw.: „*Das auch in deutschen Unternehmen verbreitete Misstrauen gegenüber Initiativen der Unternehmensführung – auch gegenüber Mitarbeiterbefragungen und Preisgabe persönlicher Daten z.B. zum Zwecke der Verhütung chronischer Krankheiten oder der Wiedereingliederung Erkrankter – hat hier seine nachvollziehbaren Ursachen. Angst vor Verlust der Arbeit und Misstrauen gegenüber dem Unternehmen sind Bedingungen, unter denen Mitarbeiter nicht bereit sind, Informationen über ihren Gesundheitszustand offenzulegen.*“ [Badura, et al., 2010 (b), S. 68]. Dennoch sind Interventionen möglich, solange betriebliche Akteure zusammenarbeiten. Eine Diskussion zum Stand der Wissenschaft und Praxis von Interventionen zu Stressmanagement kann bspw. in Busch, et al. [Busch, et al., 2009, S. 85 ff.] gefunden werden.

²⁵³ Was wiederum an Weizsäcker's Betrachtung der unterschiedlichen Innovationszyklen, der resultierenden Veränderungen von Wirtschaft und Gesellschaft und etwaig folgender Ängste von Individuen erinnert.

²⁵⁴ Zwar werden neurobiologische/-chemische Vorgänge bereits wissenschaftlich, bspw. mittels CT-Scans von Gehirnen während externer Einflussnahme untersucht, jedoch ist dies einerseits die Ausnahme und darüber hinaus mit bestehender Technologie nicht in der betrieblichen Praxis umzusetzen. Die Erfassung mittels Fragebögen führt wiederum zu mehreren Problemen. Einerseits kann es zu kognitiven Verzerrungen wie bspw. Erinnerungsverzerrungen, sog. Ankerungseffekten und Kompetenzillusionen kommen [vgl. Kahneman, 2012, S. 275 ff.]. Zudem spielen relative Größen eine Rolle, da i.d.R. eine soziale Veränderung in Referenz zu dem empfunden wird, wie es vorher war und nicht anhand einer fortlaufend gleichen Metrik. Letztlich spielt die Stichprobenvarianz eine große Rolle, was Messungen sehr kostspielig machen kann und im Sinne der Wissenschaftlichkeit verschiedene Kooperationen bedingt, siehe auch [Kahneman, 2012, S. 142 ff.].

²⁵⁵ In ihrer Zusammenfassung zu den langjährigen Aktivitäten für eine bessere Bestimmung von sozialem Kapital schreiben Grootaert und van Bastelaer diesbezüglich: „(...) *social capital is difficult, if not impossible, to measure directly; for empirical purposes the use of proxy indicators is necessary. Years (...) of work experience have a long tradition as proxies for human capital and have proven their value in (...) empirical studies. No such (...) consensus yet exists for the study of social capital (...).*“ [Grootaert & van Bastelaer, 2002, S. 9], ähnlich auch Schneider im Kontext der Nachhaltigkeit/nachhaltiger Strategien [vgl. Schneider, 2008, S. 39].

4.1.2.7 Probleme durch Zuständigkeitsvielfalt, -überschneidung, und -unklarheit

In einer anwendungsorientierteren Perspektive, bspw. dem innerbetrieblichen Management sozialer Aspekte, kommt es vielfach zu Überschneidungen von Zuständigkeiten. So können einzelne Themenbereiche zeitgleich in den Zuständigkeitsbereich diverser Akteure fallen, bspw. Arbeitsmedizinern, Umwelt- und Arbeitsschutzbeauftragten, Abteilungsleitern, dem Management im Generellen, aber auch Beratern, die extern oder intern für bestimmte soziale Aspekte eingesetzt werden (bspw. zur Personalentwicklung oder dem Stressmanagement, siehe Busch, et al. [Busch, et al., 2009, S. 86 ff.]). Je nach unternehmensspezifischen Ausprägungen kann es dabei zur Vernachlässigung der Thematik kommen, da nicht genau getrennt und geklärt ist, wie vorzugehen ist, bzw. wer welche Schritte unternimmt²⁵⁶. Zudem kann es zu Konflikten zwischen den handelnden Akteuren kommen, die sich einerseits auf unterschiedliche Interessen und andererseits, auf Kompetenzen oder auf zwischenmenschliche Aspekte beziehen können.

Im Gegensatz zur ökologischen Dimension und komplementär zu obiger Ausführung kann man nach erfolgten Entscheidungen von einer direkteren Zuweisung von Verantwortlichkeiten ausgehen. Dies impliziert, dass die Verantwortlichkeiten der Entscheidungsebene im Bezug zu sozialen Wirkungen direkter wahrgenommen werden und dies, obwohl teilweise sehr viele Akteure in Entscheidungsprozesse involviert sind (was wiederum Prozesse hemmen kann). Dabei wird in erster Linie die Auswirkung einer Entscheidung auf Individuen oder andere Akteure konstatiert. In der ökologischen Dimension kommt es zwar oft zu nachgelagerten sozialen Auswirkungen (bspw. bei der erwähnten Trinkwasseraufbereitung), allerdings wird, gerade bei großen Konzernen, die Zuweisung (zumindest extern) eher auf das Unternehmen projiziert und weniger auf Personen [vgl. Dubielzig, 2009, S. 34]²⁵⁷. Direktere Zuweisung ihrerseits kann zu einer Scheu vor Risiken oder vor der Nutzung nicht etablierter Praxen führen. Dies kann bedeuten, dass neuere Ansätze des Personalmanagements, wie von Google (siehe Seite 84), trotz positiven öffentlichen Feedbacks, noch gescheut werden. Dabei ist der zahlenmäßig unbestätigte oder unbekannte ROI von entscheidender Bedeutung, auch wegen der Unkenntnis ob der Wirksamkeit weicher Faktoren²⁵⁸. Dem folgt ein Mangel an integrativen Ansätzen, wobei der Mangel an strategischer Planung von CSR als primäre Schwachstelle gekennzeichnet werden kann [Rabe von Pappenheim, 2009, S. 29].

²⁵⁶ Für kleine Unternehmen sind zudem die oftmals große Distanz zum Tagesgeschäft und der unbestimmte ROI ein Hemmnis, um Anstrengungen im sozialen Bereich zu unternehmen [vgl. Schneider, 2008, S. 40].

²⁵⁷ Dubielzig notiert hierzu: „Das heißt, im Gegensatz zu ökologischen Themen kann bei sozialen Themen eine direkte Wirkung von einem Akteur auf einen anderen erfolgen. Bei ökologischen Themen erfolgt hingegen (...) eine Wirkung eines Akteurs auf die Natur was wiederum Auswirkungen auf andere Akteure haben kann. Folglich sind bestimmte soziale Wirkungen einem Akteur (Unternehmen) recht einfach zuzuweisen (z.B.: entlassene Mitarbeiter, Fälle von Kinderarbeit, geschaffene Lehrstellen). Im Gegensatz dazu kann bei ökologischen Themen häufig nur ein Beitrag eines Unternehmens definiert werden.“ [Dubielzig, 2009, S. 34].

²⁵⁸ Als eine besondere wissenschaftliche Aufarbeitung ist die Trend- und Praxisübersicht von Luczak, et al. im Bereich der betrieblichen Risikovermeidung zu würdigen. Hier analysieren die Autoren Daten aus über 1.000 Projekten, führen eine Metaanalyse von ca. 39.000 Veröffentlichungen durch und eine qualitative Analyse von ca. 100 Veröffentlichungen. Zudem stellen sie heraus, dass Maßnahmen, die toxikologische und durch physische Stressoren ausgelöste Risiken angehen, bereits mit hoher Wahrscheinlichkeit als effektiv einzustufen sind und schnell unter Beweis stellen können, während andere Maßnahmen noch immer, aufgrund diverser gegenläufiger Evaluationspraktiken und Interessengruppen nicht eindeutig (formal) in ihrer Wirksamkeit belegt sind [vgl. Luczak, et al., 2002, S. 82]. Im Kontext von Rationalisierungsmaßnahmen und im Hinblick auf die Arbeitnehmergesundheit, s. Westgaard und Winkel [Westgaard & Winkel, 2011, S. 261 ff.].

4.1.2.8 Zusammenfassung der Herausforderung einer allgemeingültigen Definition

Zusammenfassend ergeben sich im Hinblick auf soziale Nachhaltigkeitsaspekte eine Reihe an erschwerenden Rahmenbedingungen (zusätzlich zu den in Kap. 3 thematisierten Schwierigkeiten der Definition und Abgrenzung von Nachhaltigkeit), die sich hauptsächlich auf:

- die erhöhte Abhängigkeit von kulturellen Aspekten,
- die Multipolarität der sozialen Dimension,
- die Komplexität der Wirkungskorrelationen,
- die Themenvielfalt,
- die Probleme der Quantifizierbarkeit,
- die Schwierigkeit von Messungen und praktischen Auswertungen,
- und in der praktischen Anwendung auf die Zuständigkeitsvielfalt beziehen.

Dabei kann konstatiert werden, dass die von Omann und Spangenberg thematisierte „Zögerlichkeit“ hinsichtlich der Formulierung und Formalisierung von Zielwerten und die generell mangelnde Indikatorbildung²⁵⁹ zwar noch besteht, allerdings langsam überwunden wird²⁶⁰. Unter anderem durch sie mangelt es in manchen Bereichen an wissenschaftlich fundierten praktischen Erfahrungen bzgl. der Formalisierung sozialer Kriterien, die für etwaige Berechnungsrahmenwerke oder Simulationsstudien als Grundlage dienen könnten.

Folglich stellt sich die Frage nach institutionell genutzten und allgemeingültigen Standards. Dazu notierte Rabe von Pappenheim im Jahr 2009 und speziell bzgl. der Undurchsichtigkeit von sozialen Standards: „*Die offensichtliche Vielfalt der internationalen Konventionen lässt deutlich den Bedarf nach einer Vereinheitlichung erkennen, um größere Transparenz und*

²⁵⁹ Sie gehen dazu zwar besonders auf Sozialwissenschaftler ein, allerdings trifft dies ebenso auf andere Bereiche zu. Sie notieren: „*The bad experience of the 1960s makes social scientists hesitant to formulate normative targets. In order for social sustainability to be dealt with on equal footing with other dimensions of sustainable development, explicit social targets must be formulated. In the 1960s with their still quite homogeneous lifestyles, strong feelings about social objectives and the belief in the capacity of public authorities to steer society developments many such objectives have been suggested, with limited public resonance or even fierce rejection as ideological strait jackets. Today, most social scientists are hesitant about this kind of approach, denouncing it as not scientific and focussing their analytic capacities on small-scale issues accessible to their methodology. As a result, indicators and targets are suggested for small sections of social development, but little is said about the overall trend. The CSD, although suggesting a great many of indicators, is hesitant to formulate any explicit targets (UNSD 2000).*“ [Omann & Spangenberg, 2002, S. 4 f.].

²⁶⁰ So können verschiedene Beispiele für die Nutzung auch formalisierter sozialer Kriterien in der Praxis angeführt werden. Einen Überblick an Indikatoren kann bspw. in Schneider gesehen werden [Schneider, 2008, S. 40 ff.]. Die Autoren Rabe von Pappenheim und Dubielzig präsentieren Managementansätze [Rabe von Pappenheim, 2009, S. 39 ff.] und Controlling Ansätze [Dubielzig, 2009, S. 111 ff.] inklusive Indikatoren. Busch, et al. verweisen auf diverse Evaluationsstudien, Metaanalysen und Reviews zu Stress- und Ressourcenmanagement, um deren Effektivität zu belegen [Busch, et al., 2009, S. 89]. Westgaard und Winkel zeigen in ihrem Literaturüberblick diverse Studien in verschiedenen Industriezweigen zu Rationalisierungen und dem Management von Gesundheitsaspekten (mit besonderem Fokus auf Muskel-, und Skelettbeschwerden). Dabei zeigen sie auch positive und negative Einflüsse verschiedener Strategien auf [Westgaard & Winkel, 2011, S. 270 ff.]. Auch Badura, et al. skizzieren Standards des betrieblichen Gesundheitsmanagements und geben darüber hinaus Beispiele für erfolgreiche Modelle, Vorgänge der Diagnostik und Datenaufnahme, sowie des Sozialmanagements im Generellen [Badura, et al., 2010 (b), S. 147 ff.]. Im Kontext der Formalisierung kann das beschriebene Nachhaltigkeitsrahmenwerk von Odeh erwähnt werden, inklusive sozialer Indikatoren auf verschiedenen Ebenen mit Gewichtungen [Odeh, 2013, S. 134 ff.]. Ein Simulationsansatz im Bereich der Ergonomie wird von Lind, et al. beschrieben, wobei die genauen Wirkungskorrelationen und Gewichtungen nicht erläutert werden und der Ergonomiebereich nur als Unterkomponente fungiert [Lind, et al., 2008, S. 25 ff.].

auch Durchschlagskraft zu erreichen.“ [Rabe von Pappenheim, 2009, S. 17]. Seitdem wurden mit der neuen ISO 26000, der VDI Richtlinie 1449 und den erneuerten GRI Nachhaltigkeitsrichtlinien weitere organisatorische Hinweise darauf gegeben, wie auch soziale Kriterien klarer abzugrenzen sind und wie praktische betriebliche Verfahren soziale Aspekte besser managen können (zumeist im Kontext von CSR Maßnahmen). Dabei ist davon auszugehen, dass sich auch der Bewusstseinszustand innerhalb der Unternehmen aufgrund von zunehmend belegbaren positiven Effekten (auch ökonomischer Natur, siehe bspw. [Rabe von Pappenheim, 2009, S. 26]), vermehrter Kundenanfragen²⁶¹ und aufgrund der kommenden (zumindest EU-weiten) Notwendigkeit der Integration nicht ökonomischer Kennzahlen in die Berichterstattung erweitern wird.

Trotz diesen Anstrengungen bleiben die Inhalte dessen, was das Soziale impliziert, noch umstritten²⁶². Für diese Arbeit ist die Teilung zwischen Sozialkapital und Humankapital hauptsächlich im Hinblick auf die Indikatorbildung von Relevanz. So sollen die hauptsächlich nicht ökonomischen und nicht ökologischen Faktoren, welche über Bezüge zu Individuen aufweisen, grundsätzlich auf ihre soziale Funktion hin überprüft werden²⁶³. Eine ausführliche Analyse von Sozialer Nachhaltigkeit und Sozialem Kapital schließt sich an.

In diesem Sinne ist einleitend darauf hinzuweisen, dass die Nachhaltigkeitstheorie mit ihrer Dreiteilung und der Kapitalansatz zur Bestimmung sozialen Kapitals nicht gänzlich kohärent sind. Als ein, die soziale Nachhaltigkeit betreffendes, Gut lässt sich z.B. die menschliche Gesundheit definieren, die nach Putnams Definition nicht Bestandteil sozialen Kapitals wäre (da sich dieses eher an den Austauschbeziehungen orientiert und Gesundheit Humankapital zugeordnet wird). Eine ausführliche Erläuterung dieser Punkte schließt sich an.

²⁶¹ Hier ist auch noch einmal darauf hinzuweisen, dass sich durch die neuen Kommunikationsmöglichkeiten der Trend der Offenlegung (oder des sog. „Leakings“, bei negativer Konnotation) von Geschäftspraxen voraussichtlich weiter verstärken wird. Dies schließt auch ein, dass sich negatives Feedback, wie es bspw. in Sedláček und Tanzer [Sedláček & Tanzer, 2015, S. 108] oder in Dubielzig [Dubielzig, 2009, S. 1 ff.] diskutiert wird, in der Zukunft (noch) stärker auswirken wird und demnach das Umdenken, von rein ökonomischer Firmenausrichtungen hin zu auch sozial orientierter Unternehmensführung, nachhaltig verstärken wird.

²⁶² Abgesehen von Benoîts und Vickery-Niedermanns Literaturüberblick wird soziales Kapital auch in Conrad [Conrad, 2007, S. 53 ff.] genauer analysiert. Dabei bezieht er sich u.a. auf Zierschs Aussage zur Inkonsistenz der Konzeptualisierungen [Ziersch, et al., 2005, S. 71] (in Analogie zu Rabe von Pappenheim).

²⁶³ Langer wechselt teilweise zwischen Einteilungen, erst verweist er auch auf die Nachhaltigkeitsbetrachtung, dann macht er eine andere Einteilung, indem er sich auf Wissenstheorie und Grundsätze der ökonomischen Lehre beruft. Er versteht soziales Kapital in einem Zwischenfazit, analog zu ökonomischem, grundsätzlich als „Vertrauensbasis“ für wirtschaftliche Transaktionen. So notiert er: „*Sozialkapital wird aus statischer Sicht als Zugangsstruktur konzeptualisiert. Dazu wird Sozialkapital machttheoretisch interpretiert. Sozialkapital ist aus dieser Sicht Voraussetzung für den sozialen Tausch bzw. die soziale Transaktion. Für diese Art der Konzeptualisierung sind die Besonderheiten des sozialen Tauschs (symbolische Verkleidung, Verschleierung ökonomischer Zwecke) relevant. Sozialer Tausch ist grundsätzlich durch eine indetermierte Gegenleistung gekennzeichnet (Art, Zeitpunkt). Sozialer Tausch ist auf diese Weise unsicher und erfolgt unter Unsicherheit im externen Entscheidungsumfeld. Neben Vertrauen betont die Sozial- und Machttheorie die relativen Abhängigkeiten zwischen Transaktionspartnern oder Autonomie.*“ [Langer, 2011, S. 255]. Wenn auch logisch kohärent, mit der Aufteilung des nicht-ökonomischen und nicht-ökologischen Kapitals auf Human-, Wissens- und Sozialkapital (siehe [Langer, 2011, S. 13 ff.]), scheint die Auffassung sozialen Kapitals als Zugangsstruktur eher transaktionsorientiert. Es ist anzumerken, dass eine Vielzahl der Definitionen in diese Richtung geht, bspw. von Putnam [Putnam, 1995, S. 67] und Fukuyama [Fukuyama, 1991, S. 13 ff.] und soziales Kapital als komplementäres Kapital zu Humankapital gesehen wird, welches sich eher auf die Kooperationsbeziehungen, denn auf die tatsächlichen Ressourcen bezieht. In dem Sinne bleibt Langer mit der bestehenden Theorie im Kontext der Kapitaldefinitionen (beidseitig) kohärent. Aus einer eher Nachhaltigkeits-geprägten Wahrnehmung bleibt allerdings die Betitelung „sozial“ als Oberkategorie bestehen, was im Folgenden vertieft wird.

4.1.3 Inhalt und Implikationen sozialer Nachhaltigkeit und sozialen Kapitals

4.1.3.1 Einführung und Ausblick

Wie in Kapitel 3 ausgeführt, haben sich Kapitalansätze als ein Ansatz zur Messung von Nachhaltigkeit relativ etabliert. Dies impliziert, dass die zugrundeliegenden Dimensionen durch Indikatoren messbar gemacht werden und ihre Aggregate als Kapitalstöcke der Nachhaltigkeitssäulen definiert werden können.

Dem folgt, dass die Definition sozialen Kapitals Ausgangsbasis für die Berechnung der sozialen Säule und somit der Nachhaltigkeit im Ganzen ist. Allerdings wird soziales Kapital anders definiert, als die soziale Säule der Nachhaltigkeit es implizieren würde. Diesbezüglich gibt es, wie bereits einleitend erwähnt, verschiedene Ansätze zur Definition sozialen Kapitals und entsprechend verschiedene Ableitungen von Kriterien. Hier ist zusätzlich herauszustellen, dass der theoretisch genutzte und teils stark vertiefte Term „soziales Kapital“, nicht kohärent in der Literatur genutzt wird („*weiß hohe Heterogenität auf*“ [vgl. Gabbay & Leenders, 1999, S. 2], [vgl. Blank, 2001, S. 376], [Langer, 2011, S. 14]). Somit ist auf die konzeptuelle Trennung zwischen sozialer Nachhaltigkeit und sozialem Kapital hinzuweisen. Darüber hinaus gibt es praktischere Herangehensweisen der Abgrenzung und Indikatordefinition, die sich bspw. auf die Bildung sozialer Einwirkungskategorien²⁶⁴ beziehen und Nachhaltigkeit nachgelagert bzw. als Resultat der Auseinandersetzung betrachten.

Um die verschiedenen inhaltlichen Abgrenzungen zu adressieren und zudem eine breite Basis für einen Ansatz zu bilden, der als Grundlage der Implementation dienen kann, wird in der Folge ein Überblick über die teils in Konflikt stehenden konzeptuellen Ansätze gegeben. Dazu werden in Punkt 4.1.3.2 zuerst Standards und Definitionen sozialer Nachhaltigkeit erwähnt. Daraufhin werden die theoretischen Unterschiede sozialer Nachhaltigkeit und sozialen Kapitals verdeutlicht und das Verbindende betont. Dem folgt eine erste Auseinandersetzung mit Indikatorsystemen und Wirkungsabschätzungen, um ein breites Verständnis davon zu bilden, was in aktuellen Verfahren im Bereich des Sozialen betrachtet wird. Das Ziel dieser Betrachtung ist das Deduzieren und die Abgrenzung der Implikationen des Sozialen, sinnvoller Kriterien und formaler Strukturen. Demnach werden Ansätze, die sich auf die Bildung von Indikatoren und formalen (Gewichtungs-)Strukturen beziehen, besonders beachtet, während stark theoretische Ausführungen bzw. Vertiefungen referenziert werden.

Diesen verständnisbildenden Erläuterungen wird eine Betrachtung der Quantifizierbarkeit sozialer Aspekte in innerbetrieblichen Strukturen, inklusive entsprechender Instrumente, mit besonderem Fokus auf die Produktion, folgen (in Abschnitt 4.2), um einerseits Überschneidungspunkte zwischen dem Simulationsansatz und anderen Ansätzen zu determinieren, den eigenen Ansatz gegen diese abzugrenzen und strukturelle Vorgehensweisen, die die eigene Konzeption unterstützen können, zu definieren. Schließlich wird der in dieser Arbeit verfolgte Ansatz vorgestellt (Abschnitt 4.3) und zur Konzeption übergeleitet.

²⁶⁴ Von dem Englischen „social impact categories“, um die bspw. von Porter und Kramer [Porter & Kramer, 2006, S. 86] definierten Einwirkungsebenen des Sozialen greifbarer zu machen. Das bedeutet, dass untersucht wird, wo soziale Wirkungen auftreten, von was sie ausgehen und wie sie quantifiziert werden können. Dazu werden verschiedene Ebenen untersucht, um der beschriebenen Multipolarität Rechnung zu tragen (d.h., es gibt diverse Abstufungen von sowohl organisatorischen Umsetzungen, die sich eher auf gesellschaftliche Aspekte beziehen bis zu solchen, die das betriebliche und produktionsnahe Wirken konkreter thematisieren).

4.1.3.2 Einleitende Hinweise auf Definitionen sozialer Nachhaltigkeit

In den Nachhaltigkeitsrichtlinien (4) der globalen Reporting Initiative (GRI) wird die Beschreibung des Sozialen eingeleitet mit „*The social dimension of sustainability concerns the impacts the organization has on the social systems within which it operates. The Social Category includes the sub-Categories:*

- *Labor Practices and Decent Work,*
- *Human Rights,*
- *Society,*
- *Product Responsibility*“ [GRI, 2013, S. 64].

Aus dieser einen Bezug zwischen der sozialen Säule der Nachhaltigkeit und Organisationen herstellenden Definition wird deutlich, dass auch die GRI bei der Definition des Sozialen eine kontextbildende Abhängigkeit zwischen Untersuchungsobjekt und systemischer Einbettung feststellt. Dies wird von den vier Subkategorien noch verstärkt, da diese logisch auf unterschiedliche systemische Ebenen fokussieren. So sind gesellschaftliche Auswirkungen und Menschenrechte eher „Umsystemen“ zuzuordnen, während Produktverantwortung und Arbeitspraktiken sich auf Lebenszyklen, Prozesse oder Individuen beziehen können.

Die CSR Definition der ISO 26000 wird in ihrer Betrachtung konkreter und beschreibt CSR als die Verantwortungen einer Organisation für die Auswirkungen ihrer Entscheidungen und Aktivitäten auf Gesellschaft und Umwelt durch transparentes und ethisches Verhalten,

- das zur nachhaltigen Entwicklung,
- Gesundheit und Gemeinwohl eingeschlossen, beiträgt;
- die Erwartungen der Anspruchsgruppen berücksichtigt (siehe Stakeholderansatz in 4.1.3.4), anwendbares Recht einhält und im Einklang mit (...) Standards steht; und
- in der gesamten Organisation integriert ist und in ihren Beziehungen gelebt wird [vgl. ISO 26000, 2011, S. 17].

Somit wird CSR als ermöglichendes Instrument (engl. „enabler“) von Nachhaltigkeit im Ganzen und sozialer Nachhaltigkeit im Speziellen definiert [vgl. ISO 26000, 2011, S. 12]²⁶⁵.

Axelsson, et al. trennen zudem zwischen traditionellen und aufkommenden Aspekten sozialer Nachhaltigkeit²⁶⁶. Als Letztere definieren sie „*Demographic change (aging, migration, mobility), Social integration and cohesion, Identity, sense of place and access, Health and safety, Social capital, Wellbeing, happiness and quality of life*“ [Axelsson, et al., 2013, S. 218] und beschreiben damit, im Vergleich zu den beiden Standards, ein eher individuumsbezogenes Bild der Inhalte sozialer Nachhaltigkeit. Zudem verweisen auch sie auf soziales Kapital als ein Inhalt sozialer Nachhaltigkeit. Dieser inhaltlichen Verbindung folgend wird der Bezug zwischen sozialem Kapital und sozialer Nachhaltigkeit im Anschluss vertieft.

²⁶⁵ Zusätzlich ist festzuhalten, dass die CSR Richtlinie sich auf sieben sog. Kernthemen bezieht, die sich, ebenso wie die GRI Richtlinie, auf Menschenrechte, Arbeitspraktiken und Gesellschaft (Einbindung und Entwicklung der Gemeinschaft) beziehen, zusätzlich dazu werden noch Konsumentenangelegenheiten (mit „product responsibility“ vergleichbar), Umwelt und Organisationsführung und faire Geschäftspraktiken mit diversen weiteren Subkategorien definiert [vgl. ISO 26000, 2011, S. 10 f.].

²⁶⁶ Zusätzlich zu ihrer Auseinandersetzung mit sozialer Nachhaltigkeit diskutieren sie auch die Einführung einer vierten, sich auf Kultur beziehenden Säule der Nachhaltigkeit [Axelsson, et al., 2013, S. 216 ff.].

4.1.3.3 Theoretische Unterschiede sozialen Kapitals und sozialer Nachhaltigkeit

Als Begründung für die Notwendigkeit der gesonderten Betrachtung sozialen Kapitals und sozialer Nachhaltigkeit ist anzuführen, dass sich der zugrundeliegende Kapitalstock der sozialen Nachhaltigkeit in seinen Kriterien/Indikatoren von denen, die in der Literatur hauptsächlich bei der Betrachtung sozialen Kapitals genutzt werden, bisweilen stark unterscheidet. Ein Einblick dazu wurde mit der Referenz zu Conrad [Conrad, 2007, S. 53] (S. 115) gegeben, der sich bzgl. der historischen Einordnung auf Hanifans Definition aus dem Jahre 1916 bezieht, und in der Folge die oft genutzte Definition von Putnam [Putnam, 1995, S. 67] aufgreift. Putnam seinerseits impliziert unter sozialem Kapital, abstrahiert, Netzwerke, Normen und Vertrauen, welche Kooperationen begünstigen und durch diese zu beidseitigem Gewinn führen. Dies erinnert an Nef's Definition des Sozialen (S. 101)²⁶⁷. Ein Überblick dazu und eine Einordnung der frühen Auseinandersetzung mit sozialem Kapital kann in Grootaert und van Bastelaer [Grootaert & van Bastelaer, 2001, S. 4 ff.] nachgelesen werden. Hier wird besonders auf die „Social Capital Initiative“ der Weltbank eingegangen²⁶⁸, und die Arbeiten von Coleman, Putnam und Bourdieu referenziert, welche als die wichtigsten (frühen) Diskussionspapiere qualifiziert werden können (siehe auch Abb. 33, S. 120)²⁶⁹.

Um zu erläutern, warum die bereits bestehenden Definitionen sozialen Kapitals nicht einfach in dieser Arbeit übernommen werden, ist auf vier Aspekte hinzuweisen. Erstens entsprechen sie nicht den Definitionen sozialer Nachhaltigkeit. Zweitens sind sie nicht kohärent, d.h., es gibt nicht eine kondensierte Fassung, die alle Betrachtungswinkel aggregiert, siehe dazu auch den umfassenden Überblick von Definitionen in [Adler & Kwon, 2002, S. 20]. Drittens sind sie formal schwerer aufzulösen, als wenn bspw. Humankapital integrativ betrachtet wird (was sie i.d.R. nicht tun). Viertens kommt es bei manchen der Definitionen

²⁶⁷ Man kann hier auf Weizsäcker, et al. verweisen, die diese Auslegungen an Menschenbild-Wahrnehmungen diskutieren und diesbezüglich u.a. Hobbes und Clark referenzieren, siehe [Weizsäcker, et al., 2010, S. 365 ff.].

²⁶⁸ Um zwei Auszüge zu geben kann bspw. in Rossing Feldman und Assaf nachgelesen werden, wie verschiedene Autoren soziales Kapital aus unterschiedlichen Blickwinkel betrachten: So diskutiert bspw. Coleman wie soziales Kapital entsteht und definiert drei verschiedene Formen, die ferner als Basis zur Entstehung von Humankapital dienen können [vgl. Coleman, 1988, S. 95 ff.], [vgl. Rossing Feldman & Assaf, 1999, S. 11]. Ferner wird Bourdieu zitiert, der soziales Kapital definiert als *“the aggregate of the actual or potential resources which are linked to possession of a durable network of more or less institutionalized relationships of mutual acquaintance and recognition – or in other words, to membership in a group – which provides each of its members with the backing of the collectively-owned capital.”* [Rossing Feldman & Assaf, 1999, S. 10]. Was an diesen beiden Beispielen bereits deutlich wird, ist die noch sehr unterschiedliche Wahrnehmung von sozialem Kapital, welche in der Zusammenfassung von Grootaert und van Bastelaer aus dem Jahre 2001 zwar teilweise aufgelöst wird, in dem sie viele Ansätze in ihren Kernaspekten aggregieren, allerdings bleibt bei der initialen Zusammenfassung eine breite Varianz bestehen. So berufen sie sich in der Folge wiederum auf den Brundtland-Report bzw. die intergenerationelle Gerechtigkeit (sie zitieren Serageldin, der auch auf die konzeptuelle Problematik sozialen Kapitals im Kontext von Nachhaltigkeit hinweist [Serageldin, 1996, S. 187 ff.]) und stellen soziales Kapital folglich als schützenswertes Gut dar [Grootaert & van Bastelaer, 2001, S. 7]. Die folgende Erläuterung der Kerncharakteristika hat weiter hohe Relevanz, da sie viele Aspekte thematisiert, wie bspw. die Ebenen-Wahrnehmung, die kulturellen Dimensionen und konzeptuelle Ideen bzgl. Messung und Bewertung, die teilweise bereits erläutert wurden [Grootaert & van Bastelaer, 2001, S. 8 ff.].

²⁶⁹ Es ist anzumerken, dass man manche Beiträge der Social Capital Initiative relativieren muss, da die von der Weltbank ausgehenden Definitionsansätze von verschiedenen Autoren kritisch gesehen werden (Deutungshoheit). Gleichzeitig hat die Weltbank im Jahr 2012, aufgrund vielfacher Kritik an Vergaberichtlinien (die Umwelt-/Sozialstandards inkorporieren), einen „Review“ bisheriger Standards angekündigt. Bei Umwelt- und Menschenrechtsorganisationen stießen diese Reformpläne auf Ablehnung. *„19 Nichtregierungsorganisationen wie Oxfam und Amnesty International warfen der Weltbank in einer gemeinsamen Erklärung einen gefährlichen Rückschritt bei Umweltschutz und sozialem Schutz vor.“* [vgl. ORF, 2015].

zu einer starken Fokussierung auf die transaktionsermöglichende Natur sozialen Kapitals, die in dieser Arbeit kritisch gesehen wird. Zwar sind die Ausführungen bzgl. des ermöglichenden Charakters sozialen Kapitals i.d.R. stimmig, allerdings führt die Reduktion der Definition sozialen Kapitals als Zugangsformel für gewinnbringende und/oder ökonomische Tauschgeschäfte zur Abkehr des Fürsorgecharakters anderer sozialer Definitionen. Um dies beispielhaft zu erklären, können in Abb. 32 verschiedene Formen der Darstellung sozialen Kapitals gesehen werden. Dabei richtet sich die Darstellung von Badura, et al. (mittig) auf die (Austausch-)Beziehungen zwischen den differenziert betrachteten Kapitalsorten (Human- und Sozialkapital sowie „Kooperation“). In dem Sinne wird in ihrer Darstellung soziales Kapital auch als Möglichkeit zur positiven Entwicklung von Humankapital gesehen, was in Bourdieu nur interpretiert werden könnte, da er sich eher auf den Ressourcenzugang durch Netzwerkzugehörigkeit bezieht [vgl. Bourdieu, 1986, S. 246 f.]. Auch bei Putnam's Definition muss man den definierten persönlichen Gewinn erst als Auswirkung auf Humankapital auslegen, allerdings weist er in manchen seiner Veröffentlichungen durchaus darauf hin. Das konzeptuelle Rahmenwerk auf der linken Seite der Abbildung hat eher beschreibenden Charakter, während die ganz rechte Darstellung eindeutig auf die Kapitalrentabilität hinweist und man somit soziales Kapital eher aus der Perspektive der Multiplikatorfunktion möglicher Geschäftspartner sowie Opportunitäten interpretieren kann²⁷⁰.

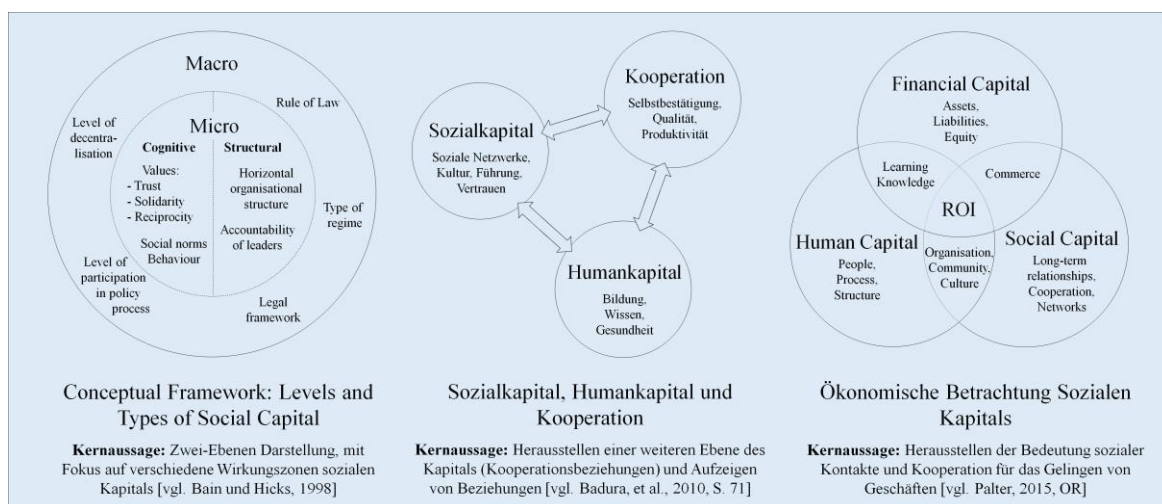


Abbildung 32: Verschiedene Darstellungsformen sozialen Kapitals

²⁷⁰ Diese Interpretation ist eher wirtschaftlich konnotiert, allerdings kohärent mit Definitionen, die soziales Kapital als die Beziehungen zwischen Individuen, zwischen Institutionen und zwischen Individuen und Institutionen deklarieren [vgl. Pearce & Atkinson, 1998, S. 252], [vgl. Langer, 2011, S. 15]. Der Zweck dieser Interaktionsbeziehungen wird in der Interpretation der Abbildung allerdings unterstellt und folgert sich aus dem eher ökonomisch konnotierten Sprachgebrauch. Langer differenziert hier zudem „klassisch“ und spaltet die Kapitalstöcke in einer initialen Betrachtung auf Wissens-, Human-, Sozial- und gesellschaftliches Kapital weiter auf [vgl. Langer, 2011, S. 13 ff.], was auch auf den wissenstheoretischen Fokus seiner Arbeit zurückzuführen ist. Ferner bemerkt auch er die prinzipielle Unterscheidung zwischen der Nachhaltigkeitskonzeption und der „Kapitaltheorie“ bzgl. der Definition sozialen Kapitals und entscheidet sich letztlich für die der Nachhaltigkeit entsprechende. Er notiert: „Ausgehend vom Begriffsverständnis des sozialen Kapitals im Sinne der St. Galler Schule als Oberbegriff für die soziale Dimension in der Nachhaltigkeitskonzeption sollen darunter das Human- und Sozialkapital gefasst werden. Wissenskapital (i. e. S.) wird grundsätzlich als ökonomische Kapitalform verstanden. Davon ausgenommen sind Überschneidungen zwischen Human- und Sozialkapital, die diesen beiden Kapitalformen zugerechnet werden. Diese grundlegende Differenzierung wird nachfolgend als Arbeitsdefinition für das soziale Kapital zur Abgrenzung von ökonomischen und ökologischen Kapital zu Grunde gelegt.“ [Langer, 2011, S. 15]. Hier ist jedoch anzumerken, dass seine Vertiefung der Interdependenzen von sozialem Kapital und Wissenskapital die Transaktionsfunktion sozialen Kapitals wiederum betonen.

Langers Interpretation dieser und weiterer Definitionen orientiert sich schließlich ebenso an der „*Bildung sozialer Netzwerke, die auf gemeinsamen Normen und Werten sowie Vertrauen basieren*“ [vgl. Bynner, 2002, S. 3], [vgl. Giddens, 2001, S. 76], [Langer, 2011, S. 14]. Diese an Putnam angelehnte Definition (*“features of social organization such as networks, norms, and social trust that facilitate coordination and cooperation for mutual benefit”*) [Putnam, 1995, S. 67]) ist bzgl. dessen zu hinterfragen, ob die Netzwerke grundsätzlich auf denselben Normen bestehen müssen oder Unterschiede bestehen können, solange diese die Funktion des Netzwerkes nicht oder nur bedingt beeinträchtigen²⁷¹. Gerade im Kontext des interkulturellen Austausches sollte hier darauf hingewiesen werden, dass Putnam, mit seinen Ausführungen zu „*bridging*“ und „*bonding*“ („*social capital*“) explizit auf die Unterschiede der Herstellung neuer Verbindungen und der Pflege existierender hinweist²⁷². Zudem ist, laut Siisiäinen, Putnam’s zentrale These, dass die Güte des ökonomischen Systems und die politische Partizipation zu großem Maße auf regionaler Akkumulation von sozialem Kapital fußen [vgl. Siisiäinen, 2000, S. 1]²⁷³. Prinzipiell sind seine Thesen damit am nächsten an der in der Nachhaltigkeitsdefinition der sozialen Säule (im Vergleich zu Bourdieu und Coleman, teilweise auch Fukuyama, siehe [Fukuyama, 2001, S. 7 ff.]).

Der Großteil dieser Definitionen unterstreicht die immaterielle Natur und den Fokus auf die Austauschbeziehungen, die durch soziales Kapital (teilweise erst) ermöglicht sowie durch es repräsentiert werden. Conrad bezieht sich zudem auf Bolin, et al. und stellt heraus, dass das soziale Kapital einen Bezug zwischen Formen (Individuen/Institutionen/etc.) herstellt, im Gegensatz zu Humankapital, welches individuelle Eigenschaften charakterisiert oder darstellt [Conrad, 2007, S. 54]²⁷⁴. Dies führt er wiederum an Putnam’s Erläuterungen zur Pflege und Brücken-bildenden Natur sozialen Kapitals aus [Conrad, 2007, S. 57 f.]²⁷⁵.

Der Kernunterschied zwischen der Betrachtung sozialen Kapitals aus der theoretischen Perspektive der Kapitalansätze und aus der nachhaltigkeitsorientierten Perspektive kann somit an der Inklusion verschiedener Kapitalstöcke in der Nachhaltigkeitsorientierung festgemacht werden, die in der Kapitaltheorie eher getrennt werden. Um die Komplexität der unterschiedlichen Definitionen und Interpretationen aufzulösen, abstrahiert Abb. 33 die bisher vorgestellten Betrachtungen und setzt sie in Relation zur Nachhaltigkeitsperspektive.

²⁷¹ In dem Sinne ist auch das „*moralische Orientierungswissen*“ von Döring und Ott einzuordnen als das sie soziales Kapital beschreiben [vgl. Döring & Ott 2001, S. 320], [vgl. Langer, 2011, S. 14].

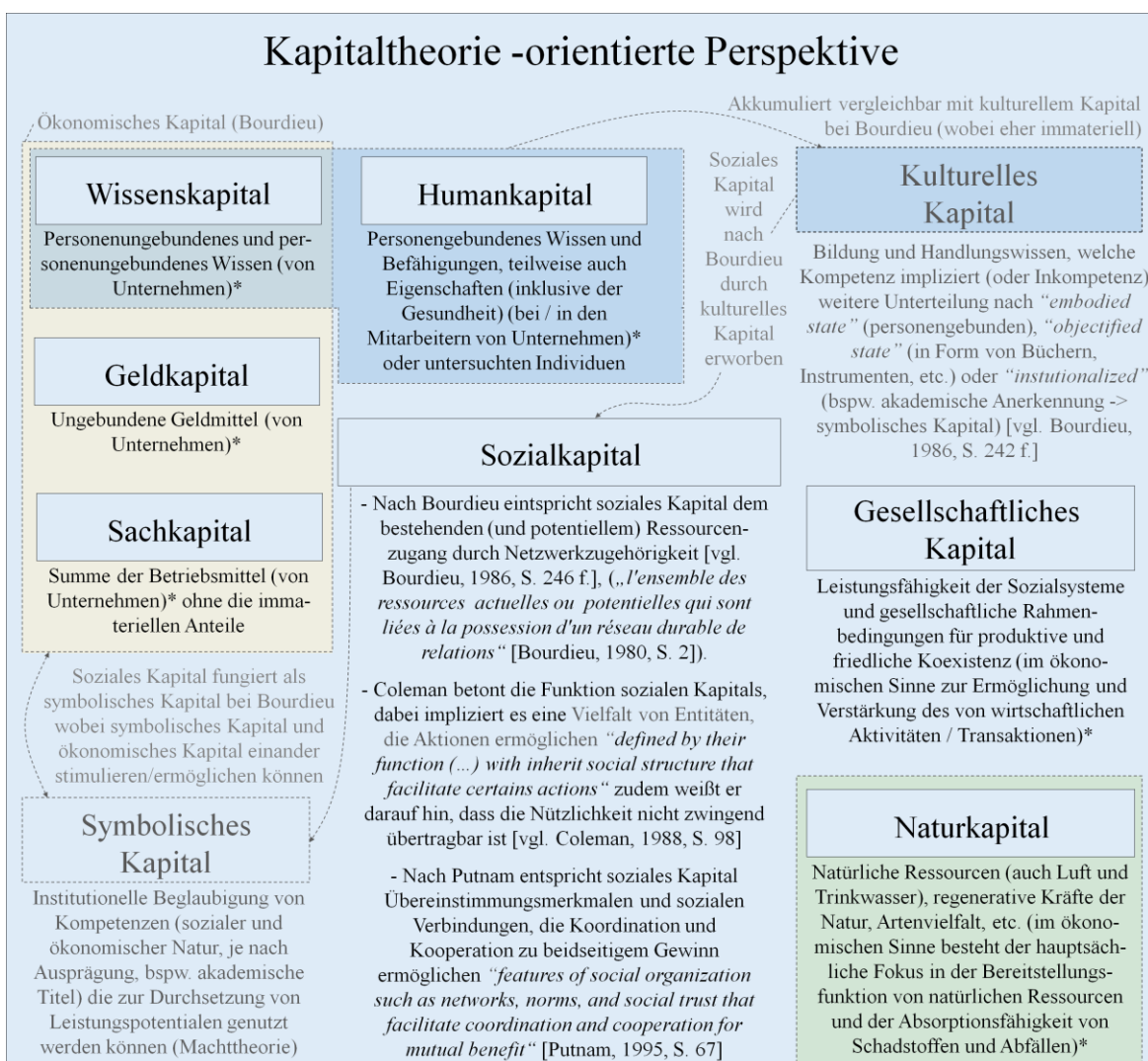
²⁷² Demzufolge kann auch unterstellt werden, dass die Formulierung der gemeinsamen Werte und Normen nicht eine Exklusivität impliziert und es somit „nur“ verbindende Elemente braucht, die eine Kommunikationsstruktur eröffnen, welche folglich als Grundlage des Netzwerkes genutzt werden und die Austauschmöglichkeiten etwaige Gewinne auf beiden Seiten stimulieren kann, siehe [Nahapiet & Ghoshal, 1998, S. 243 f.].

²⁷³ Das Zitat lautet: „*Putnam’s central thesis is that if a region has a well-functioning economic system and a high level of political integration, these are the result of the region’s successful accumulation of social capital*“ [Siisiäinen, 2000, S. 1]. Dabei bezieht er sich auf Putnam’s Vergleiche zwischen Italien und den USA.

²⁷⁴ Darüber hinaus beschreibt er die Notwendigkeit einer funktionsorientierten Definition des Terms. In dem Sinn kann auch Langers Referenz auf Coleman verstanden werden, wenn er notiert: „*Allerdings kann Sozialkapital erst unter der Voraussetzung, dass es den Akteuren zur Unterstützung produktiver Aktivitäten und damit zu der Erreichung ihrer Ziele dient, als Ressource angesehen und auf diese Weise als Kapital verstanden werden* [vgl. Coleman, 1990, S. 304 f.].“ [Langer, 2011, S. 14]. Um eine praktische Anwendung von Sozialkapital zu erwähnen, kann auf Hadeishi und Fukuyo verwiesen werden, die sich mit Ausprägungen von Sozialkapital im Bezug zu der alternden Gesellschaft in Japan auseinandersetzen und in der Stärkung von Sozialkapital Ansätze sehen, um positive gesellschaftliche Effekte zu erzielen, s. [Hadeishi & Fukuyo, 2012, S. 9].

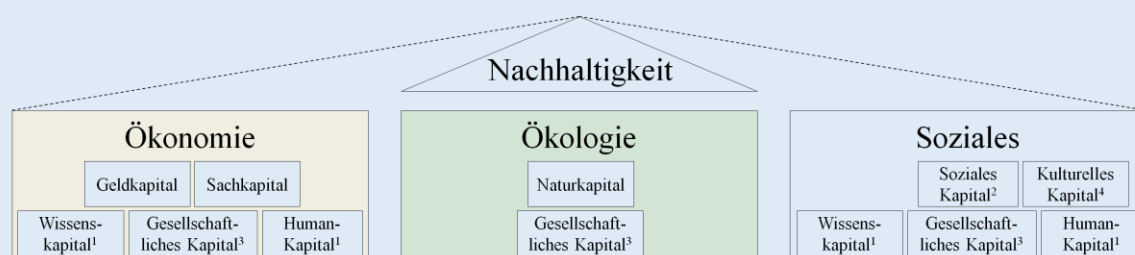
²⁷⁵ In einer weiteren Unterteilung würde man davon auszugehen, dass jede Beziehung einen eigenen Kapitalstock darstellt und es funktionale Unterscheidungen zwischen Aufbau und Pflege von Verbindungen gibt.

Kapitaltheorie -orientierte Perspektive



*Die wirtschaftliche Orientierung wurde hier teilweise überspitzt. Konzeptuell können die (nicht ökonomischen) Kapitalarten auch ohne den direkten Bezug zu wirtschaftlichem Handeln/Unternehmen definiert werden

Exemplarische Zuordnung in der Nachhaltigkeits-Perspektive



¹ Verschiedene Aspekte, die in der Kapitaltheorie in unterschiedlichen Kapitalsorten betrachtet werden, werden in der Nachhaltigkeits-theorie sowohl durch ökonomische als auch soziale Nachhaltigkeit, bzw. ihre Indikatoren adressiert.

² Soziale Nachhaltigkeit fasst i.d.R. die meisten Indikatoren von Sozialem Kapital, Humankapital und individuellem Wissenskapital zusammen, ebenso werden soziale Strukturen des gesellschaftlichen Kapitals i.d.R. Sozialer Nachhaltigkeit zugeordnet.

³ Mit gesellschaftlichem Kapital werden auch oft gesellschaftliche Strukturen beschrieben, die sich positiv auf verschiedene Bereiche auswirken (in der Kapitaltheorie teilweise im Netzwerkgedanken sozialen Kapitals integriert), die Strukturen können ihrerseits verschiedene Nachhaltigkeitsbereiche begünstigen.

⁴ Kulturelles Kapital wird i.d.R. auch in der Wahrnehmung sozialen Kapitals/sozialer Strukturen in sozialer Nachhaltigkeit integriert betrachtet. Hier ist jedoch darauf hinzuweisen, dass die existierenden Definitionen kulturellen Kapitals in der Nachhaltigkeits-perspektive sich stark von Bourdieu's Definition unterscheiden und es mehr um kulturellen Austausch, Vielfalt und Teilhabe geht.

Abbildung 33: Zuordnung und Unterschiede des Sozialen in Kapitaltheorie und Nachhaltigkeits-Perspektive

Abb. 33 kann auch die These visuell verdeutlichen, dass die begriffliche Dreiteilung von Nachhaltigkeit der Hauptgrund ist, der die stärkere Zuordnung von Aspekten, die in Kapitalansätzen eher getrennt werden, zur sozialen Säule der Nachhaltigkeit begünstigt. So ist davon auszugehen, dass der zugrundeliegende Kapitalstock sozialer Nachhaltigkeit aufgrund der begrifflichen Zugehörigkeit auch mit dem Term „sozial“ beschrieben wird, während die Kapitaltheorie nicht auf die postulierten Säulen der Nachhaltigkeit zurückgreift und daher das Soziale nicht in den gleichen begrifflichen Rahmen eingegliedert werden muss.

Dem folgt allerdings, dass die soziale Nachhaltigkeit noch immer weitaus undefinierter in ihren Grenzen bleibt und diverse Kriterien der verschiedenen Kapitalformen als eigene Indikatoren inkorporiert, obwohl der Aggregationsansatz i.d.R. vergleichbar ist. Dies, in Verbindung mit der Multipolarität und den kulturellen Abhängigkeiten, führt zu sehr differenzierten Indikatorsystemen auf verschiedenen Ebenen, die alle versuchen das Soziale eines untersuchten Sachverhaltes einzugrenzen und mit formalen Beschreibungen zu belegen. Dabei wird, auch aufgrund der unspezifischen Grenzen, häufig auf die Brundtland-Definition und inter- und intragenerationelle Gerechtigkeit als Kernkriterien der sozialen Säule verwiesen. Dies führt allerdings erneut zu ethischen Konfliktbeziehungen²⁷⁶

Um den kontemporär wissenschaftlich untersuchten Inhalt von sozialen Indikatorsystemen und die Vorgehensweise, von der Absicht der Messung sozialer Nachhaltigkeit, hin zu Systemen greifbarer zu machen, wird in der Folge auf Ansätze verwiesen, die das Soziale bereits „messen“ oder bewerten. Dabei sind die Kernfragestellungen für die Konzeption, wie eine Vorgehensweise von der Systemanalyse zur Beschreibung sozialer Kriterien aussehen kann, welches die Kriterien sind und wie Kriterien/Ergebnisse validiert werden können. Dazu wird im Anschluss auf sog. Stakeholderansätze²⁷⁷ eingegangen, die als Managementansätze zu qualifizieren sind, allerdings aufgrund ihrer hauptsächlichen Aufgabe, der Definition von Anspruchsgruppen, eine Basis für soziale Wirkungsabschätzungen bilden. Dies tun sie, indem sie die Fragen beantworten, welche Gruppen bei der Eruierung sozialer Wirkungen einbezogen werden müssen und wie Beziehungsgeflechte aussehen. So referenzieren u.a. auch Dubielzig, Langer, Thiede, Benoît und Vickery-Niedermann und viele weitere Autoren in ihren Eruierungen der sozialen Säule entsprechende Ansätze zur Beantwortung der Fragen, wer mit in die Betrachtung einbezogen wird und wie dies geschieht²⁷⁸.

²⁷⁶ Diese entstehen hauptsächlich aufgrund des „*Nachhaltigkeitsdilemmas*“, bzw. der physikalischen Unmöglichkeit der gleichzeitigen Erfüllung der Gerechtigkeitsformen mit bestehenden technologischen Mitteln und unter Voraussetzung existierender Produktionsmuster [vgl. Hilty & Ruddy, 2010, S. 8 ff.]. Radermacher fasst beide Gerechtigkeitsansprüche in ihrer Legitimität im Kontext des „*gemeinsamen Erbe der Menschheit*“ zusammen [Radermacher, 2013, S. 35], mit Beyers redet er auch vom „*Superorganismus Menschheit*“ [Radermacher & Beyers, 2011, S. 31 ff.]. Die ethischen Konflikte beziehen sich u.a. auf Verteilungsgerechtigkeit und Chancengleichheit im Hinblick auf wirtschaftliche Aufholprozesse von Schwellenländern. Hier kommt es zu Konflikten aufgrund der Auswirkungen von Industrialisierungsprozessen, welche die Industrienationen, mit dem Verweis auf den Klimaschutz, bei vielen Ländern kritisieren [vgl. Widok, et al., 2011 (a), S. 859 f.].

²⁷⁷ Ein Stakeholder wird dabei definiert als „*any group or individual who can affect or is affected by the achievement of the organization's objectives*“ [Freeman, 1984, S. 46], [vgl. Dubielzig, 2009, S. 21].

²⁷⁸ Auch im Bezug zu Produktionen ist diese Bildung von Gruppen notwendig, um Kriterien festzulegen, auf wen soziale Einflüsse wirken. Besonders im Kontext von Überschneidungspunkten zu LCA ist dies zu erwähnen, da es bei diesen i.d.R. sowohl zu gesellschaftlichen als auch zu Abschätzungen für Konsumenten und prozessinterne Akteure kommt. Wenn man systemtheoretisch daher die Produktion als einen Teil des Lebenszyklus betrachtet, eröffnet sich ein ähnliches Geflecht an Wirkungsebenen, einerseits produktionsintern, andererseits durch die ökologischen Auswirkungen und durch die genutzten Materialien und Stoffe (welche mit sozialen Wirkungen vorbelastet sein können) auch über die klassischen Produktionssystemgrenzen hinaus.

4.1.3.4 Bestimmung sozialer Kategorien und Indikatoren durch Stakeholderbezüge

Um die Inhalte sozialer Nachhaltigkeit besser zu verstehen, wird in der Folge die Bestimmung sozialer Kategorien und Indikatoren an einem Verfahren beispielhaft vorgestellt. Dabei steht am Anfang jedweder Modellierung sozialer Aspekte die Frage nach der Betroffenheit. Wie u.a. von Badura, et al. [Badura, et al., 2010 (b), S. 62] dargestellt, können Auswirkungen sich entweder auf Individuen beziehen oder auf Netzwerkebenen wirken²⁷⁹. Um diese Kategorisierung weiter zu konkretisieren kann das Verfahren der Bestimmung sozialer Wirkungen, das sog. „Social Impact Assessment“ betrachtet werden, das als systematische Abschätzung sozialer Folgen übersetzt werden kann. In seiner anwendungsorientierten Ausprägung der Definition von Einflusskategorien werden erst Gruppen definiert, die mit Einflüssen in Relation stehen. Dies impliziert den sog. Stakeholderansatz. Der Hintergrund ist hier, dass ohne eine Kontextbildung zu den involvierten Akteuren eine Bestimmung der sozialen Wirkungen nicht möglich ist (oder zu allgemein bleibt). Um dies exemplarisch darzustellen, sind in Abb. 34 die Anspruchsgruppen des „UNEP/SETAC Framework for Social Impact Categories“ dargestellt²⁸⁰. Als Ausgangspunkt der Betrachtung kann dabei sowohl ein Produkt (Lebenszyklus), ein Geschäft/Betrieb oder ein Projekt/Prozess stehen.

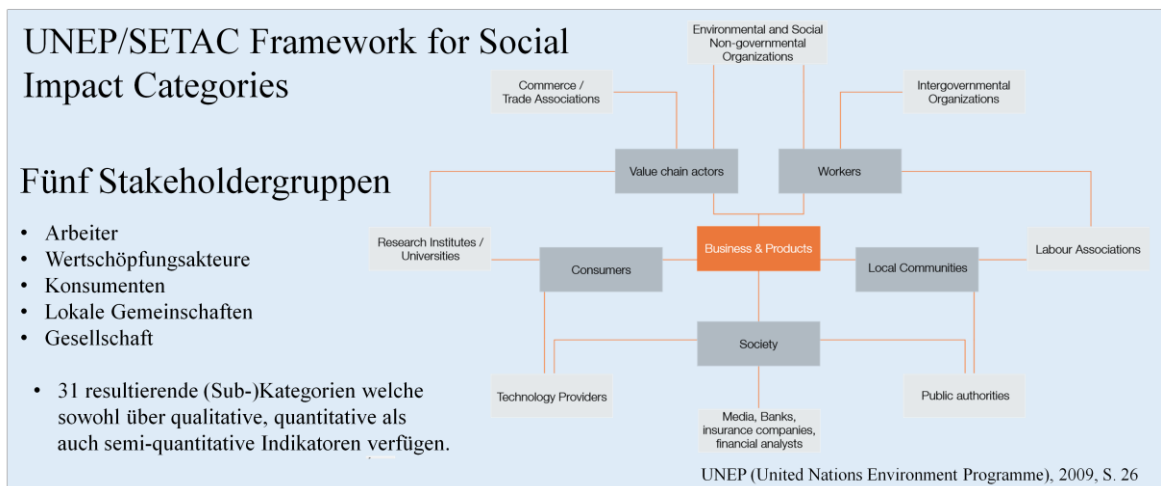


Abbildung 34: Stakeholdergruppen im UNEP/SEPTAC-Framework [vgl. UNEP, 2009, S. 26]

²⁷⁹ D.h. auch, dass soziale Einflüsse generell in zwei Kategorien unterteilt werden können, Einflüsse auf Individuen und Einflüsse auf Gruppen. Die Einflüsse ihrerseits können generell zwischen direkten und indirekten Einflüssen unterschieden werden. Es werden vier generelle Typen von Einflüssen unterschieden. Um dies zu konkretisieren, können als direkte Einflüsse auf Individuen bspw. physische Einflüsse bei der Arbeit determiniert werden. So ist ganz konkret bspw. die Belastung des Muskel- und Skelett-Systems ein Faktor, der sich kurz-, mittel- und langfristig auf die Gesundheit eines Arbeiters auswirken kann und im Zuge der individuellen Arbeitsbelastung nur auf ihn wirkt. Gleichzeitig kann es sein, dass bspw. die Atemluft in einer Halle eine bestimmte Belastung darstellt, welche sich direkt auf eine Gruppe von Arbeitern auswirkt. Als indirekte Belastungen können, in Analogie zu genutzten Beispielen, Entscheidungen der Unternehmensleitung gewertet werden, die sich auf die Luftqualität oder die individuelle Arbeitsbelastung auswirken. Entsprechend der Ausführungen in Kapitel 2 kann es dabei auch zu Rückkopplungsschleifen kommen.

²⁸⁰ Man muss hier anmerken, dass das Framework im Kontext der Anwendung von LCA zu sehen ist. Die Vorgehensweise der Bildung von Stakeholder-Gruppen und resultierende Wirkungsabschätzung jedoch allgemeingültig. Die von den fünf Stakeholder Gruppen (Arbeiter, Konsumenten, Wertschöpfungsakteure, Konsumenten, etc.) ausgehenden Subkategorien, bzw. Einflussfaktoren werden in der Folge noch vertieft. Darüber hinaus ist zu erwähnen, dass die Urheber in ihren Richtlinien selbst auf vier Definitionen von CSR verweisen und diese mit unterschiedlichen Anspruchsgruppen in Verbindung bringen [vgl. Benoît & Vicker-Niedermann, 2010, S. 2]. Dem folgt, dass die Implikation sozialer Nachhaltigkeit, wenn auch allgemeingültig, für unterschiedliche Anspruchsgruppen andere Indikatoren implizieren kann (wie in 4.1.2.2 erläutert).

In Relation zu den Anspruchsgruppen werden folgend Subkategorien gebildet. Dies kann nach mehreren Verfahren erfolgen und ist in Verbindung zum Untersuchungszweck zu sehen²⁸¹. Die fünf beschriebenen Anspruchsgruppen und ihre Indikatoren sind insofern von Interesse, da die im Abschnitt der Multipolarität angesprochenen Aspekte hier exemplarisch zugewiesen werden können. So beziehen sich die Subkategorien der Arbeiter auf Bereiche wie Arbeitsstunden, (faire) Bezahlung, gleiche (Entfaltungs-)Möglichkeiten (auch im Kontext von Diskriminierung zu verstehen) oder Arbeitsschutz [Benoît & Vicker-Niedermann, 2010, S. 14 f.], während die Subkategorien des Bereichs der Wertschöpfungsakteure sich eher auf die Austauschbeziehungen zwischen Betrieben, Händlern und Zulieferern richten (mit Kategorien wie fairer Wettbewerb, Zuliefererbeziehungen, Wahrung von (geistigen) Eigentumsrechten) [Benoît & Vickery-Niedermann, 2010, S. 15]²⁸². Aufgrund der Anzahl sei für eine umfassende Liste an Indikatoren auf entsprechende Umsetzungen von Rahmenwerken verwiesen, Benoît und Vickery-Niedermann zählen alleine neun Implementationen auf, deren Indikatoren teilweise vorgestellt werden, siehe [Benoît & Vicker-Niedermann, 2010, S. 15], zudem werden weitere Ansätze in Abschnitt 4.2 referenziert.

Stakeholderansätze dienen demnach der Eingrenzung von Wirkungen auf Gruppen und führen hinsichtlich der Definition sozialer Einwirkungskategorien zu einer Komplexitätsreduktion²⁸³. Allerdings kann die Kategorisierung auch zur Vernachlässigung von Wechselwirkungen führen, da die Kategorie-Bildung die Indikatoren bestimmt und die Austauschbeziehungen zwischen den Kategorien weniger betrachtet werden. Die Geschäftspraxis kann sich im Hinblick auf die Betreuung und faire Behandlung von Kunden direkt auf die Mitarbeitermotivation auswirken. Diese Aspekte werden oft getrennt voneinander betrachtet, sodass die positive und negative Rückwirkung der Behandlung von Konsumenten auf die eigenen Mitarbeiter nicht erfasst wird. I.d.R. sollten hier vergleichbare Indikatoren für beide Bereiche bestehen und/oder Wirkungen zwischen den Kategorien bewertet werden²⁸⁴.

Darüber hinaus sollten an diesem Beispiel die grundlegenden Eigenschaften des Sozialen weiter verdeutlicht werden, so lässt sich erneut eine Konzentrierung der Betrachtung von Gesundheitsaspekten von Individuen, bzw. Gruppen von Individuen und der Betrachtung der Austauschbeziehungen zwischen Individuen oder organisatorischen, betrieblichen Entitäten feststellen. Um dies im industriellen Kontext zu vertiefen und die generelle Vorgehensweise zu abstrahieren, wird in der Folge ein weiteres Beispiel vorgestellt und die Modellierung sozialer Kriterien, anhand der Gruppen- und Indikatorbildung thematisiert.

²⁸¹ Für einen Überblick, zur Kategoriebildung, zum SIA Verfahren sowie zur Umsetzung durch Organisationen/Länder und im Hinblick auf verschiedene Indikatoren wird auf Abschnitt 4.2.2.1, auf obige Veröffentlichungen, die ISO Richtlinien und im Kontext des angezeigten Ansatzes auf das UNEP (United Nations Environment Programme) verwiesen. Als weiteres Beispiel kann eine Lieferantenauswahl auf Basis sozialer Nachhaltigkeit definiert werden, die auf Stakeholderansätze zurückgreift, s. [Ehrgott, et al., 2011, S. 99 ff.].

²⁸² So kann die Auffächerung von direkten Einflüssen auf Individuen, hin zur Betrachtung der Austauschbeziehungen zwischen Entitäten und Netzwerken, hin zur Einwirkung auf gesellschaftliche Strukturen, auch an den Subkategorien festgemacht werden. Dies erinnert wiederum an Systeme und Subsysteme aus Kapitel 2.

²⁸³ Abgesehen von der Komplexitätsreduktion geht es um die Passgenauigkeit von Lösungen. Im Produktionsbezug wird der Ansatz ausführlich u.a. in Vasantha, et al. diskutiert, s. [Vasantha, et al., 2013, S. 1 ff.].

²⁸⁴ Epstein weist hier auch auf die „Notwendigkeit“ von Anreizsystemen zur Förderung nachhaltigen Verhaltens in Unternehmen hin [Epstein, 2009, S. 32]. Hier stellt sich die Frage, ob sich durch die Etablierung von Strukturen, die nachhaltiges Verhalten belohnen, eine Gewöhnung einstellt, die dauerhaft nachhaltiges Verhalten, auch nach der Abschaffung solcher Systeme, weiter begünstigt, oder ob es zusätzliche Mechanismen braucht, um auf die Förderung intrinsischer Motivation zu wirken, s. dazu [Bamberg & Möser, 2006, S. 21].

4.1.3.5 Definition sozialer Indikatoren, ein industrielles Vorgehensbeispiel

Neugebauer, et al. publizierten 2014 einen Ansatz zur Bestimmung sozialer Indikatoren in der Fleischindustrie. In diesem orientierten sie sich stark an den sog. „*fact sheets*“ der Life Cycle Initiative des UNEP [Benoît Norris, 2013, S. 1 ff.] zur Bestimmung von Stakeholdergruppen und resultierenden Indikatorbestimmungen [Neugebauer, et al., 2014, S. 895 ff.]. Interessant und relevant für diese Arbeit sind einerseits der Prozess der Identifikation relevanter Produktions- und Lebenszyklusprozesse sowie die darauf folgende Evaluierung von Stakeholdern und andererseits die sich anschließende Konkretisierung der Gruppenbildung, welche die Zuweisung relevanter Indikatoren, entsprechend der UNEP fact sheets, erlaubt. Dabei stellten Neugebauer, et al. insgesamt vier verschiedene Tabellen von Indikatoren für die definierten Stakeholdergruppen vor, welche sowohl Prozesse, als auch Indikatoren und die LCA-spezifischen „midpoint impact categories“²⁸⁵ ausweisen und miteinander in Verbindung bringen. Insofern kann das anwendungsorientierte Beispiel als Grundlage zur Bestimmung eines kausalen Ablaufplans (Workflow) dienen, der die Identifikation sozialer Kenngrößen, auch in der Produktion, ermöglicht. Dazu werden folgende Schritte definiert:

- die Identifikation der Betriebsprozesse (hohe Korrelation mit der Modellierung im Kontext der Produktionssimulation),
 - samt den handelnden Akteuren (neu, Fokus auf das Soziale),
- die Definition betroffener und Konkretisierung der Wechselwirkungen mit handelnden Akteuren (relativ neu, Fokus auf das Soziale, Ressourcenbetrachtungen gab es bereits im Vorfeld im Kontext der Produktionssimulation, allerdings fast nur bzgl. der funktionalen Abhängigkeiten von Prozessen an ihre Verfügbarkeit),
 - sowie die Herstellung der Verbindung zwischen Prozess und Anspruchsgruppen (wie letzter Punkt),
- die Ableitung relevanter Indikatoren und das in Bezug setzen zu Einwirkungskategorien (was bei der Aggregation und dem in Bezug setzen, bereits einer Qualifizierung gleichkommt - neu ist auch der Fokus auf das Soziale),
- die Datenaufnahme und Berechnung (Ausprägung anders als bei der Simulation),
- die Auswertung und Ergebnisanalyse (vergleichbar in Punkto Ergebnisauswertung).

Diese Vorgehensweise ist insofern von besonderem Interesse, da sie im Grunde fast vollständig kompatibel mit der Modellierung eines Produktionssystems, mit dem Ziel der Simulation, ist. Die qualitativen Unterschiede liegen hier lediglich in der Art der folgenden Berechnung und der simulationseigenen dynamischen Analyse/des Fortschritts des Systemverhaltens (d.h., anstatt einer simplen Aggregation der Einflussindikatoren, kann es hier noch zu Wechselwirkungen der Indikatoren, mit Betriebsprozessen und anderen Indikatoren, je nach Modellierung kommen, in dem Sinne wird eine höhere Dynamik erwartet, als bei LCA). Die Definition, Ableitung und Zuweisung von sozialen Indikatoren kann aber als adaptierbar im Kontext der Bildung eines Simulationsmodells angesehen werden.

²⁸⁵ Stark vereinfacht beziehen sich „midpoint“-Indikatoren auf Zwischenschritte in kausalen Prozess-/Netzwerknetzen, wobei die Definition kritisch gesehen wird für Fälle, in denen die Bestimmung von Zwischenschritten schwierig ist [vgl. Bare, et al., 2000, S. 323 f.] Für ausführliche Erläuterungen zu den Unterschieden zwischen „midpoint“ und „endpoint“-Betrachtungen siehe Bare, et al. [Bare, et al., 2000, S. 319 ff.].

4.1.3.6 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich die Frage nach dem Inhalt sozialer Nachhaltigkeit durch die Bezugsherstellung zwischen Untersuchungsobjekt und seinen (sozialen) Austauschverbindungen konkretisieren lässt. Die systemische Einbettung erlaubt zudem die Betrachtung dieser Verbindungen auf verschiedenen Ebenen und betrifft sowohl direkte und indirekte Einflüsse auf Individuen oder Netzwerke.

Eine erste kategorische Übersicht von sozialen Kriterien (in Betrieben) wurde in Abbildung 26 auf Seite 83 angedeutet. Dabei wurde in Kapitel 3 auf den Kapitalansatz zur Bestimmung messbarer Indikatoren verwiesen. Wie sich an der Auseinandersetzung mit sozialem Kapital in Abschnitt 4.1.3.3 gezeigt hat, besteht bzgl. der Inhalte noch eine Diskrepanz zwischen sozialem Kapital und sozialer Nachhaltigkeit. Eine Übernahme der Definition(en) sozialen Kapitals als Kapitalstock der sozialen Säule der Nachhaltigkeit wurde daher, hauptsächlich aufgrund der inkohärenten Definitionen von Kategorien und Indikatoren, ausgeschlossen.

Ein Ansatz, der sich bzgl. der Bildung sinnvoller, für den Untersuchungszweck relevanter, Untersuchungsgruppen etabliert hat, ist der Stakeholderansatz. Dieser kann genutzt werden um die Komplexität der Bezüge und Wirkungskategorien zu reduzieren. Dementsprechend kann soziale Nachhaltigkeit im Kontext eines Untersuchungsgegenstandes prinzipiell durch die Definition der Anspruchsgruppen in ihren Verbindungen eingegrenzt werden und in Abhängigkeit des Untersuchungszweckes, durch die Einwirkungen auf die gebildeten Gruppen/ihre Individuen bestimmt werden. Die folgenden Indikatoren können, entsprechend der Kapitaltheorie, als Kapitalstock der sozialen Säule der Nachhaltigkeit qualifiziert werden²⁸⁶.

Als ein entscheidender Unterschied der Vorgehensweise zwischen der Nutzung von Kapitalansätzen und der Bildung von Einwirkungskategorien im Sinne von LCA, kann determiniert werden, dass die Kapitalbildung i.d.R. vor der Detailbetrachtung des Untersuchungsgegenstandes bereits eine konkrete Themen- und Indikatorbildung impliziert. Im Gegensatz dazu kommt es bei der Anspruchsgruppenbildung und der sich anschließenden Bildung von Einwirkungskategorien, erst nachgelagert zur Ableitung von Indikatoren (nachdem der Anwendungsfall im Detail eruiert wurde)²⁸⁷. Die Implikation dessen ist, dass Kapitalansätze meist vergleichbarer sind, da die Kapitalstöcke im Vorfeld, auf Basis langer Theoriediskussionen, definiert wurden, somit eine vergleichbare Basis hergestellt ist und sich nur der Ergebniswert der Indikatoren ändert. Bei der Bildung von Einwirkungskategorien im Kontext des Untersuchungszweckes können sich allerdings die Anzahl und Ausprägung von Indikatoren stark unterscheiden. Demnach sind diese Ansätze i.d.R. schwieriger vergleichbar, was sich allerdings durch die Anwendung von Standards, die Orientierung an Richtlinien und die Bezugsherstellung anhand der theoretischen Basis zunehmend verbessert. So wurden im letzten Beispiel die Ableitung von Einwirkungsindikatoren und die Zuweisung

²⁸⁶ Festzuhalten ist zudem, dass es Überschneidungen von Wirkungen gibt. So sind viele ökologische Wirkungen zeitgleich in der sozialen Dimension zu werten, auch ökonomische (Management-)Entscheidungen, bspw. das Gehalt von Individuen oder Rationalisierungsmaßnahmen betreffend, entfalten soziale Wirkungen. Bei der Aufteilung von Indikatoren auf die verschiedenen Säulen muss darauf geachtet werden, dass mehrfache Bezüge nicht negiert werden und so die Ergebnisse nicht durch zu einfache Betrachtung und das Übersehen von Korrelationen verfälscht werden.

²⁸⁷ Gegensätzliche und vermischende Fälle sind für beide Abläufe natürlich möglich, aber nicht die Regel.

dieser Indikatoren zu im Vorfeld diskutierten Kategorien - welche wiederum eine vergleichende Basis darstellen - exemplarisch aufgezeigt. Ferner wurden auch die angesprochenen Unterschiede in Abschnitt 4.1.3.4/4.1.3.5 an Beispielen erläutert²⁸⁸.

Darüber hinaus konnte festgestellt werden, dass in der Masse von Veröffentlichungen als hauptsächliche soziale Untersuchungsaspekte die Einwirkungen auf die Gesundheit von Individuen, was physische Unversehrtheit und psychologische Wirkungen einschließt (Referenz zu Einwirkungen auf Humankapital) und die Struktur und Güte der Austauschbeziehungen (soziales Kapital) als Kernthemen sozialer Nachhaltigkeit thematisiert wurden²⁸⁹. Zusätzlich können Wirkungen auf die Bereitstellung dieser Strukturen und organisatorische/gesellschaftliche Auswirkungen determiniert werden (hauptsächlich Gesellschaftskapital, was auch Spangenberg's institutioneller Säule ähnelt, aber auch kulturelles Kapital). Erstere entsprechen eher direkten Einwirkungen auf Individuen, letztere eher indirekten. Zudem wird auf das Gleichheitsprinzip von Individuen durch Indikatoren verwiesen, welches jedoch im Kontext der kulturellen und regionalen Einordnung zu „balancieren“ ist²⁹⁰.

Abschließend kann zusammengefasst werden, dass sich eine Verbindung der Vorgehensweise zur Bildung von sozialen Kategorien und Indikatoren und dem Kapitalansatz anbietet, um einerseits eine vergleichbare Basis für verschiedene Ansätze bereitzustellen und andererseits die passgenaue Indikatorbildung als Grundlage der Bewertung der sozialen Wirkung von Prozessen sicherzustellen. Diese Verbindung wird in Abschnitt 4.3 ausgeführt.

In der Folge wird das betriebliche Management sozialer Aspekte betrachtet, um einerseits betriebliche und produktionsrelevante Kategorien und Indikatoren weiter zu konkretisieren und andererseits den Simulationsansatz mit anderen Verfahren zu vergleichen. Dies soll zusätzliche Überschneidungspunkte definieren, somit eine breite konzeptuelle Basis sicherstellen und die weitere Abgrenzung ermöglichen. Dazu werden Standards und einige der Instrumente, die bereits im Bezug zur Aufnahme und Analyse der Nachhaltigkeit (Tab. 4 S. 94) erwähnt wurden, angesprochen und in ihrer Bedeutung für den eigenen Ansatz qualifiziert. Dieser Betrachtung des Sozialen in Betrieben und Produktionen schließt sich die Konkretisierung des eigenen Ansatzes an, welche zur Konzeption der Software überleitet.

²⁸⁸ Dazu ist im Rückblick auf Abschnitt 4.2 anzumerken, dass sowohl Dubielzig [Dubielzig, 2009, S. 38], als auch Benoît und Vickery-Niedermann [Benoît & Vickery-Niedermann, 2011, S. 4 f.] und weitere Autoren soziale Ansätze grob in drei Kategorien aufteilen; in normative Rahmenwerke, Prozessrichtlinien und Managementsysteme. Diese nutzen verschiedene Vorgehensweisen bei der Beschreibung und Definition von Indikatoren oder nutzen im Vorfeld definierte Indikatorsets. Durch Herrmanns Grafik wurde dies bereits angedeutet, siehe Abb. 21 auf S. 66 [Thiede, 2012, S. 2]. Komplementär kann darauf hingewiesen werden, dass viele Ansätze, bspw. das UNEP/SETA Framework, sowohl quantitative, qualitative als auch semi-quantitative Indikatoren nutzen [Benoît & Vickery-Niedermann, 2011, S. 4 f.], was die Vergleichbarkeit erschweren kann.

²⁸⁹ Prinzipielle Übereinstimmung mit Sozialkapital, welche bei Badura, et al. noch nach Kooperation und Sozialkapital getrennt wird, im Kontext von Stakeholderansätzen unterscheidet Dubielzig hier noch nach Vertrauensressourcen, womit er Akzeptanz und Arbeitsklima beispielhaft beschreibt [vgl. Dubielzig, 2009, S. 22].

²⁹⁰ Die ethischen Implikation des Gleichheitspostulats sind generell komplex. Zwar ist zu verstehen, dass Menschen sowohl vor Gesetz, als auch bezogen auf ihre Teilhabefunktion bzgl. Kultur und gesellschaftlichen Aktivitäten, gleich behandelt werden sollten, allerdings gibt es diverse Einflussfaktoren, die Unterschiede wenn nicht dauerhaft rechtfertigen, so zumindest temporär erläutern. Radermacher spricht hier auch von balancierter Gleichheit (Equity) [Radermacher, 2011, S. 288]. Dies soll aufgrund der Komplexität nicht vertieft werden, allerdings können in Pinzler viele Beispiele gefunden werden, die sich u.a. auch auf die resultierende Fragestellungen des Wohlbefindens von Individuen beziehen, die aus der Referenz zwischen den eigenen Möglichkeiten und denen der Mitmenschen im unmittelbaren Umfeld entstehen, siehe [Pinzler, 2011, S. 65 ff.].

4.2 Konkretisierung sozialer Aspekte auf Betriebs-/Produktionsebene

4.2.1 Differenzierte Betrachtung sozialer Aspekte in der Produktion

4.2.1.1 Spezifizierung der Messbarkeit von Sozialkapital in der Produktion

Das Ziel einer genaueren Auseinandersetzung mit sozialer Nachhaltigkeit auf Betriebs- und Produktionsebene ist die Spezifizierung der zu betrachtenden Kriterien und die Auseinandersetzung mit bestehenden betrieblichen Verfahren. Um begrifflichen Überschneidungen vorzubeugen, kann in der Folge zwischen Sozialkapital im Sinne der Betrachtungen von Interaktionen und Netzwerken, sowie Sozialkapital als zugrundeliegendem Kapitalstock sozialer Nachhaltigkeit unterschieden werden. Ersteres wird in der Folge mit dem Zusatz „(i.)“ für interaktionsorientiert, Letzteres mit dem Zusatz „(a.)“ für aggregiert bedacht²⁹¹.

Um die Relevanz von Sozialkapital (i.) innerhalb von Betrieben aufzuzeigen, können in Abb. 35 die Zusammenhänge und Ergebnisse einer empirischen Studie aus den Jahren 2006 bis 2008 von Baumanns und Münch gesehen werden (Detailwerte in [Badura, et al., 2010 (b), S. 73 f.]). Dabei wurden vier produzierende Unternehmen und ein Finanzdienstleister untersucht und „eine Mitarbeiterbefragung von insgesamt 5.000 Beschäftigten (Rücklauf 45 %) sowie Indikatoren für Produktivität und Effizienz der beteiligten Unternehmen auf Abteilungsebene“ [Badura, et al., 2010 (b), S. 72] statistisch ausgewertet. Als Ergebnis der Studie deklarieren Badura, et al.: „Durch die Verknüpfung beider Datenmengen konnten klare Zusammenhänge zwischen dem Sozialkapital, dem Unternehmenserfolg und der Gesundheit der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter nachgewiesen werden. Die Untersuchungsergebnisse belegen, dass immaterielle Faktoren, entgegen der bisher häufig vorherrschenden Auffassung, sehr wohl messbar und tatsächlich von großer Bedeutung sind für die Gesundheit und Einsatzbereitschaft der Mitarbeiter.“ [Badura, et al., 2010 (b), S. 72].

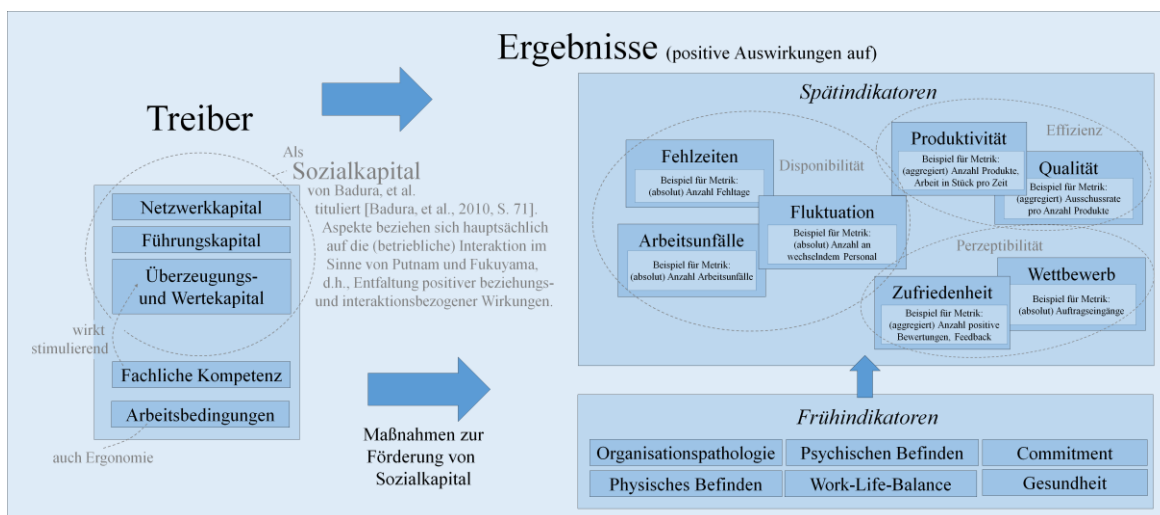


Abbildung 35: Stärkung von Sozialkapital als positiver Treiber innerbetrieblicher Verbesserungen [vgl. Badura, et al., 2010 (b), S. 72], [vgl. Baumanns & Münch, 2010, S. 167]

²⁹¹ Diese Unterscheidung ist insofern relevant, als dass verschiedene Kapitalsorten in der Folge detaillierter betrachtet werden und es zu einer Häufung beider Begrifflichkeiten kommt. Der Kontextbezug ist möglicherweise nicht immer ausreichend zur eindeutigen Zuweisung, da beide Begriffe relevant sind.

Die letzte Aussage, so bedeutungsvoll sie auch ist, muss gleichzeitig im Bezug zur Nachweisbarkeit relativiert werden. So zeigen Baumanns und Münch zwar u.a. auch eine Produktivitätssteigerung (von bis zu 18% in einem Betrieb, in dem Interventionen durchgeführt wurden, im Vergleich zu einem Kontrollbetrieb [vgl. Baumanns & Münch, 2010, S. 177]), allerdings notieren sie auch: *„Aufgrund der Komplexität des multifaktoriellen Geschehens in dem sozialen System „Unternehmen“ und der daraus resultierenden vielfältigen Ursache-Wirkungs-Beziehungen wird man sich hinsichtlich der Bewertung der Ergebnisse dieser Fallstudie mit Kriterien der attributiven Validität (vgl. dazu z.B. Badura 2002) begnügen müssen. Mit anderen Worten: Es können keine direkten bzw. kausalen Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zwischen den vorgenommenen Interventionen und den beobachteten Effekten gemessen werden. Die Anlage der Studie als (modifizierte) Fall-Kontrollstudie sowie die Beobachtung möglicher weiterer Einflussgrößen lassen jedoch die Annahme gerechtfertigt erscheinen, dass die erzielten Effekte mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die vorgenommenen Interventionen zurückzuführen sind.“* [Baumanns & Münch, 2010, S. 179]. Die Korrektheit dieser Aussage vorausgesetzt, folgt deduktiv als Relevanz für diese Arbeit,

- dass es positive relevante Auswirkungen der interventionsbasierten Stärkung von Sozialkapital (i.) in Produktionsbetrieben nachweislich gibt²⁹²,
- dass diese Auswirkungen auch anhand von klar definierten, messbaren Indikatoren empirisch nachgewiesen werden können und
- dass die Vielfältigkeit der Ursache-Wirkungsbeziehungen das Systemverständnis in der Art beschneidet, dass die Zuordnung Intervention zu Wirkung bis dato misslingt.

In dem Sinne würde ein konkreter Anwendungsfall für den Einsatz von Simulationsverfahren zur Eruierung des Systemverständnisses bestehen²⁹³. Die Schwierigkeit liegt in diesem Fall u.a. bei in der Modellierung von Interventionen. Sie kann konzeptionell reduziert werden, wenn man die Wirkungen im Einzelnen betrachtet; so kann eine Stärkung von Netzwerk- oder Führungskapital bspw. einen höheren Wert von Motivation implizieren, der sich über das Netzwerk der involvierten Akteure auswirkt und sich im Humankapital anderer Mitarbeiter niederschlägt. Eine derartige Modellierung ist möglich, ihre Überprüfbarkeit bleibt allerdings, ebenfalls aufgrund der Komplexität und Unkenntnis der Wechselwirkungen, schwierig²⁹⁴. Zudem ist zu bedenken, dass die innerbetriebliche Thematisierung eines Sachverhaltes bereits Auswirkungen entfaltet, ohne dass überhaupt eine Veränderung eingeleitet wird²⁹⁵. Dies erschwert die Zuweisung von Wirkungen zu Interventionen zusätzlich.

Was allerdings möglich wird, ist eine Erweiterung der Datenbasis von Interventionen und Wirkungen. Diese kann, bei ausreichender Qualität, in der Zukunft die Deduktion von

²⁹² Siehe Rose für verschiedene empirische Schlussfolgerungen bzgl. der Stärkung von Sozialkapital, bspw. Gesundheit (*„Social capital networks exert substantial influence on emotional health.“*) [Rose, 1999, S. 15] und Suar und Khuntia bzgl. der Wirkung von persönlichen Werten auf Geschäftspraktiken [Suar & Khuntia, 2010, S. 454], zudem wird in ihrer Veröffentlichung der kulturelle Aspekt von Sozialkapital verdeutlicht.

²⁹³ Da dynamische Wechselwirkungen durch statistische Auswertungen nur bedingt analysiert werden können.

²⁹⁴ Die unerforschten Wechselwirkungen solcher Eingriffe würden zudem bei einer reduzierten Betrachtung zwangsläufig abstrahiert, höchstwahrscheinlich sind diese aber notwendig für eine valide Abbildung des Systems, bzw. für die Korrektheit des Systemverhaltens. Zudem besteht das Problem der Messung, zwar können in Abständen Mitarbeiterbefragungen durchgeführt werden, allerdings wirken sich diese wiederum selbst auf das Sozialkapital aus, ferner ist es unwahrscheinlich, diese in kurzen Intervallen durchführen zu können.

²⁹⁵ Allein eine Thematisierung ist bereits eine Systemveränderungsmaßnahme im Bezug zu sozialem Kapital (i.), da sich die Bewusstseinszustände der involvierten Akteure durch die Kommunikation bereits verändern.

stochastischen Verteilungen erlauben²⁹⁶. Mit solchen sich auf das Sozialkapital (i.) oder Ausprägungen beziehenden Verteilungen könnten entsprechende Interventionen und ihre Auswirkungen simuliert werden. In dem Sinne fehlt, für die Anwendung des Verfahrens der Simulation, in Bezug auf Auswirkungsanalysen bzgl. der Stärkung von Sozialkapital (i.), eine ausreichende Datenbasis von Interventionen und ihren Auswirkungen, zur Deduktion von stochastischen Verteilungen. Gleichzeitig ist diese Datenbasis zur spielerischen Annäherung nicht zwingend erforderlich, sondern relativiert nur die Modelle (da die Verifikation, sich aufgrund des Fehlens von Daten, nur auf unzureichende Spezifikationen beziehen kann) sowie die Ergebnisse von Simulationen (da der Systemabgleich/die Validierung nur anhand von Indikatoren möglich ist, nicht anhand der Abläufe und Systemzustände).

Subsumierend ist für diese Arbeit festzuhalten, dass es neben der verstärkten Betrachtung des Humankapitals in den letzten Jahrzehnten [vgl. Jäger, 2004, S. 2 ff.] auch Ansätze zur Bezifferung der Auswirkungen von Maßnahmen zur Stärkung von Sozialkapital (i.) in der Produktion gibt²⁹⁷. Dabei ist die Validierung von entsprechenden Auswertungen (oder Modellen), in der Spezifik der Zuweisung von kausalen Zusammenhängen, noch schwierig²⁹⁸. Im Gegensatz dazu sind Veränderungsmaßnahmen des Arbeitsablaufes und der Ergonomie mit Auswirkung auf das Humankapital (inkl. Gesundheit) im Arbeitsschutz-Kontext wesentlich stärker und im arbeitsmedizinischen Bereich auch im Hinblick auf die Evidenz der Wirkung der Veränderungsmaßnahmen ausführlicher untersucht, siehe bspw. Westgaard und Winkel [Westgaard & Winkel, 2011, S. 263] oder Fleischer, et al. [Fleischer, et al., 2003, S. 40 ff.]. Auch arbeitsorganisatorische Eingriffe sind, aufgrund der großen theoretischen Fundierung, vielfältiger beschrieben, siehe bspw. Zülch und Müller [Zülch & Müller, 2008, S. 338 ff.] oder Luczak, et al. [Luczak, et al., 2002, S. 74 ff.]. Diese Feststellungen werden aufgrund ihrer Relevanz für diese Arbeit in der Folge exemplarisch vertieft und generalisiert, sowie in der prototypischen Umsetzung in Kapitel 5 teilweise aufgegriffen.

²⁹⁶ Die Verteilungen würden ihrerseits die Nutzung von Bandbreiten an Zufallswerten (im Rahmen der Verteilung) ermöglichen und so Analysen von differenzierten Szenarien in der Simulation realisierbar machen. Dabei wurde im obigen Abschnitt ziemlich generell formuliert, in der Praxis sind zwangsläufig Verteilungen, die sich auf Detailkriterien beziehen, realistischer. So könnten bspw. Schulungen von Führungskräften, bzgl. der Thematisierung von Erschöpfungszuständen bei Mitarbeitern zu einer Reduktion der Fehltagelast von Mitarbeitern führen, da diese in der Folge besser betreut werden. An dieser Stelle ist allerdings kritisch zu hinterfragen, wie die Trennung zwischen Sozialkapital (i.) und Humankapital verlaufen würde, da die Maßnahme der Schulung eine Veränderung des Humankapitals in Führungskräften implizieren kann, anstelle der Steigerung von unspezifisch zugewiesenem Sozialkapital (i.). Es drängt sich in diesem Zusammenhang die Frage auf, ob sich die Masse des interaktionsspezifischen Sozialkapital (i.) nicht in der Summe der involvierten Akteure und demnach in dem Humankapital manifestiert, während die sich auf Organisationen und Strukturen beziehenden Aspekte eher gesellschaftlichem Kapital zugeordnet werden könnten. Siehe auch Abschnitt 4.3.1.

²⁹⁷ Die erwähnte Studie von Baumanns und Münch, bzw. die Erwähnung durch Badura, et al., ist dabei nur ein Beispiel, s. auch Fischer, et al. [Fischer, et al., 2012, S. 1 ff.], der sich auf menschliches Verhalten und Nachhaltigkeit bezieht. Seine Ausführungen kommen im gesellschaftlichen Sinne der Stärkung von Sozialkapital (i.) und gesellschaftlichen Kapital nahe, wobei gesellschaftliches Kapital wiederum integriert in sozialem Kapital (i.) betrachtet werden kann. Dies ist der Fall, da es, abgesehen von der institutionellen Komponente (vgl. zu Spangenberg und/oder der politisch-kulturellen Dimension in Wrase [Wrase, 2010, S. 300 ff.]), hauptsächlich um die Stärkung der Interaktionsbeziehungen und der Wissensbasis in Individuen geht (als Auswirkung auf Humankapital, welche auch positive Effekte auf Natur- und ökonomisches Kapital haben kann).

²⁹⁸ Es wird darauf hingewiesen, dass Systemveränderungen, die zu Ausprägungen von Sozialkapital (i.) führen, die Veränderungen im Humankapital und/oder des ökonomischen, ökologischen oder sozialen Kapitals (a.) hervorrufen, bis dato in ihrer Komplexität nicht durchdrungen sind. Zwar können Ergebnisse mit Interventionsmaßnahmen verglichen werden, die spezifische Herstellung von kausalen Zusammenhängen ist, aufgrund der Beziehungsvielfalt, jedoch nach derzeitigem Kenntnisstand, ohne starke Abstraktion nicht möglich.

4.2.1.2 Spezifizierung der Messbarkeit von Humankapital in der Produktion

Mit Humankapital (teilweise auch als Humanvermögen titulierte) werden i.d.R. die Befähigungen der Mitarbeiter einer Organisation bezeichnet. Badura, et al. spezifizieren als zugehörige Aspekte „*Bildung, Qualifizierung und Spezialwissen (...) soziale Kompetenz sowie die zu ihrer Aktivierung notwendige seelische und körperliche Gesundheit*“ [Badura, et al., 2010 (b), S. 6]. In der Wirtschaftslehre wird Humankapital in erster Linie mit dem personale gebundenen Wissen von Mitarbeitern gleichgesetzt [vgl. Jäger, 2004, S. 1 f.]. Der Unterschied dieser beiden, prinzipiell ähnlichen Definitionen, ist die explizite Inklusion der Gesundheit, als Voraussetzung der Leistungsfähigkeit und somit der Aktivierung, zum Teil auch Stärkung, der Befähigungen von Mitarbeitern (welche nicht selbstverständlich ist)²⁹⁹.

Um die Bedeutung von Humankapital und die (gestiegene) Relevanz für Unternehmen und Gesellschaft zu verdeutlichen, thematisiert Jäger das Verhältnis von Sachvermögen und dem ökonomischen Wert von Humankapital. Dieses hat sich in Deutschland im Laufe dieses Jahrhunderts von einem Verhältnis von 5 zu 1 zur Zeit des ersten Weltkrieges hin zu ca. 3,2 zu 1 in den 70er Jahren, bis hin zu ca. 2 zu 1 im Jahr 2004 entwickelt [vgl. Picot, et al., 1998, S. 446 ff.], [Buttler & Tessaring, 1993, S. 467], [Jäger, 2004, S. 1]. Zudem weist er auf eine OECD Studie in der Nahrungsmittelindustrie hin, welche länderspezifische Produktivitätsunterschiede mit der Qualifikation von Mitarbeitern (Humankapital) in Verbindung bringt [Jäger, 2004, S. 2 f.] (vergleichbare Ergebnisse in [Maudos, et al., 1998, S. 29]).

Dem folgend lassen sich für die Anwendungsperspektive der Produktion zwei generelle Aspekte unterscheiden; einerseits besteht eine Korrelation zwischen der Qualifikation von Mitarbeitern und der Produktivität³⁰⁰ und andererseits beeinflusst die Gesundheit von Mitarbeitern ihre Verfügbarkeit und ihre Leistungsfähigkeit zusätzlich. Hinsichtlich der Gesundheit wurden in der Einführung bereits auf Verteilungen des Aufkommens von Krankheiten, Verletzungen und Beeinträchtigungen hingewiesen, gerade im verarbeitenden Gewerbe kommt es, aufgrund der unterschiedlichen Belastungsstrukturen, entsprechend zu verschiedenen Ausprägungen von krankheitsbedingtem Ausfall und/oder Leistungsminderung³⁰¹.

²⁹⁹ Generell ist der Zusammenhang zwischen Gesundheit und Produktivität von Individuen nicht zu negieren, dennoch werden in vielen Definitionen, die entsprechenden (Gesundheits-)Zustände nicht explizit betrachtet, oftmals nur auf die Wissens- und Innovationsbeiträge fokussiert und die Gesundheit als gegeben angesehen. Das Wort Humankapital wurde im Jahr 2004, höchstwahrscheinlich auch wegen rein ökonomischer Wahrnehmungen, zum Unwort des Jahres gewählt (wie auch nominiert im Jahre 1998), siehe [Scholz, 2005, OR].

³⁰⁰ Es ist anzumerken, dass diese generell zutreffende Feststellung in spezifischen Anwendungsfällen stark prozessabhängig ist, d.h., in manchen Fällen wirken sich Qualifikation stärker auf bspw. Ausschussraten und bearbeitete Produktzahl pro Zeiteinheit aus als in anderen. Theoretisch lässt sich schlussfolgern, dass nach dem Einwirkungsgrad der Mitarbeiter auf Prozesse, eine Abstufung der Auswirkung gemacht werden kann, d.h., je mehr individuelles Wissen, Erfahrungen und Leistungen in einen Prozessschritt eingebracht werden können, umso stärker wirkt sich die individuelle Qualifikation des Mitarbeiters auf die Effizienz des Prozesses aus. Dies betrifft auch die Öko- und Sozialeffizienz, wobei bei der Sozialeffizienz auch eine Trennung zwischen Sozial- und Humankapital, in puncto der Interaktionsfähigkeit des Individuums, gemacht werden kann.

³⁰¹ Es ist zu bedenken, dass die relative Häufigkeit nicht die alleinige Grundlage zur Bestimmung der Relevanz von Krankheiten und Beeinträchtigungen ist. So ist bspw. die Häufigkeit von psychischen Erkrankungen (noch) deutlich geringer, als die von physischen Beeinträchtigungen; gleichzeitig zeichnen sich Ausfälle aufgrund psychischer Probleme i.d.R. durch längere Ausfallzeiten der betroffenen Mitarbeiter aus. Demnach müssen die abstrahierten Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit und Ausfalldauer ebenso in die Betrachtung einbezogen werden. Folglich kommt es zu einer gewichteten Häufigkeit bei der Bestimmung der Relevanz von Krankheitsbildern für die Produktion, bzw. die Betrachtung von Humanressourcen in der Produktion.

Um die Messbarkeit dieser Aspekte zu erläutern, können im Hinblick auf die Gesundheit, die individuellen Ausfallzeiten von Mitarbeitern erhoben und statistisch, nach diversen Untersuchungsfragen³⁰², ausgewertet werden. In Bezug auf die unpersönliche Quantifizierung³⁰³ und zur Übernahme in entsprechende Modelle bieten sich stochastische Verteilungen an, welche als Resultat von Datenauswertungen die Auftrittswahrscheinlichkeit oder Dauer von Ausfällen repräsentieren können³⁰⁴. Dabei orientieren sich die Verteilungen an Bezügen zu physiologischen sowie psychosomatischen Belastungen³⁰⁵ und damit hauptsächlich an der Art der Arbeit. Diese kann als Grundlage für eine einleitende Kategorisierung der resultierenden Beanspruchungen dienen, siehe einen Grobüberblick in Tabelle 6:

Typ der Arbeit	energetische Arbeit		informatrische Arbeit		
Art der Arbeit	mechanisch	motorisch	reaktiv	kombinativ	kreativ
Was verlangt die Erfüllung der Aufgabe von Menschen?	Kräfte abgeben	Bewegungen ausführen	Reagieren und Handeln	Informationen kombinieren	Informationen erzeugen
	"Mechanische Arbeit" im Sinne der Physik	Genaue Bewegungen bei geringer Kraftabgabe	Informationen aufnehmen und darauf reagieren	Informationen mit Gedächtnisinhalten verknüpfen	Verknüpfen von Informationen zu "neuen" Informationen
Welche Organe oder Funktionen werden beansprucht?	Muskeln, Sehnen, Skelett, Atmung, Kreislauf	Sinnesorgane, Muskeln, Sehnen, Kreislauf	Sinnesorgane, Reaktions-, Merkfähigkeit sowie Muskeln	Denk- und Merkfähigkeit sowie Muskeln	Denk-, Merk- und Schlussfolgerungsfähigkeit
Beispiele	Tragen	Montieren	Autofahren	Konstruieren	Erfinden

Tabelle 6: Grundformen der Arbeit [vgl. Rudow, 2014, S. 6], nach [Luczak, 1998]

In der Tabelle wird in der vierten (links) bzw. fünften Zeile exemplarisch auf die unterschiedlichen Beanspruchungen hingewiesen. Diese Grobeinteilung lässt sich für konkrete Arbeitsprozesse noch wesentlich spezifischer bestimmen und messen³⁰⁶. Die resultierenden Daten können auch in der Simulation genutzt werden, was in Kapitel 5 vertieft werden wird.

³⁰² Im Kontext von allgemein verbreiteten Erkrankungen bieten sich bspw. saisonale Auswertungen an, um die notwendige Personaldecke besser quantifizieren zu können. Zudem sind, im Hinblick auf die Alterspyramide, zur Vergegenwärtigung von Auswirkungen altersspezifische Auswertungen von großer Relevanz. Der statistischen Auswertung sind generell, wie auch das Beispiel von Baumanns und Münch zeigt, wenig Grenzen gesetzt, gleichzeitig bestehen jedoch Schwachstellen in der Identifizierung von kausalen Zusammenhängen.

³⁰³ Die unpersönliche Quantifizierung und Qualifizierung ist gerade im Bezug zu der Gesundheit, die allgemein als etwas sehr Persönliches empfunden wird, von besonderer Relevanz, auch wegen ethischer Konflikte des Persönlichkeitsrechts und wegen potentieller Diskriminierung (etwa bei der Filterung nach Ethnien).

³⁰⁴ Ein wichtiger Indikator (von vielen) auf den sich diese beziehen, sind die sog. Arbeitsausfalltage (AU-Tage). Diese stellen i.d.R. bereits die Kombination von Ausfallhäufigkeit und spezifischer Ausfalldauer dar. Eine Trennung dieser ist, bzgl. des Untersuchungszwecks nicht immer notwendig, meist jedoch sinnvoll.

³⁰⁵ Auch für die innerbetriebliche Aufnahme und das „Messen“ (Quantifizierung/Qualifizierung) psychischer Belastungen werden bereits verschiedene Instrumente genutzt, so stellt Richter bspw. in Kooperation mit dem BAuA eine Toolbox vor, welche verschiedene Instrumente anbietet, die darauf abzielen die innerbetriebliche Aufnahme und Bewertung psychischer Belastungen zu unterstützen [Richter, 2010, S. 27 ff.].

³⁰⁶ Wurden früher noch die biomechanischen Größen durch physische Messungen und Schätzungen der Einwirkkräfte bestimmt, gibt es heutzutage mit Sensoren ausgestattete Anzüge, die in Echtzeit die einwirkenden Kräfte messen und nach Abschluss einer Tätigkeit digital bereitstellen können, siehe bspw. [Ellegast, et al., 2006, S. 509 ff.]. Somit ist es möglich, Tätigkeiten mehrmalig mit diesen Anzügen durchzuführen und Durchschnitte zu bilden. Dies erlaubt die Erstellung von Belastungsprofilen für spezifische Tätigkeiten. Die Profile können in Produktionsmodelle einfließen und simuliert werden, was bei arbeitsmedizinischer Interpretation der Ergebnisse, Abschätzungen von Folgewirkungen in verschiedenen Zeiträumen ermöglichen würde.

Beeinflussende Faktoren von individuellen Ausprägungen, wie z.B. das Alter, die Körpergröße bei physischen Krafteinwirkungen oder, in Bezug zu individuellem Verhalten, bspw. das Rauchen, können bei statistischen Analysen, in Abhängigkeit der Datenlage, kontrolliert, d.h., entsprechend gefiltert werden. Allerdings muss im Hinblick auf die individuelle Empfindung von Belastungen, besonders auch bei psychologischen Folgewirkungen und der Einschätzung von Arbeitsbelastungen, eine Varianz mit in Betracht gezogen werden³⁰⁷.

Für den Großteil der physischen Belastungen gibt es Grenzwerte von unterschiedlichen Organisationen (bspw. im Arbeitsschutzgesetz, siehe auch [Rudow, 2014, S 33 ff.]), welche sowohl kurzzeitig starke Belastungen, als auch repetierte Tätigkeiten mit kleineren Belastungsdosen³⁰⁸ einschließen. Diesbezüglich kann auf die Merkblätter und weiterführende Literatur der Unfallkrankenkassen verwiesen werden, siehe z.B. [DGUV, 2013, S. 19 ff.], [DGUV, 2009, S. 6 ff.]. Auch stoffliche Beeinträchtigungen und Atemwegserkrankungen werden in einer großen Anzahl von Veröffentlichungen thematisiert. Es besteht diesbezüglich eine breite wissenschaftliche Basis, welche Einwirkungen auf die menschliche Gesundheit thematisieren und entsprechende Grenzwerte zu ihrer Wahrung diskutieren³⁰⁹.

Die Zuordnung von Einflüssen, Beanspruchungen und Grenzwerten zu Tätigkeiten können in der Modellierung von Produktionssystemen aufgegriffen werden; so ist die Modellierung von Einwirkungen als auch die Zuweisung von Grenzwerten im Prototypen, der in den folgenden Kapiteln vorgestellt wird, bereits möglich. Durch die Assoziation von Tätigkeiten, bzw. Arbeiten an Maschinen und Einwirkungen dieser Tätigkeiten, können die Anzahl von Einwirkungen, möglicherweise Grenzwertüberschreitungen, und unter Einbeziehung von Dosis-Konzepten, auch die Belastung über die Zeit simuliert werden. Dies erlaubt Interpretationen der Einwirkung von Prozessen auf die Gesundheit von Mitarbeitern und somit auf das betriebliche Humankapital. Eine ausführliche Erläuterung folgt in Kapitel 6 und 7.

Zusätzlich zu den Gesundheitsaspekten sind, bezugnehmend auf das Humankapital, die Innovationsbeiträge, das Wissen, die Betrachtung von unterschiedlichen Ausbildungsniveaus und die generelle Fertigkeit von Mitarbeitern und weitere zu thematisieren. Für die Produktionssimulation bieten sich hier verschiedene Anknüpfungspunkte. Auf Basis betriebsinterner Datenauswertungen können bspw. für Mitarbeiter verschiedene Größen und Verteilungen für Leistung über die Zeit (gemessen an Produkten), Qualitätsleistungen (akzeptable Produkte nach Qualitätskontrolle, auch Ausschussrate) oder Anzahl von Fehlern (Produktions-Stops, Schadwirkungen) erhoben und in entsprechende Modelle überführt werden. Zu

³⁰⁷ Als Beispiel ist auf die in der Medizin verwendeten Schmerzskalen hinzuweisen. Diese implizieren, dass bei gleicher äußerer Wirkung die Empfindung individuell verschieden sein kann. So kommt es auch zu Bedürfnispyramiden bzgl. der empfundenen Schwere von Arbeit und zu einer auf der individuellen Wahrnehmung basierenden psychosomatischen Wirkung. Prinzipiell kann der Arbeitsbegriff unterteilt werden nach Arbeit, Erwerbsarbeit, Guter Arbeit, Humaner Arbeit und Gesunder Arbeit. Rudow unterscheidet darüber hinaus nach den Merkmalen der Ausführbarkeit, Schädigungslosigkeit, Beeinträchtigungsfreiheit und Persönlichkeitsförderlichkeit [Rudow, 2014, S. 9 f.] und gibt damit Anhaltspunkte zu einer individuellen Einteilung.

³⁰⁸ Zudem gibt es eine Reihe von verschiedenen Dosiskonzepten, um die mittel- und langfristigen Wirkungen abschätzbar zu machen. Dabei kommt es i.d.R. zu kumulativen Betrachtungen von Energieaufwendung oder –einwirkung (auch Exposition) auf physische Systeme (bspw. Muskel-Skelett-System, Sehnen) über die Zeit, siehe bspw. „*Job Stress Model*“ [Chen, et al., 2011, S. 94]. Allerdings sind auch psychische Einwirkungen über die Zeit zumindest in qualitativen Folgebestimmungen untersucht, siehe bspw. [BAuA, 2010, S. 7 ff.].

³⁰⁹ Dabei spielt auch die Größe von Unternehmen eine Rolle, hinsichtlich der Durchführung und Überprüfung von Maßnahmen sowie der Übernahme von Standards, siehe diesbezüglich [Hasle & Limborg, 2006, S. 6 ff.].

bedenken ist, falls diese Daten aufgrund von datenschutzrechtlichen/ethischen Bedenken nicht erhoben und/oder genutzt werden sollen, dass dies eine Modellierung und spielerische Betrachtung des Einflusses von Parametern nicht ausschließt. Die Modellierung bedarf dazu allerdings der Definition entsprechender Parameter einer menschlichen Ressource und der Möglichkeit des Einflusses dieser Parameter auf die Leistungsfähigkeit, Ausschussrate, d.h. auf die Transformationsregeln oder Ablaufregeln von Produktionsprozessen. Dabei können die Einflüsse grob hinsichtlich des Untersuchungszweckes kategorisiert werden (bspw. eher ökonomisch nach Effizienz und Qualität³¹⁰, eher ökologisch durch Einflüsse auf Material-, und Energieverbrauch oder sozial durch Rückwirkungen auf das Humankapital). Zusätzlich zu den Einflüssen auf die Produktion ist auch die Modellierung von Ausbildungs- und Erfahrungsprozessen denkbar. So könnten Rückwirkungen der Arbeit über die Zeit sowie Einwirkungen bei gemeinsamer Arbeit verschiedener Individuen miteinander, als Rückwirkungen auf die Humanressourcen und ihre Erfahrungs-, Wissenseigenschaften modelliert werden. Da sich die Verankerung von Erfahrungswissen i.d.R. individuell auswirkt und stark vom Prozess abhängt, wären umso mehr Hinweise bzgl. der Einarbeitungszeit und der Auswirkungen von Facharbeitern als Grundbedingung für eine Modellierung notwendig. Gleichzeitig sind solche Modelle aufgrund ihrer Komplexität schwierig zu validieren, bzw. brauchen Messungen mit vielen Mitarbeitern (zum Ausgleich der individuellen Varianz)³¹¹.

Zusätzlich zu diesen Aspekten bestehen thematische Überschneidungen von Human- und Sozialkapital sowie von Humankapital und strukturellen Anforderungen an die Leistungsfähigkeit eines Unternehmens (im Bezug zur Organisationstheorie, bzw. zu Strukturkapital und/oder Gesellschaftskapital). Es ist zu bedenken, dass sowohl individuelle Qualifikation als auch die Leistungsfähigkeit von Mitarbeitern durch schlechte organisatorische Strukturen negiert werden können³¹². Der Hinweis auf das Sozialkapital (i.) und die innerbetrieblichen Strukturen ist dabei insofern von entscheidender Bedeutung, da vorherige Ausführungen sich speziell auf die Erkrankungen, störende Einflüsse und Befindungsbeeinträchtigungen bezogen. Zur weiterführenden Bemächtigung von Mitarbeitern im Sinne von Handlungskompetenz und „empowerment“, d.h. im Sinne des angedeuteten Wissenstransfers, werden allerdings die auf die Gesundheit einwirkenden Aspekte als grundlegend erfüllt angesehen. Vergleichbar mit Bedürfnispyramiden stellen sich folglich neue Anforderungen an die Interaktion (Sozialkapital) und an die strukturellen Begleitumstände (strukturelles Kapital, institutionelles Kapital) bspw. zur Weiterbildung und zur Verantwortungsübernahme.

³¹⁰ Bzgl. den ökonomischen Wechselwirkungen von Humankapital kann auf Teixeira verwiesen werden, der einen Überblick über Zusammenhänge veröffentlichte [Teixeira, 2002 (a), S. 9] und auf dieser Basis Implikationen für die portugiesische Wirtschaft untersuchte [Teixeira, 2002 (b), S. 17 f.], [Teixeira, 2003, S. 18 f.].

³¹¹ Es besteht eine Ähnlichkeit zu dem von Bourdieu geprägten Term des symbolischen Kapitals, welches als Anzeiger für Ausbildungsniveaus verstanden werden kann. Eine Modellierung kann sich an der Arbeitserfahrung (Dauer), aber auch den Jobbezeichnungen (symbolisches Kapital) und der Ableitung von Qualitätsgraden der Leistung orientieren. Es ist anzumerken, dass diese nicht zwingend die individuelle Leistungsfähigkeit implizieren, sondern Hinweise auf Familiarität mit Arbeitsprozessen liefern, die sich verschieden äußern kann.

³¹² Analog skizziert Autor Rudow sieben verschiedene Stadien der Einwirkung von Arbeit, die von der Abwesenheit negativer körperlicher und seelischer Einwirkungen, bis zu dem Erlangen von Handlungskompetenz reichen [vgl. Rudow, 2014, 12 ff.]. Auch Jäger deutet die Verbindung zu Sozialkapital, Technik, Strukturkapital an (vgl. die institutionelle Säule bei Spangenberg), in dem er resümiert: „(...) kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass der notwendige Wissensfluss im Unternehmen nicht ausschließlich eine Frage der Technik sein kann, sondern (...) ein qualitativer Aspekt von sozialer Infrastruktur ist und damit eine Frage komparativ vorteilhafter Institutionen als erforderliches Komplement zu Humankapital.“ [Jäger, 2004, S. 3]).

4.2.1.3 Konkretisierung weiterer sozialer Aspekte mit Produktionsbezug

Zur weiteren Spezifizierung sozialer Wirkungen, die über Human- und Sozialkapital (i.) hinausgehen, sind prinzipiell zusätzliche theoretische Abgrenzungen notwendig (bspw. bzgl. der Trennlinie zwischen Human- und Wissenskapital). Speziell das Sozialkapital (i.) muss in seinem Bezug zu den Interaktionsbeziehungen spezifiziert werden. Dies ist notwendig, da strukturelle, diese Interaktionsbeziehungen begünstigende oder sich negativ auswirkende Faktoren oft in sozialem Kapital (i.) integrativ betrachtet werden³¹³. Im Gegensatz dazu bestehen Ansätze, die weitere Kategorisierungen bevorzugen und Trennungen begünstigender oder sich negativ auswirkender Aspekte in Strukturkapital, Organisations-/institutionellem und auch gesellschaftlichem Kapital vornehmen. Problematisch werden diese Einteilungen, wenn vergleichbare Indikatoren in verschiedenen Kapitalstöcken thematisiert bzw. bewertet werden (besonders wenn Aggregationen oder Wirkungsabschätzungen folgen). Da es diesbezüglich andauernde und teils ungelöste, weitreichende theoretische Debatten gibt³¹⁴ und diese, für diese Arbeit von zweitrangiger Bedeutung sind, werden sie an dieser Stelle nicht vertieft. Hingegen wird sich spezifischer auf soziale Auswirkungen bezogen, welche entweder auf anderen Ebenen wirken (im Vergleich zu innerbetrieblichem Human- und Sozialkapital) oder Rückwirkungen auf die beschriebenen Kapitalstöcke haben, ihnen aber nicht zugeordnet werden. Dies soll die Deduktion von Parametern zur Nutzung in der Produktionssimulation und weitere Beschreibung funktionaler Beziehungen fördern.

Prinzipiell würde eine weitere Kategorisierung der sozialen Wirkungen in der Produktion die Spezifizierung von Anspruchsgruppen benötigen, vereinfacht wird an dieser Stelle auf innerbetriebliche Wirkungen der Produktion und außerbetriebliche Wirkungen hingewiesen. Bei den innerbetrieblichen sind generell die strukturellen Aspekte der Ablauforganisation herauszustellen. In dem Sinne geht es um die Unterstützung von Prozessen, welche die Kommunikation, Arbeits-/Prozessabläufe und den Zustand von Mitarbeitern fördern. Somit kommt es zu Rückwirkungen auf Human- und Sozialkapital (i.). In diesem Kontext kann auf betriebliche Praktiken bspw. zur Bereitstellung von freiheitsermöglichenden Strukturen

³¹³ Zudem besteht die Frage nach der Zuweisung von zugrundeliegenden Indikatoren zu den Kapitalstöcken, so werden oft Eigenschaften, die sich auf soziale, interaktive Aspekte beziehen auch Humankapital zugewiesen, anstatt hier eine klare Trennung zwischen Human- und Sozialkapital (i.) vorzunehmen. Gleichzeitig wird Sozialkapital (i.) oft abstrakt oder unspezifisch Entitäten, Organisationen und Individuen zugewiesen (was per se eigentlich als Humankapital tituliert werden müsste). Diese theoretischen Unklarheiten der Kapitalstockbetrachtung und der Assoziationsbeziehungen der Kapitalstöcke erschwert eine Abgrenzung zusätzlich.

³¹⁴ In Bezug zu gesellschaftlichem Kapital geht es um Überschneidungen bzgl. der Normenbildung (welche bei Fukuyama in Sozialkapital (i.) integriert betrachtet wird, s. [Fukuyama, 2001, S. 7 ff.]). Dabei ist auf die Multipolarität hinzuweisen, diese kann die unterschiedlichen Einteilungen erklären. Ferner ist auf Fukuyama's Formulierung hinzuweisen, die das Zusammenspiel zwischen Gesellschaft und Sozialkapital charakterisiert: *These norms „must be instantiated in an actual human relationship (...)“* [Fukuyama, 2001, S. 7]. In dem Sinne begreift er soziales Kapital (i.) als Ansammlung von Normen und Werten, die sich erst durch die Instanzierung in Menschen auswirken. Zudem definiert er die Beziehung zur Zivilgesellschaft als *„epiphenomenal“*, d.h., dass sie zwar soziales Kapital (i.) hervorrufen und durch dieses hervorgerufen werden können, allerdings es nicht repräsentieren. Dies wird nur im Kontext der Interaktion von zwei oder mehreren Menschen möglich [vgl. Fukuyama, 2001, S. 7 ff.]. Das entspricht auch einer Entwicklung von Bourdieu: *„Social capital is an attribute of an individual in a social context“* [vgl. Sobel, 2002, S. 139]. Die Normen und Werte auf unterschiedlichen organisatorischen Ebenen und in ihren Formen werden dabei bei anderen Autoren auch im kulturellen und gesellschaftlichen Kapital zusammengefasst, s. [Bourdieu, 1986, S. 242 ff.], im Kontext von Nachhaltigkeit [Axelsson, et al., 2013, S. 215 ff.] und in Bezug zu unterschiedlichen kulturell geprägten Wahrnehmungen von Arbeitsplatzsicherheit (*„safety culture, safety climate“*) [Rozlina, et al., 2012, S. 372 ff.].

(siehe Beispiel von Google - Seite 84)³¹⁵ und wissenschaftliche Aufarbeitungen von Arbeitszeitregelungen (bspw. Schichtpläne³¹⁶), Ressourcenverfügbarkeit zur Stressreduktion³¹⁷ und generell arbeitsorganisatorischen Erkenntnissen (siehe bspw. [Luczak, et al., 2002, S. 72 ff.], [Rudow, 2014, S. 23 ff.]) hingewiesen werden. Die sich grob insofern zusammenfassen lassen, als dass es diverse organisatorische Einflüsse gibt, die in Simulationsmodellen abgebildet werden können und Rückwirkungen auf Humankapital entfalten. Zudem können einige der resultierenden Indikatoren zusammengefasst und mit finanziellen Attributen verknüpft werden. So gibt es im Hinblick auf die Veränderung von Arbeitsabläufen die Möglichkeiten, diese Veränderung auf Basis einer erhöhten Produktion oder hinsichtlich ihrer Qualität zu messen. Strukturelle Veränderungen mit Auswirkungen auf bekannte Produktionskennzahlen sind somit relativ leicht zu überprüfen und in Simulationsmodellen zu validieren, schwerer hingegen sind Einwirkungen auf weiche Faktoren wie Sozialkapital (i.). Selbst bei positiven Rückwirkungen fällt die kausale Zuweisung von Auswirkungen zu Veränderungen schwer (s. das Beispiel von Baumanns und Münch). Eine Detailbetrachtung wie Einflüsse modelliert werden können, erfolgt in den Kapiteln 5 und 6.

Hinsichtlich der außerbetrieblichen sozialen Wirkungen bestehen verschiedene Ansätze, bspw. das sozial orientierte Supply-Chain-Management (SCM) und S-LCA-Ansätze, welche zusätzliche Wirkungen thematisieren und bewerten/messen. Beide Ansätze werden in Punkt 4.2.2 weiter ausgeführt. Für die Messbarkeit ist an dieser Stelle festzuhalten, dass

³¹⁵ Im Grunde beziehen sich diese Beispiele auf eine Reduktion von Komplexität, welche Individuen innerlich verarbeiten müssen, d.h., in dem Maße, in dem der Betrieb Strukturen bereitstellt, die den Mitarbeiter in seinen alltäglichen Aufgaben entlasten oder ihm Angebote bereitgestellt werden (bspw. zu Sportaktivitäten, Fortbildung, etc.), die ihn unterstützen, umso mehr kann sich der Mitarbeiter auf seine betrieblichen Aufgaben konzentrieren und muss weniger Aufgaben „im Kopf behalten“. Dies entspricht einem Ansatz der Stressreduktion durch Fokussierung. Zudem werden kreative Prozesse durch freie Entfaltungsmöglichkeiten aktiv unterstützt, was in Kombination mit den Freiheitsgraden, auch zur positiven Wahrnehmung des Unternehmens und der individuellen Entscheidung dort zu arbeiten, führt. Dies hat wiederum positive Rückwirkungen auf das individuelle Selbstgefühl („angekommen sein“, Zugehörigkeit, positive Rückwirkungen mit Arbeitgeber).

³¹⁶ Eine detaillierte Analyse zu Schichtdiensten (nicht in der Produktion, aber bzgl. Schichtlängen vergleichbar) wird von Amendola, et al. beschrieben. Hier notieren die Autoren als einen von diversen Diskussionsbeiträgen: „(...) *there were some disadvantages related to 12-hour shifts, (...) levels of sleepiness and lower levels of alertness (...) compared to those on 8-hour shifts. (...) this finding should be reason for further concern. The fact that the benefits associated with 10-hour shifts - better quality of work life and greater average sleep amount - did not extend to 12-hour shifts indicates a nonlinear effect. Indeed, the lower levels of alertness and higher levels of sleepiness (...) suggest diminishing returns for the 12-hour shift configuration, (...)*“ [vgl. Amendola, et al., 2011, S. 432]. Zudem erwähnt bspw. die HSA diverse Studien und spricht konkrete Empfehlungen für verschiedene Schichtsysteme aus [HSA, 2012, S. 4 ff.]. Das Department of Labour New Zealand hat ferner ein Framework für Arbeitgeber erstellt, welches beim Management von Schichtdiensten helfen soll [DLZ, 2007, S. 17]. Subsumierend wurde dieser Bereich exemplarisch herausgegriffen, um zu erläutern, dass diverse wissenschaftliche Studien zu Arbeitszeitregelungen (und organisatorischen Strukturen), welche auf Mitarbeiter einwirken, bestehen. Für die Produktionssimulation stellt sich die Frage, ob Studienergebnisse detailliert genug beschrieben werden, um Einwirkungen in Form von Formalismen abzuleiten und diese in Modelle zu integrieren. Das letzte Anwendungsbeispiel in Kapitel 7 verdeutlicht eine solche Falluntersuchung.

³¹⁷ Brüggmann, et al. beschreiben dies sehr anschaulich, aus diversen Perspektiven, siehe [Brüggmann, et al., 2003, S. 73 ff.], auch Rudow thematisiert bspw. die Nutzung von IKT zur Produktivitätserhöhung bei gleichzeitiger Stressreduktionen [Rudow, 2014, S. 71]. Prinzipiell ist die Ressourcenverfügbarkeit ein klassisches Thema der Arbeitsorganisation; die Betrachtung von Stress auf Basis der Unterstützungsfunktion von Ressourcen wurde zwar ebenso schon länger diskutiert, trotz dessen sind Kennzahlen eher eine Seltenheit. Das basiert zum Teil auch darauf, dass individuelle Zustände mit in die Betrachtung einbezogen werden müssten, so ist die Auswirkung, einer Verzögerung im Arbeitsablauf auf Basis einer fehlenden Ressource (bspw. ist der Gabelstapler woanders im Einsatz oder der Abteilungsleiter (Humanressource) kann gerade Arbeitsergebnisse nicht prüfen) in direkter Abhängigkeit des Erwartungszustandes und des Schweregefühls der Arbeitsaufgabe.

jegliche betriebliche Anlage eigene Wirkungen auf Menschen in regionalen Bezügen entfaltet. Ein Beispiel ist die Stimulierung der Wirtschaft in der Region durch die Bezahlung von Löhnen, gleichzeitig können ökologische Einwirkungen mit sozialen Folgewirkungen konstatiert werden (bspw. durch Umweltverschmutzung)³¹⁸. An dieser Stelle ist festzuhalten, dass im Gegensatz zu den vorher beschriebenen Wirkungen, sich diese (zurzeit) nicht zwangsläufig an Bezügen zu Human- und Sozialkapital messen lassen, sondern eher durch ökonomische Zusammenhänge oder ökologische Auswirkungen. Dies liegt zum Teil an der Nicht-Linearität der kausalen Zusammenhänge und an der Unzugänglichkeit der betroffenen Subjekte. Auch eine „Umrechnung“ ist teilweise ausgeschlossen oder wird erst durch rechtliche Klagen, Schadensersatzansprüche oder wissenschaftliche Studien evident, welche aber nicht die Regel darstellen. Eine Vertiefung dieser Punkte folgt in Punkt 4.2.2.

Die am schwierigsten zu bewertenden und zu messenden sozialen Wirkungen beziehen sich auf Veränderungen von Werten und Normen auf multipolaren Ebenen. Dies betrifft sowohl Gesellschaftskapital, als auch Einwirkungen auf Sozialkapital (i.)³¹⁹. Autor Rifkin hat dazu einen Diskussionsbeitrag geliefert, in dem er die Entwicklung der Empathie über die Menschheitsgeschichte diskutiert, mit der Kernthese, dass zur Überwindung globaler Probleme (Klimawandel) auch globale Bewusstseinsbildung notwendig ist³²⁰. Zudem beschreiben Bamberg und Möser eine wichtige Analyse u.a. zur Korrelation zwischen sozialem Verhalten und existierenden sozialen Normen, s. [Bamberg & Möser, 2006, S. 14 ff.]³²¹. Auch

³¹⁸ So steht bspw. der Konzern Coca-Cola oft in der Kritik, aufgrund seiner Betriebspraktiken in Indien. Die Handelszeitung schreibt im Jahr 2014: „Die Abfüllanlage in Varanasi, eine von 58 in Indien, steht seit Jahren im Zentrum von Protesten. Sie kann 600 Kunststoffflaschen pro Minute abfüllen. Kritiker beschuldigen das Unternehmen, für Wasserknappheit in der Region verantwortlich zu sein und Boden und Grundwasser zu verschmutzen.“ [HZ, 2014, OR]. Im Kontext der Grundwasserverschmutzung kann, bei Vergegenwärtigung von regionaler Wasserknappheit, der direkte Bezug von ökologischem Eingriff eines Unternehmens und regionalen sozialen Folgewirkungen konstatiert werden; entsprechend gibt es Beispiele auf verschiedenen Ebenen.

³¹⁹ Der multipolare Bezug ist hier insofern von entscheidender Relevanz, da bspw. die beschriebenen Geschäftspraktiken aus der Einleitung oder im Beispiel oben, von Coca-Cola, sowohl auf die Wahrnehmung branchenüblicher Praktiken auswirkt und mit diesen wechselwirkt, als auch auf Konsumenten und Gesellschaft als Ganzes (ein Beispiel medial stimulierter, vergleichbarer Wirkungen wäre die „Geiz ist geil“-Kampagne). Man muss konstatieren, dass die Bewusstseinsbildung kulturellen und medialen Einflüssen unterliegt und die Wirkungen von Unternehmen sich teilweise durch nicht-lineare Zusammenhänge beschreiben lassen oder sich gar nicht auswirken. Zudem kommt es i.d.R. erst bei symbolhaften Überschreitungen von Schwellenwerten zu gesellschaftlichen Diskussionen, die tatsächliche Einflüsse auf Sozialkapital und Gesellschaftskapital entfalten. Aufgrund der vielfachen Schwierigkeiten der Zuweisung und Messung solcher Entwicklungen sind wissenschaftliche Betrachtungen eher selten, nichtsdestotrotz bestehen Auswirkungen der betrieblichen Geschäftspraktiken (auch der Produktion) auf Normen und Wertebildung auf verschiedenen Ebenen.

³²⁰ Sein Buch „The empathic civilization“ schafft diverse ideelle Verbildlichungen der Empathieentwicklung auf verschiedenen gesellschaftlichen Ebenen. Er belegt diese u.a. mit Studien, Beispielen, als auch mit Hinweisen auf Organisationen. Um ein Beispiel zu zitieren, schreibt er: „The universalizing of empathy to include whole groups and categories of beings approaches the notion of a universal consciousness. The World Values Survey (...) shows a clear trend toward universalizing of empathy among younger generations, at least in more developed nations of the world. Fundamental changes (...) have all contributed to the universalization of empathic consciousness.“ [Rifkin, 2009, S. 128]. Obwohl die erhöhte Vernetztheit hier nur am Rande thematisiert wird, entspricht diese dem Merkmal der erhöhten Normen- und Wertebildung durch die zunehmenden Interaktionsbeziehungen von Unternehmen (vgl. Gesellschafts-, Sozialkapital (i.) Social SCM, etc.).

³²¹ Sie fassen u.a. zusammen: „(...) the intention to perform a pro-environmental behavioural option can be described as a weighted balance (...) concerning the three questions ‘How many positive/negative personal consequences would result from choosing this pro-environmental option compared to other options?’, ‘How difficult would be the performance of the pro-environmental option compared to other options?’, ‘Are there reasons indicating a moral obligation for performing the pro-environmental option?’. (...) PBC, attitude, and moral norm can explain 52% variance of the intention construct (...)“ [Bamberg & Möser, 2006, S. 21].

Valentine, et al. diskutieren in mehreren Veröffentlichungen die Einwirkung von Normen, in ihrem Fall auf betrieblicher Ebene, auf „*Creativity*“ [Valentine, et al., 2011 (a), S. 357 f.] „*Job satisfaction*“ und „*turn over intention*“ [Valentine, et al., 2011 (a), S. 358 f.]. Ferner untersuchen sie die Korrelationen betrieblicher Werte und Altruismus [Valentine, et al., 2011 (b), S. 511 ff.]. Aufgrund der noch vielfachen unbestätigten Korrelationen und der Schwierigkeit der Erhebung der abstrakten Normenbildung werden diese Aspekte im Hinblick auf die prototypische Realisation allerdings erst einmal abstrahiert.

4.2.1.4 Zusammenfassung relevanter sozialer Inhalte auf Produktionsebene

Um soziale Auswirkungen von Produktionen zusammenzufassen, kann entsprechend verschiedener Standards und/oder Richtlinien (bspw. ISO 26000, GRI 4) zwischen den Anspruchsgruppen der Mitarbeiter, Konsumenten und der Gesellschaft unterschieden werden. Diese können im Hinblick auf die Multipolarität weiter unterteilt werden:

- Mitarbeiter in der Produktion,
- Mitarbeiter im Betrieb (nicht in der Produktion),
- Beteiligte von Lieferketten (d.h.,
 - Mitarbeiter und
 - Unternehmen mit wirtschaftlichen Beziehungen zum Ausgangsbetrieb),
- Konsumenten (mit Abstrufungen bzgl. der Betriebsnähe),
- gesellschaftliche Stakeholder in regionalen Bezügen zu Produktionsstätten,
 - regional durch Produktionsstätten beeinflusste Gruppen von Menschen,
- sowie der Gesellschaft als Ganzes (als abstrakte Entität) oder
 - Gemeinschaften (Normen-/Wertebildung) mit Untersuchungsradiusbezug.

Eine derartige Auffächerung hat zwar den Nachteil der Komplexität, allerdings auch als Vorteil eine genauere Zuweisung von Wirkungen. Zusammenfassend schließt sich der Detailgrad der Kategorisierung aus dem Untersuchungszweck, wie auch der entsprechende Modellierungsansatz (theoretisch ist das Herunterbrechen auf jedes Individuum möglich, was in der internen und gesundheitsbezogenen Modellierung notwendig sein kann, in der außerbetrieblichen, aufgrund der Anzahl von Individuen, allerdings eher unangebracht ist).

Anhand dieser Gruppen können soziale Wirkungen definiert werden. Dabei sind, wie angedeutet, die am einfachsten nachzuvollziehenden und messbaren sozialen Wirkungen in der Produktion diejenigen, die sich auf das interne Humankapital, bzw. auf die Mitarbeiter in der Produktion, auswirken. Die Messbarkeit orientiert sich an physischen Einwirkungen und Ansprüchen an biomechanische Systeme, allerdings auch in Form von stofflichen oder anderweitigen Wechselwirkungen (bspw. Lärm). Psychologische Aspekte können im Bezug zu psychosomatischen Folgewirkungen und durch Aspekte wie Stress, Unterstützungsfunktionen, Belastungskonzepte, u.v.m. adressiert werden. Bzgl. einer Vielzahl dieser Einwirkungen existieren Grenzwerte, die in Verbindung mit Belastungsfunktionen in der Simulation genutzt werden können, um Einflüsse auf schädliche Folgewirkungen zu überprüfen.

Auch Sozialkapital (i.) kann, wie in Abschnitt 4.2.1.2 erläutert, konkrete Wirkungen auf die Produktion entfalten. Allerdings ist die Zuweisung von kausalen Wirkungen bzgl. Interventionen oder Veränderungsmaßnahmen noch schwierig. Darüber hinaus bleibt die Zuweisung

von Kapitalstöcken, die sich, im Hinblick auf das Sozialkapital, aus verschiedenen theoretischen Ansätzen speist, noch umstritten. Die hauptsächliche Wirkung wird im Kontext von Sozialkapital mit den Interaktionsbeziehungen von Individuen und den Folgewirkungen auf Organisationen und Gemeinschaften in Verbindung gebracht. Dabei bestehen logische Wechselwirkungen mit gesellschaftlicher Werte- und Normenbildung, die sich auch auf die Produktionsverfahren auswirken können. Ferner bestehen Wechselwirkungen, aufgrund der Geschäftspraktiken und der Art der Interaktionsbeziehungen mit Humankapital.

Bzgl. der gemeinschaftlichen oder gesellschaftlichen Folgewirkungen, die sich in erster Linie durch Geschäftspraktiken und resultierende Wertebildung der involvierten Individuen auszeichnen, kann in Referenz zu Fukuyama's und Rifkins Theorien festgehalten werden, dass es sich um, in Individuen/Organisationen instanziierte Ausprägungen institutionalisierter abstrakt festgehaltener Werte, Normen und Wissen handelt und diese sich entsprechend der Korrelationen in Bamberg und Möser auswirken, s. [Bamberg & Möser, 2006, S. 21].

Schließlich bestehen Folgewirkungen der Umwelteinflüsse der Produktion sowie der regionalen ökonomischen Aktivität. Diese Einflüsse sind im regionalen Bezug zu betrachten, allerdings bieten sich auch Branchenvergleiche an, um die Umweltauswirkung im größeren Maßstab einschätzen zu können³²². Abb. 36 visualisiert die Zusammenfassung:

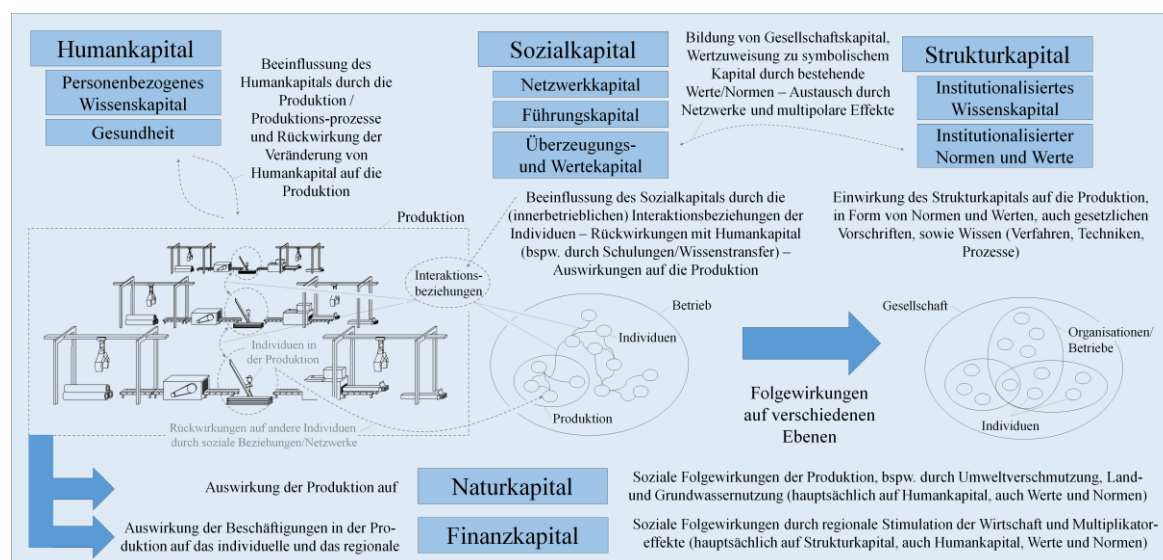


Abbildung 36: Soziale Wirkungen in der Produktion

Zur Analyse und zum Management der verschiedenen Aspekte bestehen diverse instrumentelle, teils betriebliche Verfahren, welche in der Folge auf Überschneidungspunkte zum verfolgten Simulationsansatz untersucht werden. Dabei bieten sich nicht alle Instrumente, die einen sozialen Bezug haben an (s. auch Nachhaltigkeitsinstrumente, Tab. 4, S. 94). Vielmehr wird evaluiert, welche Vorgehensweisen zur Aufnahme und Bewertung sozialer Faktoren den eigenen Ansatz komplementär begünstigen. So gibt es bspw. Überschneidungen zur LCA, welche die Integration in einem Ansatz ermöglichen kann. In dem Sinne wird in der Folge einleitend ein Überblick über betriebliche Werkzeuge und Verfahren geben.

³²² Als Referenz zur Entwicklung von der Outputorientierung zu stärker öko-sozialen Wahrnehmungen, kann eine frühe Aufschlüsselung von Anspruchsgruppen in Jain gefunden werden, siehe [Jain, 1983, S. 283 f.].

4.2.2 Relevante Verfahren des betrieblichen Managements sozialer Aspekte mit Überschneidungspunkten zum verfolgten Simulationsansatz

4.2.2.1 Überblick und Kategorisierung betrieblicher Konzepte und Instrumente

In der in Kapitel 3 vorgestellten Studie zu Instrumenten des Nachhaltigkeitsmanagement wurden einige erwähnt, die sich speziell oder komplementär auf soziale Aspekte beziehen. Diese werden folgend kategorisiert und die zusätzlich diskutierten Ansätze einbezogen:

- **Analyseinstrumente:**
 - Sozialbilanz (vgl. S-LCA – bzgl. sozialer Folgewirkungen auch E-LCA),
 - Stakeholder value (approach) - impliziert Anspruchsgruppendefinition, d.h., den beschriebenen Stakeholderansatz,
 - Risikoanalyse(n) (Integration sozialer Aspekte vgl. zur Nutzwertanalyse),
 - Social Impact Assessment (SIA) – (vgl. HRIA),
 - Statistische (/Bezugs-) Analysen (bspw. multivariate Auswahlverfahren),
- **Kennzahleninstrumente/Berichterstattung/Reporting:**
 - Soziale Kennzahlen und Kennzahlensysteme (vgl. Aggregationsansätze),
 - Berichte/Reporting zu CSR/CC/CS/CR,
 - (Balanced) Scorecard,
- **Managementansätze (u.a. zur Strategiewahl):**
 - TQM/TQEM (bei Fokus auf Arbeitnehmer/Kunden und Folgewirkungen),
 - Sozialmanagementsysteme,
 - (Sozio-) Controlling (siehe speziell [Dubielzig, 2009, S. 73 ff.]),
 - Nutzen-Risiko-Dialog,
 - Corporate Social Responsibility (CSR) (vgl. ISO 26000/SA8000),
- **Ansätze zur Stärkung von Interaktionsbeziehungen (Fokus Sozialkapital):**
 - Dialoginstrumente,
 - Employee Volunteering (auch zum Aufbau von Humankapital),
 - Anreizsysteme (auch zum Aufbau von Humankapital),
- **Ansätze zur spezifischen Stärkung und Schutz von Humankapital:**
 - Checkliste(n),
 - Arbeitsschutzmaßnahmen (besonders auch Schulungen/Weiterbildungen),
 - Arbeitsmedizinische Untersuchungen³²³.

Für einen umfassenderen Überblick siehe die erwähnte Studie des BMU, sowie [Dubielzig, 2009, S. 53 ff.], [Benoît & Vickery-Niedermann, 2010, S. 7 ff.], [Leipziger, 2010, S. 25 ff.]. Von besonderem Interesse bzgl. Überschneidungspunkten sind Analyseinstrumente (auf Basis der ähnlichen Ausrichtung von Simulationsverfahren) und betriebliche Praktiken zum Schutz von Humankapital (bzgl. der Modellierung und Datenanforderungen). Diese werden in der Folge genauer betrachtet, zudem werden Managementansätze am Beispiel von CSR, auf die Komptabilität, zum im Kap. 3 beschriebenen Ansatz diskutiert.

³²³ Es ist darauf hinzuweisen, dass die obige Liste keinesfalls vollständig ist. Dubielzig spricht diesbezüglich von einer kaum überschaubaren Fülle an Ansätzen und bezieht sich auf Waddock mit der Aussage: „Die Vielzahl bestehender Ansätze ist Anzeichen dafür, dass es eine Diskrepanz zwischen den wachsenden Erwartungen von Stakeholdern und der tatsächlichen sozialen Leistung von Unternehmen gibt, da anderenfalls Ansätze nicht in diesem Umfang entwickelt würden“ [vgl. Dubielzig, 2009, S. 37], [Waddock, 2004, S. 315].

4.2.2.2 Überschneidungspunkte zu Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin stellen in ihrer wissenschaftlichen Fundierung und ihren legislativen Ausprägungen die Rahmenbedingungen und Grundlagen der Verbesserung von betrieblichen Arbeitsbedingungen dar. Die inhaltliche Unterscheidung beider Disziplinen, kann im Grunde wörtlich nachvollzogen werden. Demnach beziehen sich Arbeitsschutzmaßnahmen auf die präventive Vermeidung von Gefährdungen, während die Arbeitsmedizin durch ihren Fürsorgecharakter zwar auch präventiv ausgelegt ist, allerdings sich darüber hinaus auch auf (nachgelagerte) Diagnostik und Rehabilitation sowie der (Re-)Integration von belasteten Individuen (bspw. im Kontext von chronischen Erkrankungen) beziehen kann. Speziell der Diagnostikaspekt der Arbeitsmedizin ist hinsichtlich der Qualifizierung von Auswirkungen von entscheidender Relevanz für diese Arbeit.

Auf der Ansatzebene gibt es drei klare Anknüpfungspunkte zu den beiden Disziplinen und diverse thematische Überschneidungen:

- Der erste Anknüpfungspunkt bezieht sich auf die inhaltliche Beschreibung, Qualifizierung und möglicherweise Quantifizierung der Einwirkungen von Arbeitsprozessen auf Humankapital und somit die Nutzung von Daten der Arbeitswissenschaften. Die Daten sind dabei sowohl für eine wissenschaftlich fundierte Einflussdefinition als auch für die Quantifizierung von Einflussgrößen zwingend notwendig.
- Als zweiten Anknüpfungspunkt kann definiert werden, dass die Validierung, Interpretation und Diskussion von Simulationsergebnissen nur in Verbindung mit Fachkräften aus dem arbeitsmedizinischen Bereich korrekt durchgeführt werden können. Dabei gilt die Voraussetzung, dass die Simulationsergebnisse Wirkungen auf Humankapital beschreiben³²⁴.
- Als dritter Anknüpfungspunkt kann die Definition konkreter Anwendungsfälle genannt werden, die Untersuchungen rechtfertigen, bzw. lohnenswert machen.

Bzgl. des letzten Punktes sind zudem 3 prinzipielle Untersuchungsaspekte zu unterscheiden:

- Erstens kann die Simulation dabei helfen, die Anzahl von Grenzwertüberschreitungen bzw. die Überschreitungen selbst definierter Schwellwerte im Bezug zu definierten Schichten oder Tätigkeiten, zu bestimmen.
- Zweitens können im Falle der Existenz von quantitativen Wirkungsbeziehungen Belastungswerte zu bestimmten Zeitpunkten sowie ihr dynamisches Verhalten im Hinblick auf die Arbeitsabläufe untersucht werden.
- Drittens besteht die Möglichkeit, Arbeitsprozesse in ihren kurz-, mittel- und langfristigen Wirkungen auf Humankapital miteinander zu vergleichen.

Zudem sind Verbindungen entsprechender Vorgehensweisen möglich. Eine Konkretisierung der Aspekte erfolgt im Rahmen der Konzeption und Fallbeispiele in Kapitel 5 und 7.

³²⁴ So ist bspw. eine Grenzwertüberschreitung i.d.R. einfach zu definieren und auch zu simulieren, die Auswirkung dieser, zumindest in ihren komplexeren medizinischen Folgewirkungen, muss jedoch durch medizinisches Fachpersonal interpretiert werden. Im psychologischen und psychosomatischen Bereich fehlt es zudem für die meisten Aspekte gänzlich an Grenzwerten. In dem Sinne wird i.d.R. eine qualitative Einordnung von Wirkungen vorgenommen, da eine Quantifizierung psychologischer Wirkungen nur selten möglich ist.

4.2.2.3 Überschneidungspunkte zu statistischen Verfahren

Abgesehen von bestehenden arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen können durch unterschiedliche mathematische Verfahren die notwendigen Datengrundlagen für simulationsgestützte Analysen (im Sinne dieser Arbeit) extrapoliert werden. So bestehen bspw. in vielen Betrieben anzapfbare Datentöpfe zu sozialen Kriterien, die oft nicht administriert, gemanagt oder bewusst wahrgenommen werden. Sie können sich bspw. auf genrelle Fehlzeiten, spezifischer auf krankheitsbedingte Ausfälle, Verletzungshäufigkeiten bei konkreten Mensch-Maschine-Interaktionen, Informationen zu Schichten, Performanzindikatoren bzgl. der Produktivität von Individuen, u.v.m. beziehen. Auch ohne arbeitsmedizinisches Hintergrundwissen können dabei zumindest teilweise die notwendigen Daten für die im vorherigen Kapitel beschriebenen Untersuchungsaspekte eruiert werden. Dazu braucht es i.d.R. statistische (Analyse-)Verfahren zur Aufbereitung, Verschneidung und Durchsuchung von Daten, um beziehungscharakterisierende Informationen zu extrahieren. Baumanns und Münch nutzen dafür in ihrer Studie multivariate Verfahren³²⁵, welche genutzt werden, um Bezüge zwischen verschiedenen Variablen herzustellen³²⁶.

Dieses Ziel, die Herstellung von eindeutigen, quantifizierbaren Beziehungen, durch entsprechende statistische Verfahren, ist dabei auch gleich dem Überschneidungspunkt zum Simulationsansatz. Dabei ist es für die Simulation irrelevant, ob die Bezüge sich durch lineare oder nichtlineare Folgewirkungen auszeichnen, solange eine Entsprechung von Verteilungen gefunden werden kann, die im Hinblick auf den Untersuchungszweck, abstrahiert ausreichend genau die reale Beziehung widerspiegelt.

In Abhängigkeit der Datenlage ist es auch möglich, dass nur qualitative Wirkungsbeziehungen festgestellt werden können, die Quantifizierung oder Zuweisung von kausalen Beziehungen allerdings misslingt³²⁷. In diesem Fall bietet die Simulation die Möglichkeit, sich den tatsächlichen Werteverhältnissen (durch Experimentieren) anzunähern, unter der Voraussetzung, dass die Ergebnisse validiert werden können.

³²⁵ Eine Detailbetrachtung der in der Studie verwendeten Kriterien und resultierenden Ergebnisse des Verfahrens können in Badura, et al. nachgelesen werden, siehe [Badura, et al., 2010 (b), S. 74] sowie [Baumanns & Münch, 2010, S. 165]. Holtmann hat in diesem Kontext ein umfassendes Werk zur grundlegenden Nutzung multivariater Modelle in der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse publiziert. Eine prinzipielle Kategorisierung von multivariaten Verfahren kann nach strukturdeckenden und strukturprüfenden Verfahren gemacht werden. Zu ersteren gehören bspw. die Faktorenanalyse, zur Reduktion mehrdimensionaler Datenstrukturen auf wenige Dimensionen [vgl. Holtmann, 2010, S. 8], sowie die Clusteranalyse (engl. „clustering“), zur Klassifizierung von Beobachtungen anhand mehrerer Variablen [vgl. Holtmann, 2010, S. 2]. Zu Letzteren ist vor allem die Regressionsanalyse zu zählen, welche zur Bestimmung des Einflusses von unabhängigen Variablen auf abhängige Variablen erfasst [vgl. Holtmann, 2010, S. 2].

³²⁶ Eine Auseinandersetzung mit „*principal factors*“ wie der Aggregation/Machbarkeit kann in [Aaronson, 1998, S. 217 ff.] gefunden werden. Überschneidungspunkte werden in [Rogerson, 1995, 1373 ff.] diskutiert.

³²⁷ Dabei beschreiben Badura, et al. quantifizierte Relationen zwischen verschiedenen sozialen Kapitalsorten und der Qualität der Arbeit, Gesundheit und Arbeitsbedingungen [Badura, et al., 2010 (b), S. 73]. Selbst wenn die Werte nicht für jede Organisation zutreffen werden, speziell aufgrund der Multipolarität, können die qualitativen Wirkungen genutzt werden, um generelle Strömungen in Modellen zu beschreiben und spielerisch mit Modellen zu experimentieren. Die Multipolarität äußert sich in diesem Fall durch unterschiedliche Werte, Normen und Abläufe in verschiedenen Branchen. Es ist an dieser Stelle noch einmal deutlich darauf hinzuweisen, dass die durchgeführte Studie die These bestätigt „*vom Sozialkapital als einer bisher stark unterschätzten, treibenden Kraft für den Unternehmenserfolg. Unternehmenskultur, soziale Netzwerke und Führungsqualitäten lassen sich sehr wohl quantitativ erfassen und bewerten.*“ [Badura, et al., 2010 (b), S. 75].

4.2.2.4 Überschneidungspunkte zu SIA und Anspruchsgruppendefinitionen

Social Impact Assessment (SIA) steht wörtlich für die Abschätzung sozialer Einwirkungen und wird oft mit Sozialverträglichkeitsprüfung übersetzt. Der englische Term entspricht dabei mehr dem Vorgehen des Ansatzes, indem er die Definition von Einwirkungskategorien tangiert. Der deutsche Begriff bezieht sich hingegen mehr auf das Ziel des Ansatzes, nämlich Abschätzungen zu erarbeiten, ob bestehende Einflüsse verträglich sind. Gleichzeitig erlaubt SIA auch die Analyse von Verbesserungsmaßnahmen, bzw. Interventionen. Diesbezüglich kommt es zu einer Beurteilung nicht ob der Verträglichkeit, sondern wie verträglich Einflüsse sind. Konsekutiv braucht es für entsprechende Aussagen eine Metrik, welche die Quantifizierbarkeit sozialer Einwirkungen erlaubt. Prinzipiell wird der Ansatz häufig bei Infrastruktur- und Entwicklungsprojekten eingesetzt, allerdings werden auch größere Investitionsvorhaben, Handelsabkommen und Veränderungsmaßnahmen anderer Art analysiert. Zudem wird i.d.R. Wert auf Anhörungsprozesse gelegt; so können Analyseberichte verschiedenen Anspruchsgruppen im Vorfeld der Maßnahmen vorgelegt werden und es zu wechselseitigem Austausch kommen. Dies geschieht einerseits, um die Akzeptanz von Projekten zu erhöhen und andererseits zur weiteren Spezifikation von Einflüssen auf eben jene Anspruchsgruppen (falls diese sich in den Analysen unterrepräsentiert fühlen)³²⁸.

Wie aus dieser Erläuterung hervorgeht ist ein Kernbestandteil des SIA die Anspruchsgruppendefinition³²⁹. Diese wurde in Abschnitt 4.1.3.4 angesprochen und stellt den hier thematisierten Überschneidungspunkt dar. Der Hintergrund dafür liegt einerseits in der Schwierigkeit der Bestimmung sozialen Kapitals (a.) als Basis der sozialen Säule der Nachhaltigkeit und andererseits in der Übereinstimmung zwischen der SIA-eigenen Definition von Anspruchsgruppen sowie sog. Einflussarealen³³⁰ und der Notwendigkeit einer multipolaren Zuordnung von sozialen Wirkungen. In dem Sinne braucht es für eine Evaluierung der Nachhaltigkeit einer Maßnahme, eine umfangreiche Analyse der sozialen Umstände (relevante Gruppen, Reichweite von Folgen, etc.), um die Abschätzbarkeit der Wirkungen vornehmen zu können. Gleichzeitig kommt es beim Austausch von zwei Produktionsprozessen i.d.R. nicht zu weitreichenden sozialen Veränderungen, d.h., zumeist wird nur das interne Humankapital betroffen und möglicherweise noch, durch ökologisch-soziale Folgewirkungen, regionale Gruppen. Bezugnehmend auf das Ganzheitlichkeitsprinzip der Nachhaltigkeit, müssten bei umfassenderen Veränderungsmaßnahmen Anspruchsgruppendefinitionen und die Bildung von Einflusskategorien samt Indikatoren und Evaluationen erfolgen. Die Vorgehensweise und Verbindung mit der Simulation wird in Abschnitt 4.3.2 verdeutlicht.

³²⁸ Benoît und Vickery-Niedermann notieren dazu: „As in SIA, if S-LCA indicators are developed only in a top down manner they may not represent the views and priorities of the impacted people or their communities. Therefore, it is important to involve and engage stakeholders as much as possible in the study process. The social (and socio-economic) impacts to be covered in an assessment and the way this should be done should be case and context specific. Therefore, there is in general no consensus on which indicators to use and how to assess social impacts of planned interventions with SIA.“ [Benoît & Vickery-Niedermann, 2011, S. 11].

³²⁹ In dem Sinne besteht hier eine methodische Ähnlichkeit mit Human Rights Impact Assessment (HRIA), wobei sich nur die Ausrichtung und Definition von Indikatoren leicht ändert.

³³⁰ Leipziger nutzt diesen Term, indem er Social Impact Assessment, im Bezug zu einer Studie und zu Environmental Impact Assessment beschreibt und die Studienwirkung auf sog. „area of influence“ [Leipziger, 2010, S. 450] bezieht, welche im Vergleich zur Anspruchsgruppendefinition mit Projektbeginn definiert werden muss. S. dazu auch das sog. „Social Hotspots Assessment“ in bspw. [Benoît & Vickery-Niedermann, 2010, S. 6] und die sinn- und ansatzverwandte „Social Hotspot Database“, s. [Pelletier, et al., 2013, S. 17 ff.].

4.2.2.5 Überschneidungspunkte zu Social LCA und Environmental LCA

Die Überschneidungspunkte zu den ökologischen und sozialen Ausprägungen der Lebenszyklusanalyse beziehen sich hauptsächlich auf zwei Aspekte; einerseits existieren zu der produktions- und produktorientierten Betrachtung sowie der Definition von Einflusskategorien des LCA/SLCA bereits diverse Vorarbeiten, die vergleichbar in die Definitions-, Parameter- und Einflussbildungen von Simulationsansätzen mit Produktionsfokus einfließen können³³¹. Im Zusatz zur Anspruchsgruppendefinition kann hier auch die Definition sog. sozialer Brennpunkte genannt werden, die einer Kombination aus Branchen- und Gruppenwahrnehmung sowie der Inklusion weiterer regionaler Effekte entspricht, siehe [Benoît & Vicker-Niedermann, 2010, S. 6]. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, den Betrachtungsrahmen von Simulationsstudien ohne größeren zusätzlichen Modellierungsaufwand zu erweitern. Speziell die Vorkette der Produktion kann relativ einfach mit in bestehenden Simulationsmodelle integriert werden, da durch die bereits bestehende Nutzung von Materialien/Stoffen/Energie, die entsprechenden Datenrucksäcke integriert, bzw. an bestehende Strukturen angeheftet werden können³³². Da zudem die Auswahl dieser Materialien oft schon Teil des Modellierungsprozesses ist, und da länderspezifische Kennzahlen theoretisch sogar automatisch (bei default-Werten) übernommen werden können, kommt es, solange die technischen Strukturen für die Integration entsprechend festgelegt wurden, in manchen Fällen sogar zu gar keiner Veränderung der Modellierung³³³. Die Regel ist allerdings, dass eine zusätzliche Auswahl nötig wird, da zu einer Reihe von Materialien/Stoffen/Energie unterschiedliche LCA-Datensets bestehen, die auch andere Einwirkungen auf Basis ihrer Daten implizieren und somit die Auswahl der passgenaueren Alternative im Modellierungsprozess nötig wird. Die Integration wird in Kapitel 4.3 und 5 noch ausgeführt.

³³¹ Jørgensen beschreibt verschiedene Ausprägungen von Kriterien in Bezug zu unterschiedlichen Untersuchungen im Rahmen seiner Dissertation. Im Jahr 2008 publizierte er zudem eine explizite Betrachtung der „Methodologies of Social Life Cycle Assessment“, in der verschiedene Einflusskategorien und Indikatoren genauer diskutiert werden. So macht er eine Grobunterteilung nach Menschenrechte, Arbeitspraktiken und –bedingungen, Gesellschaft und Produktverantwortung mit diversen Subkategorien und entsprechenden Indikatoren, siehe [Jørgensen, et al., 2008, S. 96 ff.]. Dabei sind im Rahmen dieser Arbeit hauptsächlich die Einflusskategorien bzgl. der Arbeitsbedingungen und –praktiken von Relevanz. Im Kontext der Datenlage können allerdings, im Vergleich zu ELCA, Daten aus den Vorketten über die Materialbuchung mit ins Produktionsmodell einbezogen werden. Das klassische Beispiel für resultierende zusätzliche soziale Betrachtung wäre die Integration von Materialien, die mit Kinderarbeit hergestellt wurden und so implizite Wirkungen mit ins Modell einbringen. Diese können bei der Endbetrachtung der Simulation entsprechend von Aggregationsverfahren oder zusätzlich zur bestehenden Wirkungsanalyse als weiteres Ergebnis dargestellt werden. Auch im Kontext der Anspruchsgruppendefinition (wie in SIA, HRIA) und der Bildung von Untersuchungsrahmen mit regionalen Bezügen bestehen Vorgehensweisen, die in der Konzeption aufgegriffen werden.

³³² In der Veröffentlichung von Jain, et al. wird zudem auf die messbaren Unterschiede der Integration von LCA-Daten zu bestimmten Teilen der Vor- und Nachkette im Vergleich zur Aggregation von Simulationsergebnissen für die verschiedenen Prozesse des Lebenszyklus eingegangen, siehe die Ergebnisse der verschiedenen Vorgehensweisen [Jain, et al., 2013, S. 2003]. Dabei wird auch auf hybride Modellierungs- Simulationsvorgehensweisen eingegangen, welche im Kontext der Notwendigkeit verschiedener Auflösungen bei der Betrachtung von Lebenszyklusaspekten relevant ist und auch bzgl. sozialen Kriterien sinnvoll erscheint.

³³³ Dies impliziert, dass für manche Regionen, Branchen oder Prozesse bestimmte Datensätze des LCA nur in einzelnen Ausprägungen vorhanden sind. Für den Fall, dass bspw. die Modellierungssoftware eine Länder-, bzw. regionale Zuweisung von Standorten hat, könnten bei der Auswahl von Materialien/Stoffen oder Energie entsprechende Datenrucksäcke als default-Werte ohne weitere Auswahlnotwendigkeit integriert werden. In dem Sinne würde die Modellierung keine zusätzlichen Schritte bedürfen. Natürlich ist es gleichzeitig sinnvoll, die default-Auswahl ändern zu können, für den Fall, dass auf andere Ausprägungen zurückgegriffen werden soll, oder manuell entsprechende Daten verändert werden sollen (bspw. bei konkreterem Systemverständnis).

4.2.2.6 Überschneidungspunkte zu Managementansätzen (Anlehnung an CSR)

Die vorherigen Anknüpfungs- und Überschneidungspunkte bezogen sich alle auf Aspekte von verschiedenen Verfahren, die einen Simulationsansatz mit dem Ziel der Betrachtung aller drei Säulen der Nachhaltigkeit entweder ermöglichen oder inhaltlich kombinatorisch stärken können. Der folgende Punkt bezieht sich eher auf die Einbettung des Ansatzes in eine größer angelegte Strategie, im Sinne der Förderung von Nachhaltigkeit.

Wie bereits in Punkt 3.3.2.5 notiert, bezieht sich diese Einbettung auf Managementansätze. Um dies anhand der sozialen Ausprägung zu verdeutlichen, bildet Abb. 37 den schematischen Aufbau der ISO 26000 ab³³⁴. Durch die visualisierten Klauseln werden die Schritte zur Betrachtung und Verbesserung der (hauptsächlich sozialen) Nachhaltigkeitswirkung eines Unternehmens/einer Organisation deutlich. Dabei sind die Definition von Kernthemen und das Verständnis von sozialen Wirkungen elementare erste Schritte (Klausel 1 bis 4), Klausel 5 deutet folglich auf die Anspruchsgruppendefinition im Rahmen eines Untersuchungszweckes hin (bzw. generell auf die, für das Unternehmen relevanten Anspruchsgruppen). Abschließend wird auf die Praktiken eingegangen, um die Verankerung und Förderung von CSR-Inhalten/Maßnahmen innerhalb der Organisation zu stärken.

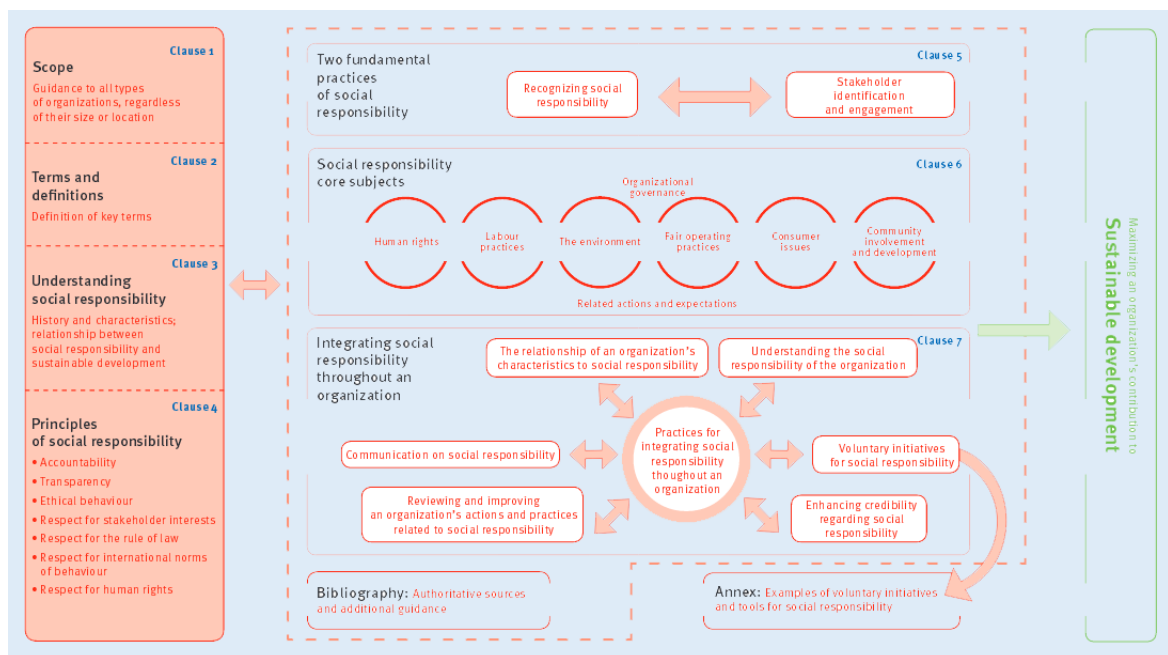


Abbildung 37: Schematische Darstellung der ISO 26000 [vgl. DIN ISO 26000:2011-01, S. 12]

³³⁴ Zu beachten sind hier drei Aspekte, die Prinzipien in der vierten Klausel, die Kernaspekte in Klausel sechs und zusätzlich ist herauszustellen, dass die ISO 26000 CSR prinzipiell als „Ermöglicher“ von Nachhaltigkeit versteht. Dies impliziert, dass auch Maßnahmen beschrieben werden, anstatt nur eine thematische Eingrenzung vorzunehmen. Gleichzeitig ist der relativ neu überarbeitete Standard von entscheidender Relevanz für die Verankerung von Prinzipien und die Durchführung von Maßnahmen auf betrieblicher und organisatorischer Ebene. Die Prinzipien können dabei als Leitlinien für positiv konnotiertes Verhalten verstanden werden und entsprechen somit sinngemäß der Wirkung von Sozialkapital (i.), da sie die Art der Interaktionsbeziehungen zwischen Individuen, Individuen und Organisationen und Organisationen untereinander beeinflussen. Zwangsläufig stellt sich bei der Betrachtung der Prinzipien die Frage was bspw. Transparenz oder ethisches Verhalten impliziert. Hier muss auf Multipolarität und kulturelle Relativität verwiesen und in Kontext der Anspruchsgruppendefinition eine entsprechende Varianz von Einschätzungen erwartet werden.

In dem Maße, wie Managementansätze (bspw. in inhaltlicher Anlehnung an die ISO 26000) darauf ausgelegt sind, Nachhaltigkeit zu stärken, ist die Verbindung zum Verfahren der Modellbildung und Simulation (im Rahmen dieser Arbeit) insofern deutlich, da es als Analyserwerkzeug, hinsichtlich einer Fragestellung mit obigem Bezug, zum Einsatz kommen kann. Hinsichtlich dieser integrativen Betrachtung kommt es zu multiplen komplementären Schritten. Die Modellbildung kann bspw. auf bestehende Anspruchsgruppendifinitionen (die im Rahmen der CSR Strategie festgelegt wurden) zugreifen und diese gleichzeitig, im Bezug zu einem konkreten Anwendungsfall, weiter verfeinern. Die spezifische Verfeinerung kann ebenso in die Management-Strategie rückfließen (s. bspw. [Scherenberg, 2011, S. 39 u. S. 130 ff.]). Zudem sind die Bereichsdefinitionen und Indikatorbestimmungen (sozialer Kennzahlen) komplementär zu sehen, während die Eruierung von Anwendungsfällen durch Simulationen, eine wissenschaftlich besser begründete Strategieentscheidung erlaubt³³⁵. Generell kann somit resümiert werden, dass es zu Überschneidungen von Datenanforderungen kommt, planungsrelevante Fragestellungen zu wechselseitigem Austausch zwischen Ergebnissen des Managementansatzes und Simulationsverfahren führen kann, sowie diverse Definitionen und Abgrenzungen einander inhaltlich begünstigen können.

Darüber hinaus ist auf die Notwendigkeit des iterativen Vorgehens hinzuweisen, welches im sozialen Kontext noch deutlicher herausgestellt werden muss, da sich Ansprüche von Individuen und Gruppen, auf Basis von Bedürfnispyramiden³³⁶, bzw. aufgrund der Veränderung von Bedürfnissen im Laufe der Zeit, stark verändern können. In dem Sinne ist es, gerade im sozialen Bereich notwendig, Simulationsanalysen in iterativen Schritten durchzuführen, um entsprechenden Veränderungen über die Zeit Rechnung zu tragen. Beispielsweise können selbst kleine Arbeitsplatzumstellungen im Rahmen der betrieblichen Praxis große Wirkungen entfalten, jedoch werden diese nur selten geprüft. Mit einem bestehenden vollständigen Modell wäre der zusätzlich Aufwand zur Überprüfung dieser Umstellungen relativ gering und würde so eine zeitnahe Überprüfung von der Veränderung erlauben (wenn nur Parameter verändert oder kleine Modellanpassungen gemacht werden müssten).

Eine entsprechende Einbettung der Nutzung von Simulationsverfahren wurde ansatzweise bereits beschrieben, siehe dazu [Widok & Wohlgemuth, 2013, S. 514 ff.]. Unter Punkt 4.3 wird diese ferner, bzgl. der notwendigen Anpassung des gängigen Ablaufplans von Simulationsstudien, aufgegriffen und konkretisiert.

³³⁵ Zudem kann auf die bereits beschriebene thematische Überschneidung diverser Kriterien der ökologischen, sozialen und ökonomischen Betrachtung hingewiesen werden, welche zusätzliche Definitions- und (Daten-) Erhebungsprozesse überflüssig machen kann (bzgl. Redundanz, mehrfacher Erhebung, die nicht notwendig ist, bei korrekter Datenhaltung und -verfügbarkeit), siehe auch [Widok & Wohlgemuth, 2015, S. 7 ff.].

³³⁶ Eine entsprechende Einordnung (auch geschichtlich, aber hauptsächlich auf die verschiedenen Strömungen eingehend) wird von Autor van Marrewijk gegeben. Er beschreibt in seinem „philosophischen Beitrag zur unternehmerischen Nachhaltigkeit“ diverse Einflüsse auf die Veränderung und Veränderungsraten (eher gesellschaftlich), im Kontext unternehmerischer sozialer Einwirkungen [van Marrewijk, 2003, S. 97 ff.]. Dabei ist der Bezug zwischen Veränderung („evolution“) und Zielwerten herauszustellen. So notiert er: „*So far we have seen that evolution provides a sense of direction, inspiring both in individuals and corporations goals for transformation.*“ [van Marrewijk, 2003, S. 99]. Diese mit Indikatoren gemessenen Zielstellungen unterliegen eben, den Zielen folglich, Veränderungen und kausal folgend, brauchen bestehende Systeme iterativen Abgleich im Kontext der veränderten Indikatoren mit denen die Zielerfüllung gemessen wird. Interessant in diesem Kontext und mit Bezug zu CSR ist der Vergleich mit früheren Jahren und Veröffentlichungen die sich der zeitlichen Entwicklung widmen, siehe bspw. „*The temporal development of Social and Environmental reporting in the top 10 mining companies from 1999 to 2003*“, in [Jenkins & Yakovleva, 2006, S. 278 f.].

4.2.2.7 Zusammenfassung der Anknüpfungs- und Überschneidungspunkte

Zusammenfassend ergeben sich, für den verfolgten Ansatz einer kombinatorischen Simulation der drei Perspektiven der Nachhaltigkeit in der Produktion, verschiedene thematische und methodische Überschneidungen zu anderen Ansätzen, die sich wie folgt gliedern lassen:

- Inhaltliche Überschneidungen:
 - **Definitionen und thematische Abgrenzungen:**
 - u.a. zu CSR, SIA, HRIA, SLCA, AS-/AM-Maßnahmen
 - **Anspruchsgruppenbildung:**
 - u.a. zu SIA, CSR, SLCA
 - **Kriterien/Kennzahlen/Indikatoren:**
 - u.a. zu CSR, SIA, HRIA, SLCA, AS-/AM-Maßnahmen
- Methodische Überschneidungen:
 - **Bestimmung von Modellelementen (durch Anspruchsgruppenbildung):**
 - Die Vorgehensweise(n) bzgl. der Identifikation von Anspruchsgruppen bei SIA, HRIA, CSR, (S-/E-) LCA können den Modellbildungsprozess der Simulation in Hinblick auf zu integrierende Humanressourcen und ihre Beziehungen/Einflüsse auf sie unterstützen. Im Kontext einer integrierten Nutzung von SLCA-Daten können auch Gruppen thematisiert und Einflüsse simuliert werden, die über die klassische Systemgrenze der Produktionssimulation hinausgehen.
 - **Studien-Abgrenzung, Untersuchungszweckdefinition:**
 - Die Abgrenzung des Untersuchungsrahmens ist prinzipiell vergleichbar mit SIA, HRIA, LCA, (S-/E-) LCA, wobei nur von begünstigten Aspekten ausgegangen werden kann, wenn Studien zu stark ähnlichen oder den gleichen Untersuchungsgegenständen durchgeführt werden, andernfalls sind die Anwendungsfälle einzeln zu betrachten.
 - **Datenanforderungen (Bereitstellung von Daten durch):**
 - Die notwendige Datengrundlage für Simulationen der beschriebenen Sachverhalte stellt zusätzliche Ansprüche an stochastische Verteilungen oder statistische Datengrundlagen, die i.d.R. weitere Aufarbeitung bedürfen. Bei der Abwesenheit von entsprechenden Informationen bieten sich statistische Analyseverfahren an, mit deren Hilfe die notwendigen Erkenntnisgewinne zumindest experimentell der Modellierung und folglich Simulation bereitgestellt werden können. Zudem können weitere mathematische Verfahren für die Datenaggregation genutzt werden

Dabei wird vorausgesetzt, dass die unterschiedlichen Verfahren diverse eigene Ausprägungen oben beschriebener Aspekte haben und an dieser Stelle nicht von deckungsgleichen, sondern vergleichbaren oder einander begünstigenden Vorgehensweisen und Aspekten ausgegangen wird. Die Begriffe Überschneidungs- und Anknüpfungspunkte wurden zudem teilweise synonym, bzw. analog verwendet, der Hintergrund dafür ist, dass diese ineinander übergehen können.

4.3 Abgrenzung Sozialer Nachhaltigkeit für diese Arbeit und zur Nutzung in Kombination mit der Produktionssimulation

4.3.1 Zusammenfassung der Herausforderungen und Probleme

4.3.1.1 Vorbemerkung

In Analogie zu Kapitel 3 (3.3) dient Abschnitt 4.3 als Vorstufe der funktionalen Anforderungsanalyse in Kapitel 5 und der Spezifizierung des eigenen Ansatzes zur Nutzung sozialer Nachhaltigkeit in der Produktionssimulation. Dazu werden die Kernherausforderung in Abschnitt 4.3.1 kurz resümiert, in Abschnitt 4.3.2 der eigene Ansatz präsentiert und dieser, in Abschnitt 4.3.2.6, gegen bestehende Lösungen und aktuelle Veröffentlichung abgegrenzt.

4.3.1.2 Multipolarität, Kulturelle Relativität und Anspruchsgruppenbildung

Die soziale Seite der Nachhaltigkeit unterliegt, aufgrund des direkten Bezuges zu ideellen Konzepten, welche in Menschen instanziiert sind, einer höheren Relativität als die ökologische und die ökonomische Dimension. Dies gründet sich u.a. auf kulturelle Einflüsse, die bei einer Betrachtung sozialer Einflüsse mit in die Betrachtung einbezogen werden müssen.

Zu der Relativität der Definitionen und Wirkungen kommt im Kontext unterschiedlicher organisatorischer Einflüssebenen die Schwierigkeit, dass sich Indikatoren, in Bezug zu diesen Ebenen, stark unterscheiden können oder schlichtweg für andere Ebenen nicht adäquat sind. Das Resultat ist, dass die Bewertung von sozialen Einflüssen oder Maßnahmen zur Veränderung sozialer Kriterien auf unterschiedlichen organisatorischen Ebenen nur schwer oder gar zu vergleichen sind, s. bspw. [Baumanns, 2009, S. 63-68] im Bezug zu KMU.

Ein Ansatz, um zumindest die Definitionsproblematik von Indikatoren aufzulösen, ist die Vorgehensweise der Anspruchsgruppendefinition, welche die anschließende Bildung von Einwirkungskategorien und die, sich auf diese beziehende, Indikatorbildung einschließt. Die Orientierung an Standards macht diese Herangehensweise bzgl. der branchenüblichen Indikatoren vergleichbarer, die Ebenen-Problematik löst sie allerdings nicht gänzlich auf.

4.3.1.3 Probleme der Messbarkeit, Bewertungen und Vergleiche des Sozialen

Die Instanzierung von ideellen Konzepten als eine Grundlage sozialen Kapitals³³⁷ macht die Messung und besonders die iterative Messung zu einem Ressourcenproblem, d.h., sie ist i.d.R. sehr zeitaufwendig und oft auch kostspielig. Zu kleine oder spezifische Erhebungen/Messungen führen zu Problemen der Stichprobenvarianz, bzw. mangelnder Aussagekraft. Ferner wird für viele Untersuchungen die Kooperation der beteiligten Menschen benötigt, welche im Kontext bestehender Sorge um persönliche Informationen, nicht selbstverständlich ist. Iterative Messungen, speziell nach Veränderung, haben zudem die Problematik der sich, auch ohne Zutun, verändernden Wahrnehmung und konsekutiv eines unbestimmten Einflusses. Dies erschwert die Zuweisung von Kausalbeziehungen zusätzlich.

³³⁷ In diesem Kontext ist sowohl die interaktionsbezogene Definition sozialen Kapitals zu verstehen, als auch als mögliche Aggregationsfolge soziales Kapital als zugrundeliegender Kapitalstock sozialer Nachhaltigkeit.

Darüber hinaus bestehen Probleme der Vergleichbarkeit von Informationen/Ergebnissen, die mit bestehenden Ansätzen gewonnen werden. Dies bezieht sich in erster Linie auf die im vorherigen Punkt thematisierten Schwierigkeiten (Ebenen/Kulturelle Relativität). Hier ist anzumerken, dass es klare Unterschiede der verschiedenen Aspekte der sozialen Säule, in puncto der Betrachtung von Humankapital und sozialem Kapital (i.) sowie die sich auf Normen und Werte beziehenden Ausprägungen gibt. Indikatoren, die sich auf Humankapital beziehen, zumindest auf seine physischen Bestandteile, sind i.d.R. wesentlich vergleichbarer, als ideell instanziierte. Die Orientierung an Standards kann hier generell zu einer besseren Vergleichbarkeit beitragen, allerdings diese im Kontext der thematisierten Schwierigkeiten auch nicht herstellen.

4.3.1.4 Aggregationsprobleme des Kapitalansatzes im Kontext des Sozialen

Die starke Differenzierung sozialer Inhalte schließt eine sinnvolle Aggregation im Sinne von Kapitalansätzen fast aus. Zwar ist es möglich, vergleichbare Metriken zu entwickeln, in der Literatur wurde allerdings kein Verfahren gefunden, welches nicht entweder auf multiple Indikatoren verweist oder enormen Informationsverlust auf Basis der Aggregation in Kauf nimmt, ohne einen definitiven Mehrwert des aggregierten Wertes aufzuzeigen. In diesem Hinblick wird folgend eine zusätzliche Kennzahl vorgeschlagen, die sich an der Definition von normativen Werten orientiert und das Soziale im Kontext von Schwellwertüberschreitungen zueinander in Bezug setzt.

4.3.2 Verfolgter Ansatz zur Bewertung sozialer Nachhaltigkeit im Kontext der Produktionssimulation

4.3.2.1 Definition sozialer Kapitalstöcke als inhaltliche Indikatorgrundlage

Im Kontext dieser Arbeit dient die Kapitalstockbetrachtung des Sozialen zur Orientierung und Definition von relevanten Inhalten der sozialen Säule der Nachhaltigkeit, nicht zur Aggregation auf ihrer Basis. Dies liegt hauptsächlich daran, dass Indikatoren nach bestehendem Verständnis teils mehrere Zugehörigkeiten haben müssten oder nur unzureichend zugeordnet werden könnten, was im Sinne einer mathematischen Formalisierung problematisch ist. Grundsätzlich lassen sich, trotz dessen, die Vielzahl sozialer Aspekte unterschiedlichen sozialen Kapitalstöcken zuweisen, was folgend abschließend abgegrenzt wird.

Sozialkapital bezieht sich auf die Qualität der Interaktionsbeziehungen von Individuen, ist aber nicht alleinig durch diese limitiert. Es braucht einen Kontextbezug im Sinne der Festlegung des Untersuchungsgegenstandes zur näheren Beschreibung. Für eine Organisation bspw. entspricht das Sozialkapital einerseits der Güte der Austauschbeziehungen der Mitarbeiter untereinander, sowie deren Normen- und Wertezustände, wobei das Verhältnis von Heterogenität zu Homogenität dieser nicht abschließend qualifiziert wird. Prinzipiell wird davon ausgegangen, dass Übereinstimmung zu Konfliktreduktion führt, allerdings reduziert dies auch Wachstumsmöglichkeiten durch Austausch unterschiedlicher Überzeugungen. In dem Sinne wird davon ausgegangen, dass es ein positives Maß für das Verhältnis gibt, welches allerdings von den betroffenen Subjekten und ihrem Humankapital abhängig ist.

Darüber hinaus besteht ein direkter Bezug zu organisatorischen Rahmenbedingungen und Instrumenten, welche die Kommunikationskanäle beeinflussen und sich auf die Interaktionsbeziehungen auswirken. Die Zuordnung dieser zum Kapitalstock ist strittig, jedoch sinnvoll im Kontext der Beschreibung der Qualität der internen Vernetzung und organisationsbezogenen Qualität des Sozialkapitals. Dies schließt sich aus dem Verständnis, dass Strukturen (auch ideell instanziierte, bspw. die Führungsqualität eines Vorgesetzten) eine dauerhaft positive Wirkung auf die Interaktionsbeziehungen der Mitarbeiter entfalten können. Nach dieser Definition schließt Sozialkapital weitere Rahmenbedingungen ein, welche Wirkungen auf die Quantität und Qualität der Informationskanäle entfalten. Dies bezieht sich auf den Grad der Vernetzung und die Leistungsfähigkeit der zugrundeliegenden Struktur.

Humankapital bezieht sich auf das Leistungsvermögen von Individuen, bzw. Gruppen von Individuen bei organisatorischer Bewertung von Humankapital. Dieses obliegt vieler Einflusskriterien, die mit in die Betrachtung des Kapitalstockes aufgenommen werden. Vor allem ist die (physische und psychische) Gesundheit als Voraussetzung und größter Einflussfaktor zu verstehen, welche Humankapital im Einzelfall bis auf dessen Ausfall reduzieren kann oder über vorherig bekannte Leistungsgrenzwerte steigern kann. Das inkorporierte personengebundene Wissenskapital wechselwirkt mit Sozialkapital in dem Sinne, dass sich der Wissenszustand von Individuen auf deren Interaktionsbeziehungen auswirkt. Die Wissenskomponente wird im Kontext von Innovationsbeiträgen und aus ihr resultierenden differenzierten Leistungsniveaus als wichtiger Wirtschaftsaspekt wahrgenommen. Institutionalisierte Beglaubigungen von Fähigkeiten/Wissen können im Vergleich zu Bourdieu's symbolischem Kapital Humankapital zugeordnet werden und wechselwirken mit Sozialkapital in dem Maße, indem sie Vertrauen in Fähigkeiten von Individuen suggerieren.

Strukturkapital, institutionalisiertes Kapital und Gesellschaftskapital sind verschiedenen konnotierte Ausprägungen, deren Zwecke in der sozialen Betrachtung vergleichbar sind und die sich auf Rahmenbedingungen und Instrumente beziehen, welche mit Sozialkapital und Humankapital wechselwirken. Dabei wird Strukturkapital meist Untersuchungsobjekt-intern verstanden, während institutionalisiertes Kapital und Gesellschaftskapital eher extern verortet werden. Die Trennung auf diese Kapitalstöcke unterscheidet sich stark nach Autor, dies geht soweit, dass Aspekte vollständig in Sozialkapital integriert betrachtet oder jegliche nicht in Personen instanziierten Einwirkungen in verschiedenen Ausprägungen obiger Kapitalstöcke definiert werden, siehe bspw. [Adger, 2003, S. 387 ff.]. Für diese Arbeit wird Untersuchungsobjekt-internes Strukturkapital, Sozialkapital zugeordnet und externes, wie auch institutionalisiertes Kapital, Gesellschaftskapital zugeordnet. Gesellschaftskapital hat darüber hinaus die Funktion den kulturellen Einfluss zu beschreiben, welcher mit Sozialkapital und Humankapital wechselwirken kann. Dies impliziert zudem, dass die Entstehung von sich auf Werte und Normen beziehendem Gesellschaftskapital prinzipiell nachgelagert der Werte und Normenbildung des Sozialkapitals ist. Diese wird durch bestehende Netzwerk-Strukturen von Individuen verbreitet und mündet ggfs. in strukturellen Ausprägungen und Instrumenten, die wiederum Rückwirkungen auf Sozial- und Humankapital entfalten.

Zu beachten ist darüber hinaus, dass Einwirkungen auf **Naturkapital** und **ökonomisches Kapital** ebenso soziale Folgewirkungen haben, siehe diesbezüglich Abb. 36 auf Seite 138.

4.3.2.2 Abschließende Definition sozialer Nachhaltigkeit

Soziale Nachhaltigkeit inkorporiert die Inhalte der im letzten Punkt beschriebenen sozialen Kapitalstöcke³³⁸. Zudem ist der Begriff in seiner entwicklungspolitischen Orientierung mit dem Gerechtigkeitsprinzip verbunden, welches einem implizierten Bestreben nach Angleichung nahe kommt. Diesbezüglich werden sowohl soziale Folgewirkungen wirtschaftlicher Praktiken (Verteilungsgerechtigkeit, auch Chancengleichheit), und im Kontext der Einwirkung anthropogen verursachter Umweltschäden, auch soziale Folgewirkungen ökologischer Veränderungen einbezogen (Generationengerechtigkeit bei bleibenden Schäden). Zudem werden Aspekte der Menschenrechte besonders berücksichtigt und verlieren teilweise ihre kulturelle Relativität, indem sie als unverhandelbar verstanden werden³³⁹. Aufgrund des ideellen Charakters und relativen Neuheit des Konzeptes unterliegt es noch starker Wandlung, so ist auch die Angleichung von wirtschaftlichen Lebensstandards mehr als Mittel zum Zweck zu verstehen. Das bedeutet, dass die auszugleichende Ziele eigentlich im menschlichen Glück und individuellen Entfaltungs-, Teilhabe- und Einflussmöglichkeiten zu verorten sind, was nicht zwangsläufig eine materielle Gleichverteilung implizieren muss³⁴⁰.

Die zwei Kernthemenbereiche, die in dieser Arbeit die elementare, aber nicht zwingend limitierende Eingrenzung sozialer Nachhaltigkeit impliziert, sind Wohlbefinden und Kommunikation. Diese spiegeln die Betrachtung von Humankapital und Sozialkapital wider, allerdings geht Wohlbefinden über Gesundheit hinaus, in dem eine Bandbreite von der Wahrung der Unversehrtheit und Beeinträchtigungsfreiheit als Minimalziel, hin zu persönlicher Entfaltung, Wachstumsmöglichkeiten und Glück, respektive im Verhältnis zu den individuellen Bedürfnissen, begrifflich umschlossen wird. Ähnlich verhält es sich mit Sozialkapital und Kommunikation, wobei letzteres Kommunikationsstrukturen explizit mit einschließt und dies bei Sozialkapital und Strukturkapital oftmals zu Missverständnissen führt (auch wegen der Zuweisung von Sozialkapital zu Organisationen). Die Indikatoren zur Messung sind untersuchungszweckabhängig, das Aggregationsproblem wird folgend thematisiert.

4.3.2.3 Relatives Aggregationsprinzip zur Messung sozialer Nachhaltigkeit

Da das in Kapitel 3 thematisierte kapitalansatzorientierte Aggregationsprinzip für die soziale Seite, wie aufgezeigt, nur bedingt funktional ist, wird eine Bewertungsmetrik vorgeschlagen, die soziale Einflüsse in Bezug zu Schwellwertüberschreitungen setzt. Dies hat den Hintergrund der Unvergleichbarkeit sozialer Einflüsse ohne Aufbereitung (so ist bspw. die Einwirkung auf das Muskel-Skelett-System eines Individuums durch erhöhte Traglast in einem Arbeitsprozess nur schwer bis gar nicht mit psychischen oder sozio-ökonomischen Folgewirkungen zu vergleichen). Die Betrachtung der Abweichung von normativen Werten erlaubt hingegen einen prozentualen Vergleich der Abweichungsraten und ihre Gewichtung.

³³⁸ Die Orientierung am Brundtlandbericht in vielen bestehenden Veröffentlichungen deutet teilweise die Schwierigkeit der Operationalisierung sozialer Nachhaltigkeit an, da diese mehr als akzeptierter Minimalkompromiss, denn als operationales Konzept verstanden werden kann.

³³⁹ Gleichzeitig ist zu bedenken, dass das Konzept selbst hier eine gewisse Loslösung von kultureller Relativität impliziert, die praktische Anwendung unterliegt allerdings, auch im Kontext von Menschenrechten, einer gestreuten Wahrnehmung von Betroffenen und Entscheidern.

³⁴⁰ Siehe diesbezüglich diverse Studien und Beschreibungen von Korrelationen in [Pinzler, 2011, S. 11 ff.].

Um dies zu verdeutlichen, können die Werte von sozialen Einflussindikatoren verschiedenen Kategorien zugeordnet werden (bspw. nach akzeptablem und unakzeptablem Einfluss positivem und negativem Einfluss oder nach der Schwere von Belastungen, etc.). Ein einfaches Beispiel ist der Umwelteinfluss Temperatur, der ab bestimmten Grad-Zahlen eine soziale Folgewirkung, im Sinne von einer schädlichen Einwirkung auf Humankapital, impliziert. Demnach gibt es Schwellwerte für den Indikator Temperatur, welche verschiedene Temperaturbereiche abgrenzen³⁴¹ und anhand dieser, eine qualitative Bewertung des Einflusses ermöglicht wird. Vergleichbar dazu können für jeden sozialen Einfluss eine Metrik und ein Wertebereich für die Schwellwertbetrachtung bestimmt werden. Folglich ergibt sich ein prozentualer Bezug zwischen dem Wert des Einflussindikators und der Schwellwerte der Kategorien. Dieser Bezug kann (vorausgesetzt, dass die Kategorien für alle bestehenden Einflüsse vergleichbar beschrieben werden) für die existierenden sozialen Einflüsse vergleichbar sein und repräsentiert (seiner Definition folgend) bspw. die Schwere der Schädwirkung eines Einflusses. Darüber hinaus können die Abweichungsraten mit der Anzahl der Betroffenen gewichtet werden (gewichtete Schädwirkung). Detaillierte Beispielrechnungen erfolgen in Kapitel 5 und Kapitel 7. Um an dieser Stelle die Eruiierung von Schwellwerten für physische Einflüsse in der Produktion exemplarisch zu verdeutlichen, wird auf Tab. 7 und Abb. 38 verwiesen. Hier wird eine Risikoeinteilung der Einwirkung von Hebelasten auf Individuen, im Sinne der Gefährdungsbeurteilung, anhand der Leitmerkalmethode der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), vereinfacht dargestellt:

Risikobereich	Schwellwert	Beschreibung
1	< 10	Geringe Belastung, Gesundheitsgefährdung durch körperliche Überbeanspruchung ist unwahrscheinlich.
2	10 bis < 25	Erhöhte Belastung, eine körperliche Überbeanspruchung ist bei vermindert belastbaren Personen möglich. Für diesen Personenkreis sind Gestaltungsmaßnahmen sinnvoll.
3	25 bis < 50	Wesentlich erhöhte Belastung, körperliche Überbeanspruchung ist auch für normal belastbare Personen möglich. Gestaltungsmaßnahmen sind angezeigt.
4	> 50	Hohe Belastung, körperliche Überbeanspruchung ist wahrscheinlich. Gestaltungsmaßnahmen sind erforderlich.

Tabelle 7: Grobe Bewertung von Hebelast anhand der Leitmerkalmethode [vgl. BAuA, 2001, S. 3]³⁴²

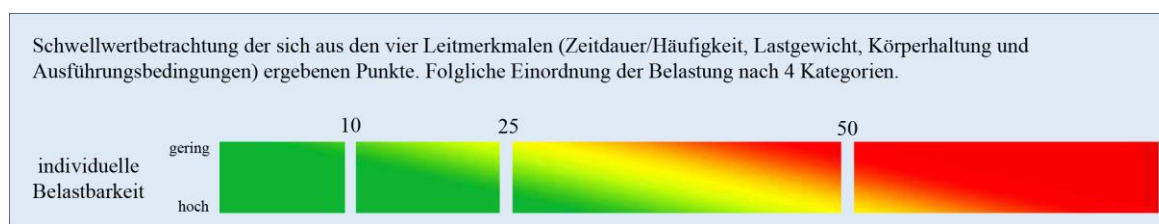


Abbildung 38: Individuelle Relativität zwischen Einfluss und Schwellwerte [vgl. BAuA, 2001, S. 1]

³⁴¹ In diesem Fall, bspw. Kategorie 1: ohne Einwirkung (10°C bis 25°C), Kategorie 2: mit negativer Einwirkung (>0°C bis <10°C & >25°C bis <35°C), Kategorie 3: mit schädlicher Einwirkung (<0°C & >35°C).

³⁴² „Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass mit steigenden Punktwerten die Belastung des Muskel-Skelettsystems zunimmt. Die Grenzen zwischen den Risikobereichen sind aufgrund der individuellen Arbeitstechniken und Leistungsvoraussetzungen fließend. Damit darf die Einstufung nur als Orientierungshilfe verstanden werden. Vermindert belastbare Personen sind in diesem Zusammenhang Beschäftigte, die älter als 40 oder jünger als 21 Jahre alt sind, "Neulinge" im Beruf oder durch Erkrankungen leistungsgemindert sind. Gestaltungserfordernisse lassen sich anhand der Punktwerte der Tabellen ermitteln. Durch Gewichtungsverminderung Verbesserung der Ausführungsbedingungen oder Verringerung der Belastungszeiten können Belastungen vermieden werden“ [BAuA, 2001, S. 3].

Wie angezeigt ergeben sich die Punkte zur Aufteilung auf die angezeigten Belastungskategorien aus einer Berechnung von Zeitdauer/Häufigkeit, Lastgewicht, Körperhaltung und Ausführungsbedingungen, welche ihrerseits durch verschiedene Parameter gekennzeichnet werden. Zudem kommt es zu einer individuellen Anpassung je nach ausführendem Individuum (siehe Fußnote der letzten Seite und Kapitel 5, sowie Fallbeispiel 1 in Kapitel 7).

Aus diesem Aggregationsprinzip folgen einerseits, die Notwendigkeit der Abbildbarkeit der Aspekte in der Modellierung und die Ermöglichung entsprechender Berechnungsschritte in der Simulation (funktionale Anforderungen). Zudem ist anzumerken, dass sich für unterschiedliche soziale Einflüsse sehr verschiedene Berechnungen ergeben können, was sich sowohl auf die Formalisierung der Einwirkungen bezieht als auch auf die Schwellwertbetrachtung. Diese ist erforderlich, um soziale Einflüsse auf einen gemeinsamen Nenner zu bringen, entsprechend der Ausführungen der Verschneidung von multiplen Kriterien in Kapitel 2.3.2. Der mathematische und softwaretechnische Ansatz zur Auflösung dieser Komplexität wird in Kapitel 5, in der Konzeption der Softwarelösung, genau beschrieben.

4.3.2.4 Integrative Betrachtung der drei Nachhaltigkeitssäulen in einem Modell

Die relative Aggregation sozialer Einflüsse erlaubt konsekutiv die Qualifikation eines Prozesses hinsichtlich der definierten sozialen Kriterien (Schwellwertabweichung). An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass durch die integrierte Stoffbuchung, die vergleichbar zur MFA aufgebaut ist, auch der Bezug zwischen Stoffen und Individuen hergestellt wird. Gerade für chemische Stoffe bestehen gleichzeitig wohl definierte Grenzwerte für Arbeitsplätze, bzw. zu dem Kontakt zwischen Individuen und den Stoffen. Auf Listendarstellungen soll in dieser Arbeit verzichtet werden, allerdings kann der generelle Ablauf der Gefährdungsbeurteilung anhand der technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) der BAuA nachvollzogen werden, in denen auch die Datenblätter, bzw. Informationsquellen referenziert werden, s. [BAuA, 2012, S. 5 ff.]. In dem Sinne können durch die Verbindung zwischen Arbeitsplatzbetrachtung und Humanressourcen die gleichen Schwellwertbetrachtungen im Kontext der Interaktion zwischen Menschen und Stoffen formal beschrieben werden. Demnach wird die eingangs formulierte Zielstellung einer Betrachtung ökologischer, ökonomischer und sozialer Wirkungen von Prozessen und die Vergleichbarkeit dieser, nach allen drei Aspekten der Nachhaltigkeit, möglich. Mit besonderem Hinweis darauf, dass die verschiedenen Aspekte in einem einzelnen Modell abgebildet und betrachtet werden können.

Gleichwohl ist anzumerken, dass es sich in der ökologischen und der sozialen Dimension um verkürzte Betrachtungen hinsichtlich des Untersuchungszweckes und der möglichen Indikatoren handelt. Dies liegt u.a. an der Komplexität der Wirkungsbeziehungen und auch an der Nutzung relativ etablierter Indikatoren, so ist bspw. der Aggregationswert der stofflichen und LCA-basierten Betrachtung, wie angesprochen, i.d.R. ein CO₂-Äquivalent (bspw. GWP). Dieses wird genutzt, um einen vergleichbaren Wert für unterschiedliche Prozesse zu haben. Hier ist festzustellen, dass die Herstellung dieser Vergleichbarkeit auf Kosten einer genaueren Betrachtung der tatsächlichen Umweltwirkungen geschieht, so sind die Ressourcennutzung (im Kontext der Endlichkeit, sowie der spezifischen Schadwirkung von Stoffen), die Landnutzung und andere Kriterien nur abstrahiert durch das CO₂-Äquivalent repräsentiert. Zwar existieren ausgefeilte Umrechnungen (bspw. bzgl. der Aussagekraft des

Global Warming Potentials (GWP) im Kontext der Landnutzung), dennoch wird der Informationsumfang durch die Aggregation reduziert (siehe Abb. 29, Seite 93). Eine vergleichbare und noch stärkere Abstraktion wird in dieser Arbeit für soziale Einflüsse vorgeschlagen. Diese ist notwendig, da zu viele der Wechselwirkungen entweder noch unbekannt sind, formale Beschreibungen für sie fehlen oder diese noch zu hohe Anforderungen an die Modellierung und an die integrative Betrachtung in einem Simulationsmodell stellen. Diesbezüglich wird sich, um die prototypische Umsetzung zu testen, in den Fallbeispielen, in erster Linie auf die Schadwirkung von Prozessen auf Humankapital konzentriert. Dies erfolgt, um arbeitsmedizinisch auswertbare Ergebnisse zu generieren (vergleichbare Umsetzung im Kontext von Sozialkapital wären nur durch intensive Studien überprüfbar) und um die prototypische Realisierung anhand vergleichbarer Ansätze testen zu können (bzgl. ergonomischer Einwirkungen gibt es, wie angesprochen, im Kontext der Verbindung der Produktionssimulation und sozialen Kriterien bereits Ergebnisse). Diese hauptsächliche Orientierung an arbeitsschutzrelevanten Anwendungsfällen ist somit in erster Linie der Komplexität geschuldet, welche eine Einschränkung der Betrachtung notwendig macht.

Um diese Reduktion jedoch nicht technisch zu manifestieren, wird entsprechend den Idealen der objekt- und komponentenorientierten Programmierung ein relativ offenes Softwaresystem angestrebt, welches bzgl. der Betrachtung von Einflusskategorien und ihrer Bewertung, Freiraum für Modellierer erlaubt (auch bezugnehmend auf Sozialkapital), s. Kap. 5 und 6.

4.3.2.5 Nutzung des Simulationsansatzes bzgl. des Nachhaltigkeitsmanagements

Um eine Bewertung der Nachhaltigkeit von Prozessen im Hinblick auf die in Kapitel 3 beschriebenen Kriterien zu ermöglichen, bedarf es iterativer Simulationsstudien zu den gleichen Prozessen. Zwar können ohne iterative Simulationsstudien Prozesse im Hinblick auf unterschiedliche Werte von Indikatoren (auch aggregierte) verglichen werden, allerdings wird dabei nicht die mögliche Veränderung der normativen Werte bedacht und somit entspricht dieses Verfahren nur einer Momentaufnahme und keiner „nachhaltigen“ Betrachtung. Diese Notwendigkeit und ein iterativer Ablaufplan wurde bereits in [Widok & Wohlgemuth, 2013, S. 514 ff.] diskutiert³⁴³. Dabei ist, in Referenz zu gebräuchlichen Ablaufplänen von Simulationsstudien (vgl. 2.2.2.4, Abb. 11), auf die zusätzliche Definition von normativen Werten (auch bzgl. der Schwellwertbetrachtung sozialer Kriterien) und auf die Notwendigkeit der iterativen Überprüfung dieser (samt Modellanpassungen) hinzuweisen.

Gleichzeitig ist es möglich auch, die Streuung der normativen Werte zu simulieren und in dem Sinne diverse mögliche Szenarien darzustellen und in Verbindung mit dem bestehenden Simulationsmodell zu überprüfen. Das bekannteste Beispiel dieser Art entspricht wiederum der Analyse von Grenzen durch Meadows, et al., siehe bspw. die Entwicklungen von Lebensstandard, Wohlstand und ökologischem Fußabdruck in Referenz zu verschiedenen normativen Werten für die Bevölkerungszahl [vgl. Meadows, et al., 2012, S. 250 ff.]. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass entsprechende Szenarienanalysen i.d.R. nur einen Ausschnitt der möglichen normativen Werte einbeziehen, was entsprechend einen Raum unbekannter, möglicherweise besserer Lösungen, im nicht-analysierten Zustand belässt.

³⁴³ Die grundsätzliche Eingliederung nachhaltiger Maßnahmen in Managementansätze wird bspw. in Scherenberg, diskutiert, die auch besonders auf die Sozialkapitalaspekte eingeht [vgl. Scherenberg, 2011, S. 130 ff.].

4.3.2.6 Abgrenzung des Ansatzes gegen bestehende Verfahren und aktuelle Veröffentlichungen

Bis zum Zeitpunkt der Abgabe dieser Arbeit wurden keine Ansätze in der Literatur gefunden, welche der Gesamtheit, der hier vorgestellten kombinatorischen Vorgehensweise entsprechen. Dies bezieht sich spezifisch auf die Verbindung der Produktionssimulation, mit verschiedenen Aspekten der MFA, (S-)LCA und der darüber hinausgehenden Definition sozialer Kriterien (die sich nicht nur auf ergonomische Aspekte beziehen), bei gleichzeitiger Abbildung in nur einem Modell. Speziell auch die Eruiierung von ökonomischen, ökologischen und sozialen Kriterien im Sinne einer Nachhaltigkeitsbetrachtung, in einem Simulationsmodell, konnte für das Anwendungsfeld der Produktion, in der thematisierten Komplexität, nicht gefunden werden. Besonders ist an dieser Stelle auf die Interaktion von Menschen und Stoffen, im Sinne der Weiterentwicklung der Verbindung von MFA und DES hinzuweisen. Diese erlaubt Abschätzungen von Gefährdungen von Individuen, bzgl. der zeitbezogenen Ausgesetzttheit, in Analogie zu der beschriebenen Schwellwertbetrachtung.

Zudem ist die freie Definition von sozialen Einflussfaktoren in einem Produktionsmodell eher unüblich. So existieren zwar verschiedene Softwareprodukte, welche eine vergleichbare Modellierung erlauben, allerdings bieten diese nicht die Komplexität und Modellierungsmöglichkeiten an, welche sich spezifisch auf produktionsrelevante Vorgänge sowie ökonomische und ökologische Betrachtungen der Produktion beziehen (wie bspw. Material- und Stoffbuchungen, Maschinentypen (samt Konversionslogik), Lager, Förderbänder, Wartungen, Ressourcen, LCA, u.v.m.). Darüber hinaus ist die Parametrisierung von sozialen Einflüssen in dieser Arbeit breiter aufgestellt, als in bekannten Lösungen. Dies bezieht sich auf die Parametrisierungsmöglichkeiten, welche sich nicht nur auf die Einflussstärke, sondern auch auf Kombinationen von Einfluss-Logik (formale Kombination von Einflüssen), wie auch auf Grenz-, und Schwellwerte beziehen und demnach zusätzliche Modellierungsebenen eröffnet, die weitere Ergebnisse und Betrachtungsperspektiven ermöglichen.

Bei Ansätzen, die sich begrifflich und thematisch auf die Nachhaltigkeit von Produktionen beziehen und auf ihre Eruiierung durch Simulationsverfahren, geht es in entsprechenden Analysen, in der großen Masse, um Energie- und/oder Materialverbräuche. Soziale Aspekte werden bei dieser Verbindung meist gar nicht betrachtet oder fast ausschließlich nachgelagert, im Sinne von Szenarien-Analysen und im Kontext wirtschaftlicher Fragestellungen. Ansätze die sich auf ergonomische Bewertungen beziehen, werden nur selten mit Nachhaltigkeitsbetrachtungen in Verbindung gebracht, wobei diesbezüglich einzelne Ansätze bestehen. An dieser Stelle ist prinzipiell zu trennen, da es diverse Ansätze gibt, die sich thematisch auf die simulationsgestützte Eruiierung von Nachhaltigkeitsaspekten in der Produktion beziehen und wiederum andere, die soziale Aspekte im Kontext ergonomischer Kriterien thematisieren. Die Verbindung beider Betrachtungen ist jedoch sehr selten, die zusätzliche Betrachtung nicht ergonomischer sozialer Einflussfaktoren wurde bereits nur ansatzweise und nicht im Bezug zu Produktionssimulations-Softwaresystemen gefunden (Beispiele mit statischen Analysen existieren). Eine zusätzliche Verbindung dieses Ansatzes mit MFA-Aspekten und (S-)LCA-Methodiken/-Anwendungen sowie die softwaretechnische Umsetzung und Integration dieser, existieren, nach bestehendem Kenntnisstand, gar nicht.

Die prinzipiellen Anwendungsgebiete der Verbindung der Simulation und sozialer Kriterien beziehen sich bisher eher auf die ökonomisch konnotierten Betrachtungen der Schicht-, bzw. Einsatzplanungen und in vereinzelt Lösungen auch auf Grenzwertbetrachtungen von physischen Einflüssen im Sinne der Gefährdungsvermeidung (auch im Sinne von Risiko- und Kostenabschätzungen, d.h., wiederum in Verbindung mit ökonomischen Überlegungen), und darüber hinaus im Hinblick auf das Design von Anlagen und Mensch-Maschine-Interaktionen. Zu letztem Zwecke werden oft 3D-Modelle genutzt.

Dabei ist die Betrachtung physischer Einflüsse zur Gefährdungsvermeidung in Siemens PLM Lösungen (Jack 8.0.1) mit am weitesten entwickelt (s. Mühlstedt für Vergleiche [Mühlstedt, 2012, S. 103]). Diese erlaubt, ähnlich mit denen in dieser Arbeit vorgeschlagenen Vorgehensweisen, die Nutzung von Menschmodellen sowie die manuelle Parametrisierung von Humanressourcen, mit dem Ziel der genaueren Eruiierung physischer Einflüsse (entsprechend der in Abschnitt 4.3.2.3 vorgestellten Notwendigkeit der individuellen Ausprägung von Gefährdungspotentialen). Darüber hinaus werden physikalische Krafteinwirkung in Entsprechung bestehender Bewertungskategorien berechnet und ausgewertet, wobei das zugrundeliegende physikalische Berechnungssystem weitaus komplexer und leistungsfähiger ist, als die Entsprechung in dieser Arbeit). Die Definition anderer sozialer Einflüsse, bspw. Sozialkapital betreffend oder sich auf S-LCA beziehend, ist nach bestehendem Kenntnisstand, allerdings nicht möglich. Zudem ist eine Verbindung mit Nachhaltigkeitsaspekten nicht Bestandteil oder erkennbar als Zweck beabsichtigt. Im Hinblick auf die relativ neue VDI Richtlinie 1449-4 (Abbildung des Menschen in der digitalen Fabrik) ist damit zu rechnen, dass gerade im Kontext von 3D-Modellen und der Vertiefung von Mensch-Maschine-Interaktionen, diese Aspekte in der Zukunft verstärkt aufgegriffen werden und Systeme, zumindest mit Fokus auf ergonomische Aspekte, weiterentwickelt werden.

Bzgl. aktueller Veröffentlichungen wird in der Folge thematisch getrennt, da wie beschrieben, der hier verfolgte Ansatz nur eingeschränkt Ähnlichkeiten zu anderen aufweist (speziell in der Kombination einer spezifischeren Betrachtung von sozialen Aspekten in der Produktion bei gleichzeitiger die Bestimmung der Nachhaltigkeit von Prozessen). Prinzipielle Überschneidungen gibt es in der Fachliteratur bei den Bereichen:

- simulationsgestützte Nachhaltigkeitsbewertungen von Produktionen³⁴⁴,

³⁴⁴ Die umfassendste Betrachtung, die dem hier verfolgten Ansatz am nächsten kommt, bezieht sich auf das SIMTER Projekt, einer finnisch, schwedischen Kooperation, die hauptsächlich auf die Bereiche der Automation von Prozessen, ergonomische Betrachtungen und Energie, bzw. Umwelt in der Produktion und ihre Eruiierung durch Simulationsverfahren fokussierte. Das Projekt wurde in den Jahren 2007 bis 2009 durchgeführt, der Abschlussbericht ist beschrieben durch [Lind, et al., 2009, S. 1 ff.], siehe auch [Lind, et al., 2008 a, S. 1025 ff.] und [Heilala, et al., 2008, S. 1922 ff.] für Zusammenfassungen, sowie [Lind, et al., 2008 b, S. 1968 ff.] für eine Fokussierung auf die ergonomische Betrachtung. Die hauptsächlichlichen Unterschiede zu dem hier verfolgten Ansatz sind, die in dieser Arbeit bestehende Integration in einem einzigem Simulationsmodell (im SIMTER-Projekt wurden diverse sog. „subtools“, bspw. für die ergonomische Betrachtung entwickelt und somit verschiedene Modelle erstellt), die Erweiterung sozialer Aspekte (im SIMTER-Projekt wurde nur auf Ergonomie in der sozialen Betrachtung eingegangen), sowie die verbesserte Betrachtung von ökologischen Aspekten im hier vorgestellten Ansatz, durch einerseits die verbesserte Datenlage und integrierte Nutzung von LCA (ecoinvent-Schnittstelle und LCA-Material-Browser) und andererseits die deutlichere Betrachtung der internen Stoffbuchungen durch die Verbindung zur MFA (wiederum integriert in der Software), konsekutiv auch die Wechselwirkung zwischen Stoffen und Menschen (im Kontext der Verbindung mit MFA, siehe auch

- simulationsgestützte Eruierung ergonomischer Kriterien in der Produktion, teilweise inklusive Gefährdungsbeurteilungen/-bewertungen³⁴⁵,

Müllers Dissertation [Müller, 2013, S. 73]). Zudem kann hier generell von einer verbesserten softwaretechnischen Grundlage ausgegangen werden, was in den folgenden Kapiteln weiter ausgeführt wird. Heilala beschreibt in den Jahren 2012 und 2014 zudem ein Projekt (EPES) in dem ein Tool-Rahmenwerk, entsprechend der Definition in Kapitel 3.2.2.2 vorgestellt wird. Dieses kombiniert wiederum Energie und Materialbetrachtungen (via LCA) und versucht so die Nachhaltigkeit von Produktionen zu eruieren, siehe [Heilala, et al., 2012, S. 353 f.], [Heilala, et al., 2014, S. 8]. Grundlage ist schließlich, dass verschiedene Werkzeuge im Rahmen von Nachhaltigkeitsbewertungen in der Produktion und besonders in Design-Phasen genutzt werden sollen. An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass aufgrund der noch immer bestehenden thematischen Offenheit des Nachhaltigkeitskonzeptes, seit dem Ende der 90er Jahre, in regelmäßigen Abständen immer wieder neue Projekte mit Hinweis auf Nachhaltigkeitsbewertungen in der Produktion lanciert werden, so beschreiben [Tapaninaho, et al., et al., 2014, S. 1 ff.] bspw. erst vor kurzem, die erste Phase eines Projektes zur Eruierung der Nutzung von Nachhaltigkeitsindikatoren in Produktionen (hauptsächlich für das Reporting). In dem Sinne stagniert die Entwicklung komplexerer Systeme im Bereich des Nachhaltigkeitsmanagements in der Produktion auch deshalb, da die Projektphasen der Abstraktion des Konzeptes sowie die Indikatorbildung (u.a.), oft redundant bearbeitet werden. Für einen umfassenden Überblick dazu ist rückwirkend auf Kapitel 3 zu verweisen. Darüber hinaus können aktuelle Ansätze gefunden werden in u.a. [Hatim, et al., 2015, S. 193 ff.] und [Hatim, 2015, S. 10] (Orientierung an [Kibira & McLean, 2008], die frühzeitig Metriken (auch ergonomische) und Ablaufpläne im Kontext von Simulation und Nachhaltigkeit vorstellen), [Barletta, et al., 2015, S. 633 ff.], [Dettmann, et al., 2013, S. 1926 ff.], [Mani, et al., 2013, S. 1129 ff.], [Garetti & Taisch, 2012, S. 83 ff.], [Zhou & Kuhl, 2011, S. 850 ff.], [Solding, et al., 2009, S. 111 ff.] (das Paper ist insofern relevant, da hier auch Case-Studies diskutiert werden), [Johansson, et al., 2009 a, S. 1095 ff.] und [Johansson, et al., 2009 b, S. 38 ff.]. Zudem referenzieren Vorderwinkel und Heiß Projekte mit Bezug zu einer „ganzheitlichen Simulation“ in der Produktion, siehe [Vorderwinkel & Heiß, 2011, S. 19]. Thiede bezieht sich in seiner (ersten) Nachhaltigkeitsbetrachtung hauptsächlich auf den Bereich Energie und stellt einen Überblick über Systeme vor, in dem u.a. auch Wohlgemuth, Heilala, und Solding referenziert werden [Thiede, 2012, S. 83 ff.]. Siehe auch den Überblick bzgl. Nachhaltigkeitssysteme in [Fakhimi, et al., 2013, S. 282 ff.]. Abschließend kann festgehalten werden, dass es eine Reihe von thematischen Überschneidungen gibt, die sich in vergleichbaren theoretischen Ansätzen widerspiegeln, gleichzeitig hat der verfolgte Ansatz verschiedene Alleinstellungsmerkmale.

³⁴⁵ Einleitend kann für den Bereich Ergonomie und die simulationsgestützte Analyse von Belastungen festgehalten werden, dass es, auch unter Beachtung aller westlichen Standards, noch eine Reihe von produktionsinternen Aufgaben an Menschen gibt, die deren biomechanische Systeme stark fordern und überfordern können. So notieren Grosse, et al. bspw. *“Order picking is considered as one of the most labor- and time intensive processes in internal logistics, as it involves a large amount of manual work. (...) manual order picking is still dominant in practice”* [Grosse, et al., 2015, S. 324]. In dem Sinne beziehen sich relevante Forschungsbeiträge hauptsächlich auf die Definition und Formalisierung von gefährdenden Tätigkeiten, die statistische Analyse von Zusammenhängen, das Anlegen von resultierenden Profilen und erst nach Definitionen und Datenerhebungen auf die simulationsgestützte Analyse von Belastungen. Ein Überblick über Entwicklungen („State of the Art“) kann u.a. in Babulak und Wang gefunden werden, diese notieren im Bezug zu einer präsentierten Studie bzgl. der Nutzung von DES: *„The Manufacturing sector was the main market for the discrete event simulation software.“* [Babulak & Wang, 2010, S. 4] und: *„There are many studies on human performance modelling”* [Babulak & Wang, 2010, S. 5]. Dies ist in Übereinstimmung mit den eher output-orientierten Ansätzen (s. bspw. [Yahaya, et al., 2011, S. 5932], die bereits Stress-level thematisieren). Relevant für diese Arbeit, ohne den gleichen softwaretechnischen Ansatz zu verfolgen, sind allerdings eher Ansätze wie u.a. von [Sobhani, et al., 2015, S. 708 ff.], die zwar auch Arbeiter-Leistung in der Produktion thematisieren, aber auch Krankheiten untersuchen. Zudem sind von Relevanz [Yazdani, et al., 2015, 111 ff.] bzgl. der Referenz und Einordnung hinsichtlich bestehender OHS-Systeme, sowie [Village, et al., 2015, S. 1 ff.] bzgl. der Integration von, sich auf Menschen beziehende, Faktoren in der Designphase von Produktionen und [Kolus, et al., 2014, S. 1 ff.] bzgl. des Zusammenspiels zwischen menschlichen Eigenschaften und der Qualität von Produkten (Rahmenwerkansatz). Schließlich wird in [Perez, et al., 2014, S. 298 ff.] DES genutzt um Arbeitsbelastungen in der Designphase von Produktionssystemen zu simulieren. Ebenso werden in [Falck, et al., 2009, S. 1 ff.] die Kosten und Risiken anhand von Ergonomie-Simulation in der Produktion quantifiziert. Autor Zülch beschreibt zudem die Implikationen der neuen VDI Richtlinie 1449, gerade in Bezug auf die digitale Fabrik und demnach ebenso auf menschliche Aspekte in Produktionssimulationsmodellen, s. [Zülch, 2013, S. 53 ff.], [Zülch, 2014, S. 35 ff.]. Generell haben die Arbeiten von Zülch, wie auch von Neumann hohe Relevanz für die Betrachtung von Humanfaktoren. Abschließend kann notiert werden, dass es viele Ansätze zur Modellierung sozialer Aspekte in der Produktion gibt, auch statistische Auswertungen sind keine Seltenheit, Verbindungen mit Produktionssimulation beziehen sich jedoch fast ausschließlich auf Ergonomie-Aspekte (siehe

- Verbindung von DES und (S-)LCA³⁴⁶,
- Nachhaltigkeits- und soziale Bewertung über klassische Systemgrenzen hinweg³⁴⁷.

Abschließend kann festgehalten werden, dass es im Kontext der Stärkung von Nachhaltigkeit in der Produktion die meisten thematischen und technischen Überschneidungen gibt, die sich hauptsächlich auf die Nutzung von DES und LCA beziehen. Diesbezüglich kommt in der Masse vergleichbarer Ansätze die Betrachtung sozialer Aspekte zu kurz. In dem Sinne sind die eindeutigsten Unterschiede zu dem hier vorgestellten Ansatz,

- die stärkere Beachtung der sozialen Seite der Nachhaltigkeit in der vorliegenden Arbeit (was sich sowohl auf den theoretischen als auch den Softwareansatz bezieht),
- generell die verbesserte softwaretechnische Grundlage (Ausführung dazu folgt),
- die Integration der Aspekte in einem einzigen Modell und
- das Einbeziehen weiterer Prinzipien der Nachhaltigkeit (zumindest) in die konzeptionelle Auswertung/Diskussion (Ganzheitlichkeitsprinzip, Langfristigkeitsprinzip).

Hinsichtlich produktionsbezogenen Ergonomie-Simulationen konnte keine Software gefunden werden, welche eine vergleichbare Modellierung von (sozialen) Einflüssen anbietet³⁴⁸.

Bzgl. der Nutzung von SLCA in Verbindung mit der Simulation wurde viel Literatur bzgl. des Supply-Chain-Management gefunden und zudem die Nutzung verschiedener Simulationsverfahren konstatiert (SD, ABS, DES), allerdings werden auch hier LCA-Betrachtungen eher auf Basis der Simulationsdaten erstellt und nicht integriert betrachtet. Zudem sind Softwaresysteme mit entsprechenden Schnittstellen noch eine Seltenheit und i.d.R. im Experimentierstadium. Ferner ist die Datenlage noch nicht als durchweg funktional zu betrachten.

auch Berlin's Hinweise [Berlin, et al., 2014, S. 325 ff.] oder wohldefinierte Schnittstellenbetrachtungen zu ökonomischen Leistungsoptimierungen (bspw. Müller, et al. im Bezug zu Personaleinsatzplanungen, s. [Müller, et al., 2013, S. 325 ff.]). Der hier verfolgte Ansatz geht in seiner Flexibilität über beide Aspekte hinaus, indem er weitere Betrachtungsmöglichkeiten anderer sozialer Einflüsse erlaubt. Zudem ist festzuhalten, dass die wechselwirkende Beeinflussung von sozialen Aspekten kaum in Softwareumsetzungen gefunden wurde, was auch expliziter Bestandteil der in der Folge konzipierten Lösung ist.

³⁴⁶ Im Kontext der Verschneidung von Simulationssystemen und LCA-Analysen sind hier vor allem die Beiträge von Andersson (Heirat, nun Larborn) und Johansson der Chalmers University of Technology zu nennen, welche entsprechende Kombinationen an diversen Beispielen (hauptsächlich in der Automobilindustrie vorstellen). Zusammenfassungen können bspw. in Andersson's Licentiate thesis [Andersson, 2014, S. 21 ff.] oder bzgl. nutzbarer Methoden zur Kombination von DES und LCA in [Andersson, 2012, S. 1761 ff.] gefunden werden. Diesbezüglich ist festzuhalten, dass sich der in dieser Arbeit vorgestellte Ansatz hinsichtlich der Integration von LCA-Daten durch den, in die Software integrierten, LCA-Browser auszeichnet. Dieser erlaubt die Kombination bestehender Produktionsmodelle mit LCA-Daten ohne zusätzliche externe Berechnungen oder nachgelagerte Auswertung von Ergebnissen und ermöglicht so die softwareinterne Berechnung, als Unterscheidungsmerkmal zu obigen Quellen. Bzgl. der Ausarbeitung der Applikation von SLCA muss auf Autor Jørgensen hingewiesen werden, der viel zur Theorie- und Indikatorentwicklung beigetragen hat, eine Zusammenfassung hinsichtlich der Nutzbarkeit des Konzeptes kann in seiner Dissertation nachgelesen werden (inklusive vier Veröffentlichungen zu der Thematik), siehe [Jørgensen, et al., 2010, S. 8 ff.].

³⁴⁷ Im Bezug zu unterschiedlichen Granularitätsstufen, bzw. der Nutzung von verschiedenen Simulationsmodellen und anschließenden Aggregation von Ergebnissen oder der Nutzung von Ergebnisdaten in chronologisch folgenden Modellen (der Prozessschritte im Lebenszyklus) siehe u.a. [Jain & Kibira, 2010, S. 3423 ff.], [Jain, et al., 2013, S. 1996 ff.] im Bezug zu unterschiedlicher Blickwinkel auch [Heilala, et al., 2007, S. 1853 ff.]. Diese Aspekte sind insofern relevant, da sie eine Alternative zu SLCA-Ansätzen darstellen.

³⁴⁸ Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass einige kommerzielle, spezifisch dafür entwickelte, Lösungen ausgereifter in den Ergonomie-Betrachtungen sind, als die hier prototypisch umgesetzte Softwarekomponente. Diese verbinden i.d.R. allerdings nicht alle verschiedenen Aspekte in nur einem Modell (bspw. menschliche Interaktion mit Stoffen, bzw. der stofflichen Perspektive der MFA).

5 Konzeption und Entwurf der neuen Softwareelemente für die Produktionssimulation

5.1 Vorarbeiten zur Simulationssoftware

5.1.1 Konzeptionelle Vorarbeiten

5.1.1.1 Vorbemerkung

Die konzeptionellen Vorarbeiten wurden in den theoretischen Kapiteln bereits umfangreich adressiert, daher soll an dieser Stelle nur in Kürze resümiert werden, welche besonderen Beiträge die in dieser Arbeit entstandene Lösung ermöglicht haben.

5.1.1.2 Verbindung von DES und MFA

Aufbauend auf den Vorarbeiten von Page bzgl. der Anwendung der Verfahrens der Modellbildung und Simulation zur Minimierung von Umweltbelastungen [vgl. Wohlgemuth, 2014, S. 41] geht die Verbindung der ereignisdiskreten Simulation mit der Stoffstromanalyse zu großen Teilen auf die Dissertationen von Möller (Stoffstromnetzansatz [Möller, 2000, S. 72 ff.]) und Wohlgemuth (Stoffstromsimulation [Wohlgemuth, 2005, 192 ff.]) zurück. Hierzu wurde eine Reihe von Modifikationen an der Theorie der klassischen Produktionssystemsimulation vorgenommen, so musste bspw., um die Stoffstromsichtweise anwenden zu können, an verschiedenen Punkten im Produktionssystem das Betrachten und Bewerten der Stoff- und Energieströme ermöglicht werden. Diese methodische Weiterentwicklung wurde im EMPORER Projekt auf ein überarbeitetes softwaretechnisches Fundament gestellt. Was eine Neuentwicklung des Simulationsprototypen in den folgenden Jahren und die Vertiefung der methodischen Neuheiten ermöglichte [Jahr, et al., 2009, S. 161 ff.].

5.1.1.3 Verbindung von DES, MFA und LCA

Im dem sich anschließenden EcoFactory Projekt wurde die erneuerte Simulationssoftware MILAN methodisch mit der Lebenszyklusanalyse verbunden, indem u.a. ein LCA-Browser, zur Auswahl von material- und energiespezifischen LCA-Datensets und die entsprechenden Funktionalitäten zur integrierten Nutzung von Lebenszyklusanalysen programmiert wurden, siehe [Widok, et al., 2012 (a), S. 264 ff.], [Reinhard, et al., 2013, S. 532 ff.].

5.1.1.4 Evaluierung der Integration sozialer Aspekte

Auf diesen thematischen Vorarbeiten aufbauend wurde in der Folge eruiert, inwiefern zusätzlich zur Integration der ökologischen Perspektive, welche durch die MFA- und LCA-Betrachtungen ermöglicht wurde, auch die soziale Seite der Nachhaltigkeit, in dem gleichen Modellierungs- und Simulationsansatz eingegliedert werden könnte. Dies mündete in Teilerfolgen im Rahmen dieser Arbeit, die sich u.a. auf die Definition der Nutzerinteraktion und Ablaufpläne bezogen (s. [Widok, et al., 2013, S. 514 ff.]), wie auch auf die technische Konzeption (s. [Widok & Wohlgemuth, 2014 (b), S. 75 ff.]) und die detaillierte Abgrenzung sozialer Kriterien und Überschneidungsanalyse zum bestehenden Simulationsansätzen (s. [Widok & Wohlgemuth, 2014 (c), S. 217 f.], [Widok & Wohlgemuth, 2015, S. 7 ff.]).

5.1.2 Softwaretechnische Vorarbeiten

5.1.2.1 Komponentenorientierter Ansatz als Ausgangsbasis

Historisch erfolgte die erste softwaretechnische Umsetzung des MILAN-Prototypen auf Basis von Desmo-D (einer Delphi-Version von Desmo-J <http://desmoj.sourceforge.net/>)³⁴⁹. Diese Realisierung war u.a. auf Basis der verwendeten Programmiersprache in den folgenden Jahren nicht mehr auf dem neuesten Stand, und zu den sich abzeichnenden Entwicklungen im Softwarebereich, im Einklang. Dies motivierte Neuentwicklungen ab dem Jahr 2006.

5.1.2.2 Erste Neuentwicklung in einer Plugin-Architektur für Windows-Systeme

Im Rahmen des EMPORER Projektes wurde zunächst ein Anwendungsrahmenwerk erstellt, welches als Plugin-Architektur für Windows-Systeme, hauptsächlich unter Nutzung der Programmiersprache C#, veröffentlicht wurde [vgl. Wohlgemuth et al., 2008, S. 584 ff.], [vgl. Schnackenbeck et al., 2008, S. 13 ff.], [vgl. Widok & Wohlgemuth, 2011, S. 182 ff.]. Die Motivation dahinter war eine vergleichbare Softwarearchitektur zu haben, wie es das Entwicklungs-Rahmenwerk Eclipse (<http://eclipse.org/>) bereits anbot, die für Microsoft-Systeme/Programmiersprachen allerdings noch fehlte. Auf diesem Anwendungsrahmenwerk wurde die Software MILAN erneuert. Bei EMPINIA (www.empinia.org) handelt es sich um ein komponentenbasiertes Applikationsrahmenwerk basierend auf Microsofts .NET-Technologie, mit dessen Hilfe die Erstellung komplexer Softwaresysteme unterstützt und vereinfacht werden sollte [vgl. Widok, et al., 2012 (c), S. 57]. Auf Basis dieser neuen Technologie wurden verschiedene Komponenten, die zur Produktionssimulation notwendig waren, in Form von EMPINIA-Erweiterungen neu implementiert [vgl. Panic, et al., 2008, S. 162 ff.]. Diese wurden kontinuierlich um Funktionalitäten ergänzt, sodass Komponenten entstanden, welche die Methodik der Simulation und der Stoffstromanalyse bedienen konnten, beispielsweise der ereignisorientierte Simulationskern, die Materialverwaltungs- und Buchungskomponenten, Produktionsentitäten, eine Auswertungskomponente und ein grafischer Modelleditor [vgl. Jahr et al., 2009, S. 57 ff.], [vgl. Widok, et al., 2012 (c), S. 58].

5.1.2.3 Zweite Neuentwicklung Windows Presentation Foundation, Data binding

In den folgenden Jahren machte die Softwareentwicklung weitere Fortschritte, sodass sich, aufgrund verbesserter Entwicklungsmöglichkeiten, abermals dazu entschlossen wurde die Simulationssoftware auf eine aktuellere technische Basis zu stellen. Gleichwohl konnten, aufgrund der komponentenorientierten Programmierung, die Simulationskomponenten größtenteils beibehalten werden, allerdings wurde der Unterbau, im Sinne des EMPINIA Rahmenwerks, sowie die Einbindungsstruktur durch WPF Derivate ersetzt. Diese Entscheidung fußte hauptsächlich auf den neuen Möglichkeiten durch u.a. WPF-eigene Features wie bspw. Databindung sowie integrierbare Frameworks wie Caliburn Micro (<http://caliburn-micro.com/>), welche die Entwicklung vereinfachten und zudem ansprechendere Visualisierungsmöglichkeiten eröffneten. Diese Entwicklungen werden in Kapitel 6 weiter vertieft.

³⁴⁹ Für die damalige „Verwendung von DELPHI sprach auch die Tatsache, dass mit DELPHI entwickelte Programme eine hohe Performanz besitzen und bereits das Simulationsrahmenwerk zur diskreten, ereignisorientierten Simulation DESMO-D in DELPHI existierte, welches zur Entwicklung einer komponentenorientierten Simulationsinfrastruktur verwendet werden konnte.“ [Wohlgemuth, 2005, S. 228 f.].

5.2 Methodische Konzeption

5.2.1 Einleitender Überblick über die Konzeption

5.2.1.1 Zusammenfassung der Ziele und Restriktionen

Abschnitt 5.2.1 leitet die elementaren Grundzüge der methodischen und teilweise auch der prototypischen Konzeption ein. In der Folge wird in Abschnitt 5.2 die methodische Konzeption hinsichtlich der Berechnung sozialer Kriterien erläutert und zu Abschnitt 5.3 übergeleitet, der sich gänzlich der softwaretechnischen Konzeption widmet.

Als Ziele wird grundsätzlich zusammengefasst, dass ein Konzept erstellt werden soll, welches die Modellierung und Simulation sozialer Kriterien anhand eines bestehenden Produktionsmodells erlaubt, wobei beide Modellierungsansätze in einem Modell integriert werden sollen. Dies schließt die Teilziele ein, formale Notationen für die sozialen Kriterien zu beschreiben, ihre Abbildung, Parametrisierung und Simulation im Produktionsmodell zu ermöglichen sowie eine Auswertung der resultierenden Ergebnisse anzubieten.

Aufgrund der Komplexität dieser Anforderungen kommt es zu einer Reihe von Restriktionen für den Prototypen und auch für die Konzeption, wobei diese nicht deckungsgleich sind. Eine Abgrenzung des Prototyps wird in Abschnitt 5.3.3 vorgenommen, die hauptsächlich Unterschiede zur Konzeption ergeben sich aus der Betrachtung von Interaktionseinflüssen, welche in der Konzeption detailliert beschrieben werden, im Prototypen aber nur teilweise implementiert und in der Fallbeispielen nicht getestet wurde.

Die Integration von S-LCA Daten ist bereits möglich, ihre Auswertung im Hinblick auf den sozialen Bereich bräuchte allerdings neue Komponenten. Da die zum Zeitpunkt der Arbeit existierende Datenlage (ecoinvent-Datenbank noch aus dem EcoFactory-Projekt) soziale Auswertungen nicht ermöglicht und die betriebsinternen Aspekte im Vordergrund der Betrachtung stehen, wird von der Entwicklung weiterer Auswertungskomponenten für S-LCA Daten zu diesem Zeitpunkt abgesehen.

Die Betrachtung der Nachhaltigkeit des Systems, hinsichtlich der drei Säulen, bezieht sich, abgesehen von der Modellierungsebene, hauptsächlich auf die Auswertungsseite. Dabei wird in der Konzeption ein Überblick der Möglichkeiten skizziert, die Überarbeitung der Auswertungskomponenten allerdings auf die Bereitstellung der Ergebnisdaten in nutzbarer Form beschränkt (aufbereitete Excel-Ausgabe). In Kapitel 7 werden die Ergebnisse auch visuell aufgearbeitet. Eine dieser Aufbereitung entsprechende Überarbeitung der Auswertungskomponenten, mit diversen visuellen Features, wie den dort genutzten ist prinzipiell jederzeit möglich, aber nicht der Fokus dieser Arbeit und wurde aufgrund der Anforderungen wichtigerer Komponenten zurückgestellt.

Externe Schnittstellen zu bspw. Belastungs-Datenloggern wie dem Messsystem CUELA (oder vergleichbaren, siehe [Ellegast, et al., 2010, S. 101 ff.]) oder Menschmodellen hinsichtlich der Human-Ressourcen-Variation (siehe Mühlstedts Dissertation [Mühlstedt, 2012, S. 102 ff.]) werden konzeptionell beschrieben, allerdings nicht implementiert.

5.2.1.2 Verständnisbildender Überblick zum Modellierungs-Ablauf

Zur Einordnung der Modellierung sozialer Aspekte visualisiert Abb. 39 die grundsätzlichen stark vereinfachten systeminternen und systemexternen Anwendungsfälle beim Ablauf einer Produktionssimulation in der Simulationssoftware. Dabei wurden die Aspekte der Datensammlung, und Aufbereitung und diverse Zwischenschritte ausgeblendet.

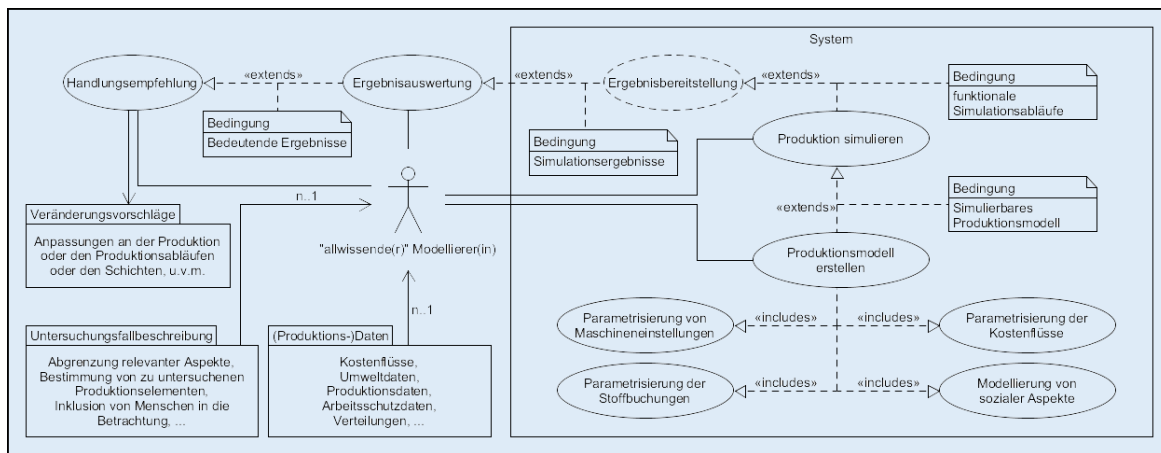


Abbildung 39: Stark abstrahierter Ablauf des Zusammenspiels zwischen Modellierung und Simulation

Was bereits zu erkennen ist, dass die Modellierung der sozialen Aspekte nur einer von vielen Teilbereichen der Erstellung des Simulationsmodells ist. Dies impliziert eine Reihe von Abhängigkeiten, einerseits zur Erstellung des gesamten Modells, allerdings auch zur spezifischen Erstellung sozialer Aspekte. Diesbezüglich wird die Modellierung und Simulation sozialer Kriterien im konzipierten und umgesetzten System anhand der Parametrisierung von sozialen Einflüssen und Menschen in Form von Human-Ressourcen vorgenommen. In der Konzeption wird sowohl die Modellierung und Berechnung von Tätigkeitseinflüssen als auch von Interaktionseinflüssen detailliert ausgeführt, die Praxisbeispiele in Kapitel 7 beziehen sich dann, aufgrund der vorliegenden Produktionsdaten und –kenntnisse, bzw. der ungenügenden sozialwissenschaftlichen Datengrundlage, nur auf Tätigkeitseinflüsse.

Um eine Einleitung zum Modellierungsablauf sozialer Aspekte zu geben, impliziert diese u.a. die Definition und Parametrisierung sozialer Einflüsse. Ein sozialer Einfluss kann per se entweder ein Tätigkeitseinfluss und/oder ein Interaktionseinfluss sein. Beide Arten von Einflüssen werden mit einer Einflussrate pro Zeit definiert sowie mit einer Erholungsrate und Grenz bzw. Schwellwerten, ausführliche Erläuterungen dazu folgen.

Zudem können Typen von Ressourcen definiert werden, was bspw. die Definition männlicher und weiblicher Techniker(innen) implizieren, aber auch grundsätzlichere Unterscheidungen zwischen Human-Ressourcen, Werkzeugen und Hilfsstoffen bedeuten kann. Zur Bezugbildung von sozialen Einflüssen zu Menschen braucht es konsekutiv Human-Ressourcen, welche an unterschiedlichen Einstellungen mit Einflüssen verbunden werden.

Um den zusätzlichen Bezug zwischen sozialem Einfluss und Produktionssystemverhalten herzustellen, müssen Tätigkeiten, die von Menschen verübt werden als Voraussetzung für Prozesse definiert werden. Dementsprechend werden Human-Ressourcen Arbeitsstationen

zugewiesen, welche ohne die Verfügbarkeit der Ressourcen nicht funktionieren. An dieser Stelle können nun Tätigkeitseinflüsse zugewiesen werden, sodass es bei der Verbindung einer Humanressource zu einer Arbeitsstation und dem Betrieb dieser zur Akkumulation eines beschriebenen und zugewiesenen Einflusses kommt.

Bei der Freigabe der Humanressource (die Arbeitsstation braucht die Ressource nicht mehr, da der Arbeitsprozess erledigt ist) kommt es, in Entsprechung der Modellierung, sofort oder verzögert zu der Anwendung der Erholungsrate auf den Einflusswert.

Diesbezüglich können verschiedene Ressourcenpools definiert werden. An denen einerseits sowohl verschiedene Erholungsraten definiert werden können, als auch der Bezug zu Interaktionseinflüssen hergestellt werden kann.

Ein Interaktionseinfluss braucht, anders als ein Tätigkeitseinfluss, den Bezug zwischen zwei Humanressourcen oder den Bezug zwischen einer Humanressource und einem Ressourcenpool. Das bedeutet, dass nach der Einflussdefinition der Einfluss nicht einer Arbeitsstation zugewiesen wird, sondern bereits bei der Erstellung des Einflusses ein Sender und ein Adressat festgelegt werden. Beide können jeweils entweder eine Humanressource oder ein Ressourcenpool sein. In dem Sinne können auch organisatorische Einflüsse und auf Sozialkapital bezugnehmende Einflüsse definiert und simuliert werden. Eine Detaillierung des Modellierungsablaufes schließt sich der Berechnungsmethodik an.

5.2.1.3 Grundsätzlicher Berechnungsablauf

Wie in der Einführung erläutert wurde, ist ein Ziel der Simulation sozialer Aspekte die Gefährdungsvermeidung. Diesbezüglich soll es möglich sein, Einflusswerte mit Grenzwerten vergleichen zu können und bei einer Überschreitung auch Konsequenzen für den gewöhnlichen Produktionssystemablauf ableiten zu können (bzw. softwaretechnisch entsprechende Ereignisse zu implementieren). Diesbezüglich braucht es einen dynamischen Wert, welcher vereinfacht die Belastung eines Individuums darstellt. Dieser Wert wird als Risikowert eines Einflusses beschrieben, welcher sich (in einfachster Form) aus dem Produkt der Einflussstärke mit einem Zeitkoeffizienten ergibt. Zusätzlich werden entweder Initialwerte und/oder Ausgangswerte früherer Abläufe mit dem Risikowert summiert.

Dieses grundsätzliche Verständnis des Abgleichs eines Belastungswertes mit einem oder mehreren Grenz- und Schwellwerten ist die Ausgangsbasis zur Ergänzung der Berechnungsmethodologie durch weitere Faktoren. So können sowohl die Einfluss-Steigerungsrate als auch die Erholungsraten durch Eigenschaften von Humanressourcen beeinflusst werden. Zudem können, entsprechend der Ausführungen der letzten Kapitel, soziale Einflüsse miteinander korrelieren, sodass die Raten gewichteten Kombinationen und/oder Produkten unterliegen können.

Um dies grundsätzlich zu erläutern und die resultierenden (Kombinations-)Möglichkeiten formal zu beschreiben, wird in der Folge zuerst die Berechnung der Einflussstärke im Detail betrachtet. Anhand dieser Betrachtung ergeben sich zudem weitere Anforderungen an die Modellierung und Berechnungsroutinen, welche folgend bezugnehmend erklärt werden können.

5.2.2 Berechnung sozialer Einflüsse

5.2.2.1 Überblick über die Quantifizierung von sozialen Einflüssen

Aufbauend auf den Ausführungen aus Abschnitt 4.3.2.3 werden in der Folge zuerst prinzipielle Fragen der formalen Beschreibung von Einflüssen erläutert und im Anschluss ein konkretes Beispiel durchgerechnet, um die konzipierte Methodik exemplarisch zu erklären. Dabei beziehen sich die berechneten Beispiele bereits auf physische Einflüsse. Interaktionseinflüsse wie organisatorisch und psychologisch wirkende Einflüsse werden zwar methodisch betrachtet, jedoch wegen der Datenlage in diesem Kapitel nicht berechnet.

Die folgenden Abbildungen und formalen Betrachtungen sind teilweise aufeinander aufbauend und sollen die schrittweise Zunahme von Komplexitätsstufen bei der Einflussberechnung verdeutlichen. Der erwähnte grundsätzliche Abgleich zwischen Schwellwerten und Einflusswerten wird dabei anhand eines sog. Risikowertes der Einflüsse vorgenommen. Dabei wird ein Einfluss in der Folge mit der Variable x beschrieben, wobei die Schreibweise $x(y)$ impliziert, dass sich der Einfluss x auf einen Menschen bezieht, der durch die Variable y gekennzeichnet wird. Da eine Schreibweise $R(x(y))$ zur Beschreibung eines Risikowertes des Einflusses x der sich auf Mensch y auswirkt, umständlich zu gebrauchen ist, wird in der Beschreibung von Variablen mit Bezug zum Einfluss x auf die Konnotation des Menschen verzichtet, bspw. $R(x)$ als Beschreibung des obig genannten Risikowertes.

Zusätzlich bezieht sich die Variable x grundsätzlich auf die Einflussstärke des Einflusses, allerdings sind Ausgangswerte zur Berechnung des Risikowertes (also des relevanten Wertes) in die Berechnung mit einzubeziehen, daher wird zum einfacheren Verständnis die Einflussstärke auch mit $ES(x)$ gekennzeichnet. In der Folge wird simplifiziert auch von der abstrahierten Einflussstärke $AE(x)$ gesprochen, beide sind vergleichbar aber nicht identisch. Die abstrahierte Einflussstärke wird genutzt, um anhand der Tabellen der BAuA Risikowerte zu errechnen. Diese ergeben sich aus der Multiplikation der abstrahierten Einflussstärke mit einem Zeitkoeffizienten, siehe Formel 11:

$$AR(x) = AE(x) * Zk(x)$$

Formel 11: Abstrahierter Risikowert $AR(x)$ als Produkt von $AE(x)$ und des Zeitkoeffizienten $ZK(x)$

Die Einflussstärke $ES(x)$ wird u.a. zur Berechnung der Einflusssteigerungsrate genutzt:

$$Esr(x) = Es(x) / t$$

Formel 12: Vereinfachte Einflusssteigerungsrate $Esr(x)$ als Resultat der Einflussstärke $ES(x)$ pro Zeit t

Der angesprochene Risikowert würde sich, in Analogie zum abstrahierten Risikowert $AE(x)$ aus Formel 11, durch die Multiplikation der Einflussstärke mit der Zeit berechnen lassen, allerdings kommt es bei der simulationsinternen Berechnung des Risikowertes zu einem Zeitpunkt $t = I$ zu einer komplexeren Berechnung, die sich sowohl auf Einflusssteigerungsrate, Erholungsrate und einen Initialwert beziehen kann. Zudem kann es zu Kombinationen von Steigerungsraten mit Einflusswerten, als auch Eigenschaften kommen, daher werden diese Kombinationsmöglichkeiten folgend eruiert.

Abbildung 40 visualisiert hierfür erste grundsätzliche Kombinationen von Einflüssen, welche jeweils immer nur auf einen Menschen wirken:

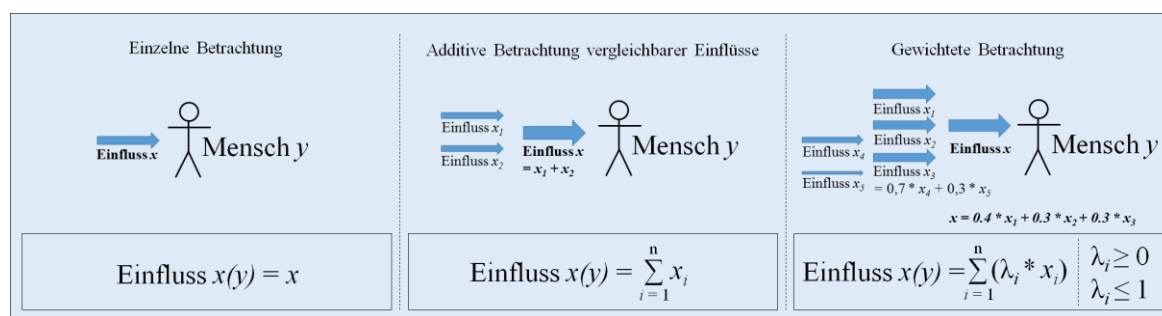


Abbildung 40: Einfache Berechnung von Einflüssen, die auf einen Menschen wirken

Dabei wird vorausgesetzt, dass die Einflüsse in der mittleren und rechten Darstellung miteinander vergleichbar sind und wechselwirken können, bspw. könnte es zu vergleichbaren Hebevorgängen an zwei verschiedenen Maschinen kommen, die entweder identisch oder so ähnlich sind, dass sie miteinander kombiniert werden können. Das konzipierte System soll sowohl die Kombination aus Einflüssen, als auch die entsprechende Modellierung erlauben.

Die obigen Abbildungen sollen einleitend verdeutlichen, dass einzelne Einflüsse entsprechend der mittleren Darstellung aus verschiedenen, gleichartigen Einflüssen zusammengesetzt und/oder entsprechend der rechten Darstellung gewichtet zusammengesetzt werden können. Die mittlere Rechenart entspricht dabei der simplen Addierung von Einflusswerten und der entsprechenden Zunahme der Einflussstärke $ES(x)$ für den zusammengesetzten Einfluss x . Die rechte Berechnungsart entspricht einer gewichteten Addition.

Die Grundlage dafür, dass die Gewichtung, repräsentiert durch Lambda (λ) jeweils mit einer Restriktion von unter oder gleich 1 und über oder gleich 0 versehen wurde, entspricht dem Prinzip einer prozentualen Gewichtung. Es ist anzumerken, dass in Betracht gezogen wurde, die 0 und 1 Werte auszuschließen, da bspw. der 0 Wert die Definition eines weiteren Einflusses (der keinen Wert ergibt) überflüssig, bzw. redundant machen würde, allerdings spielt der Zeitfaktor hierbei eine Rolle und ein Einfluss kann über einen Zeitraum 0 sein und sich später wieder auswirken, daher wurde die Restriktion nicht aufgehoben.

Andere Kombinationsarten, welche über die beschriebenen (prozentualen) Restriktionen hinausgehen, sind theoretisch ebenso möglich und entsprechen in diesem Fall einfach nicht dem Prinzip der einfachen prozentualen Zusammensetzung von Einflüssen, d.h., sie werden erst später betrachtet.

Die Zeitkomponente wurde bzgl. des einfacheren Verständnisses in den obigen und folgenden Darstellungen abstrahiert und wird erst später wieder hinzugenommen, grundsätzlich ist allerdings davon auszugehen, dass Kombinationsmöglichkeiten von Einflüssen prinzipiell zeitbezogen wirken, während bezugnehmende Variablen (wie bspw. Eigenschaften) auch zeitunabhängig wirken können.

Darüber hinaus ist festzuhalten, dass sowohl Tätigkeitseinflüsse, als auch Interaktionseinflüsse auf mehrere Menschen wirken können. In Bezug auf die zusätzliche Möglichkeit von

Interaktionseinflüssen auch auf Ressourcenpools zu wirken, gibt es allerdings Unterschiede bzgl. der formalen Betrachtung. Abbildung 41 verdeutlicht dies:

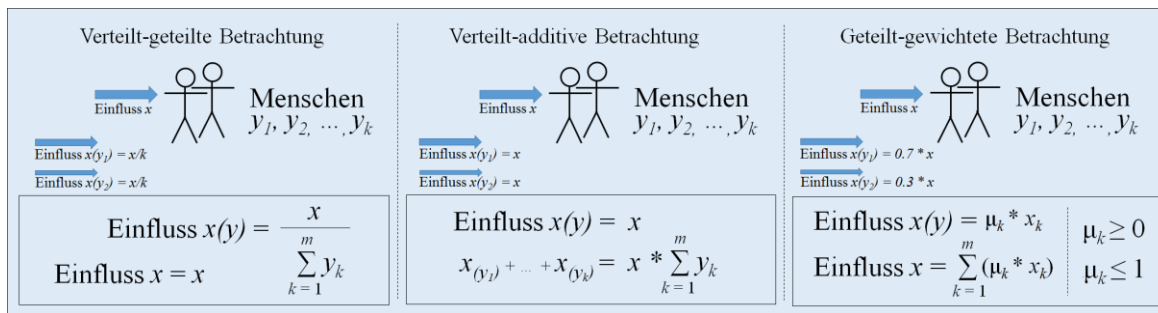


Abbildung 41: Einfache Berechnung von Einflüssen, die auf mehrere Menschen wirken

Hinsichtlich Abb. 41 ist zusätzlich zu bedenken, dass eine Tätigkeit grundsätzlich von mehreren Menschen durchgeführt oder Arbeitsstationen von mehreren Menschen bedient werden können. Dies impliziert, dass Einflüsse welche dieser Tätigkeit zugewiesen werden sich entsprechend obiger formaler Beschreibungen aufgliedern können.

Dabei repräsentiert die linke Darstellung die Möglichkeit der Gleichverteilung des Einflusses auf Humanressourcen. Dies kann von besonderer Relevanz sein, wenn Ressourcen nicht zeitgleich an einer Station arbeiten müssen und es somit zu unterschiedlichen Einflussauswirkungen kommt (mal verteilt, mal nicht, je nachdem wie viele Ressourcen gerade am Prozess beteiligt sind).

Die Darstellung auf der rechten Seite beschreibt dieses Szenario noch ein wenig genauer, da eine Belastung nicht zwingend immer genau gleichverteilt ist. Um das einfache Beispiel eines Hebevorgangs aufzugreifen, ist dieser zwar beinahe gleichverteilt, allerdings kann es zu gewichteten Verteilungen kommen, was entsprechend prozentual in der rechten Darstellungsform abgebildet wird und in der Realität dadurch manifestiert wird, dass einer der beteiligten Menschen ein wenig mehr hebt als der andere.

Die mittlere Darstellungsform entspricht der Auswirkung eines Einflusses in gleicher Stärke auf alle verbundenen Humanressourcen. Dies ist der Regelfall sowohl für die Betrachtung von Tätigkeitseinflüssen, als auch für die Betrachtung von Interaktionseinflüssen, die auf Ressourcenpools wirken. Letztere deuten an, dass bspw. eine Maßnahme der Geschäftsleitung, sich in gleicher Form auf alle Mitglieder einer Gruppe auswirken kann, bspw. kann es zu einer Lohnkürzung für eine Berufsgruppe kommen, die alle Mitglieder in gleicher Form betrifft.

In Bezug zu Tätigkeitseinflüssen bedeutet dies, dass für beteiligte Arbeiter an einer Arbeitsstation auf alle die gleichen Kräfte des entsprechenden Einflusses wirken. Maschinen können bspw. zwei Menschen erfordern, die die gleiche Arbeitsaufgabe erledigen, damit die Maschine reibungslos funktioniert, bzw. der Produktionsfluss ungestört bleibt.

Zusätzlich zu diesen Betrachtungen ergibt sich die Kombination aus der Gewichtung von Einflüssen (rechte Darstellung Abb. 40) und der Betrachtung mehrerer Menschen sowie einer prozentualen Aufteilung auf diese (rechte Darstellung in Abb. 41). Die Verbindung

beider Möglichkeiten der Einflusskombination ist zu sehen in Abb. 42, dargestellt auf der linken Seite:

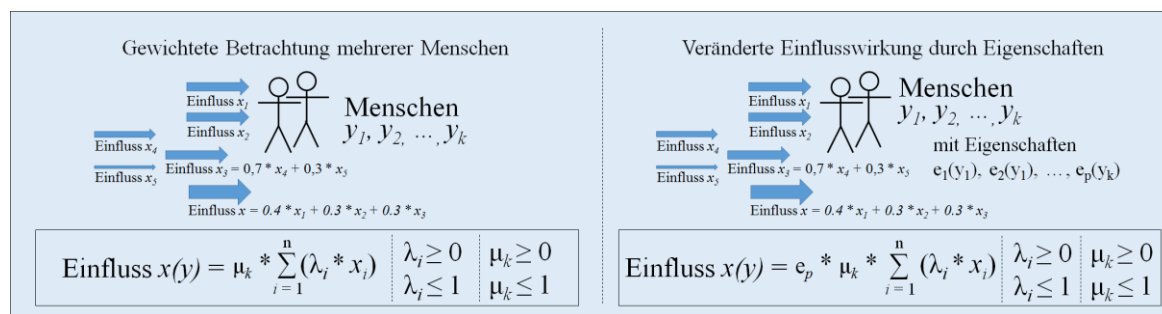


Abbildung 42: Gewichtete Betrachtung mehrerer Menschen und Auswirkungen von Eigenschaften

Zusätzlich zu dieser Kombination kann es zu Einwirkungen von Eigenschaften von Menschen/Humanressourcen auf die Einflusswerte kommen. Das einfachste Beispiel dafür ist die „Typ“-Unterscheidung nach Mann und Frau, welche bei Hebevorgängen, aufgrund der unterschiedlichen physiologischen Grundvoraussetzungen, zu stark unterschiedlichen Risikowerten führen kann. Dabei ist grundsätzlich festzuhalten, dass die Einwirkungen von Eigenschaften sowohl auf die Risikowert-Entwicklung als auch auf die Grenzwerte wirken könnten. In den abstrahierten Risikobeurteilungen der BAuA wird der abstrahierte Risikowert für Männer und Frauen unterschiedlich berechnet, wobei der Grenzwert generell einer individuellen Streuung unterliegt (es gibt klare Richtwerte, mit Hinweis auf individuell unterschiedlichen Reaktionen auf Belastungswerte, siehe Abb. 38). Dies in Betracht ziehend, wurde sich dazu entschlossen sowohl die Entwicklung der Einflusssteigerungsraten, als auch die Grenzwerte mit Eigenschaften von Menschen logisch zu verbinden³⁵⁰.

Um weitere Aspekte kontemporärer ergonomischer Ansätze zu referenzieren, sind in sog. Ergonomie-Datenbanken heutzutage weitere Parameter nutzbar, die die Berechnung der Belastungs-/Beanspruchungsstärke um ein Vielfaches genauer, allerdings auch komplizierter, machen. Mühlstedt weist in seiner Dissertation bspw. auf die in Tab. 8 aufgeführten zusätzlichen Parameter hin. Eine Kombination mit entsprechenden Modellen zur Einflussberechnung ist prinzipiell möglich, wurde aber aufgrund der stark erhöhten Datenanforderungen, der zusätzlichen Komplexitätsgrade der Anpassungen der Software und dem anderen Fokus

Parameter	Parametervariation	Größe(n)
physiologische Funktionseinheit	Ellenbogen - Schulter - Rumpf - Hüfte - Knie - Hand - Kopf	f Freiheitsgrad
Bewegungsdauer	statisch - sehr langsam - langsam - normal - schnell - sehr schnell - maximal	$\omega(t)$ Durchschnittswinkelgeschwindigkeit - σ_{\min} σ_{\max} Minimal-/Maximalwinkel
Moment	kein - sehr klein - klein - mittel - groß - sehr groß - maximal	M_{stat} statischer Momentanteil
Körperhaltung	sitzend - stehend	
Bewegungsrichtung	Richtung A - Richtung B (entgegengesetzt A)	$\pm\omega$ Richtung der Winkelgeschwindigkeit
Momentrichtung	Flexionsrichtung - Extensionsrichtung	$\pm M_{\text{stat}}$ Richtung des statischen Momentanteils
Bewegungsebene	Vertikal - horizontal - 45 Grad	
Momentverlauf	konstant - linear ändernd - Sägezahn	$M(t)$ Momentverlauf

Tabelle 8: Parameter aus Ergonomie-Datenbanken zur Berechnung [vgl. Mühlstedt, 2012, S. 113]

³⁵⁰ Siehe diesbezüglich auch Hinweise bzgl. der strukturellen und operationellen Komplexität von Mensch-Maschine-Interaktionen, bspw. in Al-Zuheri [Al-Zuheri, 2013, S. 1822 ff.], dessen Ausführungen, bzw. die literarischen Hinweise einer Verfeinerung von Tabelle 6 (S. 131) im Produktionsbereich nahe kommen.

des in dieser Arbeit verfolgten Ansatzes (allgemeingültige Einflussbeschreibung, nachhaltige Produktionssystemsimulation, etc.) nicht angestrebt. Anstelle dessen wurde sich an der Leitmerkmalmethode der BAuA orientiert. Mühlstedt weist in seiner Arbeit auch auf diesen Weg hin, was in Abb. 43 an dem unteren Berechnungsstrang dargestellt wird. Dabei stehen die in der Grafik verwendeten Abkürzungen EA für die elektrische Aktivität, EA_{eff} für den Effektivwert, AB für die Arbeitsbeanspruchung und bAB für die Beurteilung der AB.

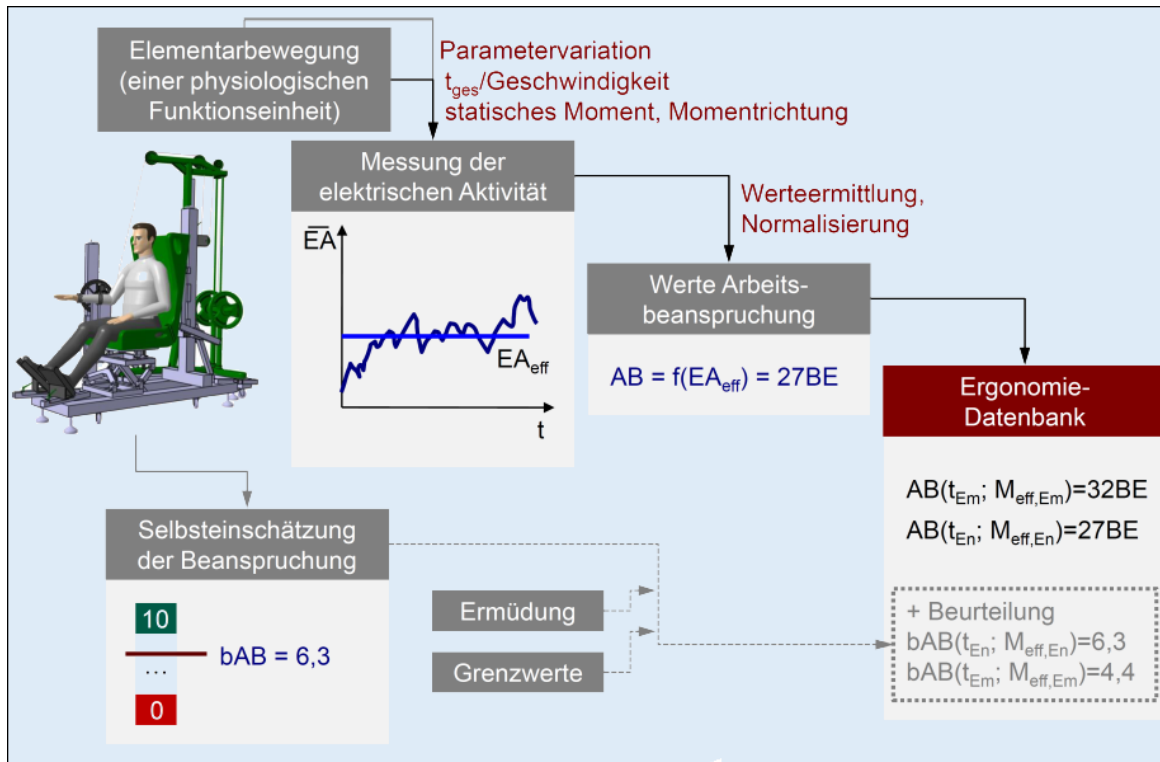


Abbildung 43: Algorithmus der Entstehung des Bewertungsmodells der Ergonomie-Datenbank in einer Laborstudie [Mühlstedt, 2012, S. 118]

An diesem Beispiel kann erkannt werden, dass es bzgl. der Überprüfung von Belastungs- und Ermüdungszuständen von physiologischen Funktionseinheiten (ausführenden verallgemeinerten Körperteilen) mittlerweile Wege gibt, auch durch Messungen entsprechende Szenarien zu überprüfen, diese allerdings noch aufwendig sind. Begünstigt durch die neue VDI-Richtlinie 1449-4 (Abbildung des Menschen in der digitalen Fabrik) werden sich ähnlich Verfahren voraussichtlich noch vermehren. Allerdings braucht es in der Regel, wie im obigen Fall entweder Laborstudien oder Datenlogger, wie bspw. das CUELA-Messsystem. Zudem ist die individuelle Einschätzung der Belastung in beiden Fällen notwendig, da die Grenzwerte, als auch die empfundene Belastung einer individuellen Streuung unterliegt. Um dies wiederum am Beispiel der Hebevorgänge zu erläutern, kann in Abb. 38 eine (Extrem-)Streuung der Anpassbarkeit an einen Risikowert von ca. 18 bis 54 abgelesen werden, was einer individuellen Ausprägung der „Belastungsresistenz“ von bis zu 300% entsprechen würde. Aufgrund dieser Spannweite braucht es auch bei der Nutzung von Ergonomie-Datenbanken den Abgleich mit dem ausführenden Personal (es sei denn, die Belastungswerte bleiben kontinuierlich unter dem niedrigsten Schwellwert, wobei dies in der Produktion unwahrscheinlich ist). Um den eigenen Berechnungsansatz weiter auszuführen, wird in der Folge ein Beispiel anhand der Leitmerkmalmethode als Ausgangsbasis durchgerechnet.

5.2.2.2 Beispielrechnung von Risikowerten und Aggregation von Abweichungen

Um anhand eines besseren Verständnisses des Abgleichs zwischen Risikowert und Schwellwerten sich der Einflussteilungsrate anzunähern, ist in Abb. 44 ein Szenario durchgerechnet und anhand der Leitmerkmalmethode der BAuA bewertet worden. Das Szenario entspricht der Belastung eines Menschen durch 50 wiederholende Hebevorgänge mit kleiner Last (10 Kg) an einem Arbeitstag und leichter ergonomischer Einschränkung:

Berechnungsbeispiel (Leitmerkmalmethode) Einfluss Hebelast x_l

Die folgenden Beispielwerte ergeben sich durch die Adaptierung eines Belastungsszenarios anhand der Berechnungstabellen der Bundesagentur für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin und Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik, siehe [BAuA 2001, S. 3 ff.]. Die Tabellen sind teilweise Ausschnitte der relevanten Aspekte.

Zeitgewichtung:
 Anzahl der Hebevorgänge am Arbeitstag = 50
 $Z(x_l)$ = Zeitwichtungs-Koeffizient (x_l) = 4

Hebe- oder Umsetzvorgänge (<5 s)	
Anzahl am Arbeitstag	Zeitwichtung
< 10	1
10 bis < 40	2
40 bis < 200	4
200 bis < 500	6

Lastgewichtung:
 Gewicht der Materialien beim Hebevorgang = 10 kg
 $L(x_l)$ = Lastwichtungs-Koeffizient (x_l) = 2

Wirksame Last (für Männer)	Lastwichtung
< 10 kg	1
10 bis < 20 kg	2
20 bis < 30 kg	4
30 bis < 40 kg	7
≥ 40 kg	25

Haltungsgewichtung:
 Notwendigkeit der tiefen Beugung und gleichzeitigem Verdrehen des Oberkörpers
 $H(x_l)$ = Haltungswichtungs-Koeffizient (x_l) = 4

Körperhaltung und Position der Last	Haltungswichtung
Oberkörper aufrecht, (...)	1
Geringes Vorneigen, (...)	2
Tiefes Beugen, (...)	4
Weites Vorneigen, (...)	8

Ausführbedingungsgewichtung:
 Einfache Einschränkung der Bewegungsfreiheit durch ungünstige ergonomische Bedingungen
 $A(x_l)$ = Ausführbedingungs-Koeffizient (x_l) = 1

Ausführbedingungen	Ausf.-wichtung
Gute ergonomische Bedingungen, (...)	0
Einschränkungen, (...)	1
Starke Einschränkungen, (...)	2

Abstrahierte Einflusstärke:
 $AE(x_l) = L(x_l) + H(x_l) + A(x_l)$
 $= 2 + 4 + 1 = 7$

Abstrahierter Risikowert/Arbeitstag:
 $AR(x_l) = L(x_l) + H(x_l) + A(x_l) * Z(x_l)$
 $= AE(x_l) * Z(x_l)$
 $= 7 * 4 = 28$

Abbildung 44: Berechnungsbeispiel eines Hebelast-Einflusses anhand der Leitmerkmalmethode

Der resultierende Abstrahierte Risikowert $AR(x)$ kann folgend mit den Schwellwerten für den Einfluss x (in diesem Fall Hebelast) in Bezug gesetzt werden. Entsprechend ergeben sich prozentuale Abweichungen zwischen abstrahiertem Risikowert und Schwellwerten, welche in Abb. 45 auf der rechten Seite zu sehen sind:

Schwellwerte (für einen Arbeitstag):	Abweichungsrate zu Schwellwerten:
$SW_1(x_l) = 10$ $SW_2(x_l) = 25$ <i>siehe Abb. 38</i> $SW_3(x_l) = 50$	$AW_{SW_k} = \frac{AR(x_l) * 100}{SW_k(x_l)} - 100$
	$AW_{SW_1} = 180\%$ $AW_{SW_2} = 12\%$ $AW_{SW_3} = -44\%$

Abbildung 45: Prozentuale Abweichungen zwischen abstrahiertem Risikowert und Schwellwerten

Abgesehen von dem grundsätzlichen Vorgehen des Abgleiches zwischen Risikowert und Schwellwerten kann an den Berechnungstabellen der BAuA und der Beispielrechnung aus Abb. 44 einerseits der Zeitbezug der Schwellwerte festgemacht werden und andererseits das Aggregationsprinzip für verschiedene soziale Einflüsse eingeleitet werden. Der Zeitbezug kann genutzt werden, um anhand der Schwellwerte Auswirkungen für die Simulation bei Übertretungen der Risikowerte über einen Zeitraum zu definieren. Zudem können anhand des Schwellwertes Steigerungsraten und Erholungsraten extrapoliert werden, was im folgenden Abschnitt erläutert wird.

Das relative Aggregationsprinzip, welches bereits in Abschnitt 4.3.2.3 erwähnt wurde, bezieht sich auf die Vergleichbarkeit der prozentualen Abweichungen von Einflusswerten und normativen Werten (in diesem Fall Einhaltung von Grenzwerten als normative Werte). Wie aus den verschiedenen Datentabellen der BAuA zur Risikowertbestimmung von unterschiedlichen physischen Einflüssen hervorgeht, existiert zwar eine starke individuelle Streuung, allerdings gibt es auch klare Anleitungen wie diese zu behandeln sind (bspw. wie in Abb. 43 dargestellt, durch die Selbsteinschätzung, d.h., die Erfragung bei den ausführenden Menschen). In dem Sinne können zusätzlich zu grundsätzlichen und arbeitsrechtlich verantworteten physikalischen Grenzwerten (bspw. bei Lärm und Stoffbelastungen) auch tätigkeitsbezogene Arbeiten mit (individuellen) Grenzwerten bedacht werden. Zudem ist die generelle Orientierung an Durchschnittswerten als Abstraktion möglich (die in der Praxis natürlich überprüft werden müsste, zur folgenden Erklärung allerdings ausreichend sein sollte).

Resümierend sind die Einflusskombinationen aus den Abbildungen 40-42 als die Kombinationen von vergleichbaren Einflüssen zu verstehen (bspw. zwei Hebevorgänge mit gleichem Gewicht, die entsprechend Abb. 44 addiert werden können, wenn die Belastungen am gleichen Arbeitstag anfallen). Für nicht gleiche Einflüsse wird zur Bestimmung eines aggregierten sozialen Einflusswertes die Summierung der Abweichungsraten zwischen Risikowert und Schwellwert durchgeführt, mit dem Zusatz, dass der Schwellwert eine vergleichbare Einteilung des Wertebereichs des Risikowertes vornehmen muss. Dies schließt sowohl unterschiedliche Vorzeichen aus, d.h., Unterschreitungen von Schwellwerten und ihre entsprechenden Abweichungen werden ignoriert und die qualitative Bedeutung des Schwellwertes muss die gleiche sein (bspw. Gefährdungsgrenze, Überbelastungsgrenze, negative Einwirkung, etc.). Daraus ergibt sich Formel 13:

$\text{Soziale (Schad-)Wirkung } (y) = \sum_{i=1}^n AW_i$		
$\text{für } AW(x) = \frac{R(x) * 100}{SW(x)} - 100$	$\text{und } R(x) \geq SW(x)$	AW = Abweichung in % über 0 $R(x)$ = Risikowert des Einflusses x $SW(x)$ = Schwellwert des Einflusses x

Formel 13: Aggregierte Soziale (Schad-)Wirkung von Einflüssen

Es ist festzuhalten, dass es natürlich auch positive Einflüsse gibt (gerade bei Interaktionseinflüssen), welche bspw. auf Motivation und zusätzlich auf Leistung wirken. Auch wenn es möglich ist, dass diese sogar auf empfundene Belastungsgrenzen wirken, so werden sie bzgl. der physischen Belastung an dieser Stelle nicht berücksichtigt, um die Ergebnisse nicht auf Basis ungenauer Korrelationskenntnisse zu verfälschen.

5.2.2.3 Belastungsanstieg und Erholungsrate

Für die anwendungsfallspezifische Parametrisierung der Modelle ist die Beihilfe von Arbeitsmedizinern bzw. Fachkräften des Arbeitsschutzes grundsätzlich erforderlich, beispielhaft soll an dieser Stelle allerdings auf aufkommende Fragen bei der systemischen Verknüpfung mit Einflusstesigerungsraten und Erholungsraten eingegangen werden. Dafür wird in der Folge der Schwellwert von 25 als Grenzwert ohne individuelle Streuung für einen Einfluss definiert (zur Vereinfachung der Ausführungen). Zudem wird die Belastungsrate und Erholungsrate vereinfacht linear angenommen und die Belastungsrate (anders als es in der Simulation geschieht) konsequent auf die Arbeitszeit angewandt.

Wenn man davon ausgehen würde, dass ein möglicher Grenzwert von 25 gleichzeitig implizieren müsste, dass eine Steigung des Risikowertes bis 25 wiederholend möglich ist und durch entsprechende Erholung (täglich) ausgeglichen werden kann, ergäben sich folgende Kurven für 5 unterschiedlich starke Einflüsse und eine Fünf-Tage-Woche:

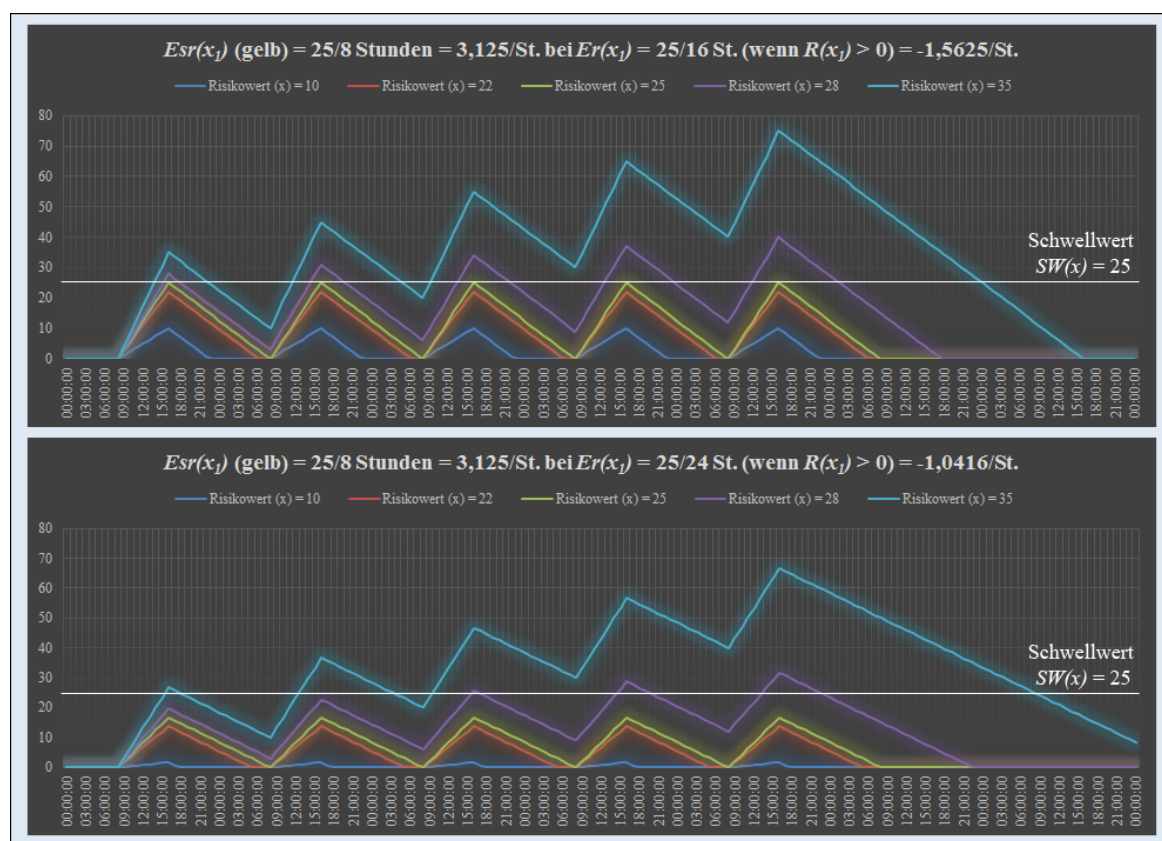


Abbildung 46: Einflusstesigerungsraten und Belastungsraten bei täglichem Ausgleich

Dabei ist in beiden Visualisierungen die gleiche Belastungsrate für die verschiedenen Einflüsse angesetzt (d.h. die Linie von $R(x) = 10$ hat die gleiche Belastungsrate $Esr(x)$ in beiden Grafiken, was nicht heißt, dass $Esr(x_1)$ mit $Esr(x_2)$ identisch ist), allerdings ist die Erholungsrate einmal konstant angewandt und einmal in den 16 Stunden Freizeit nach der Arbeit.

Zu beachten ist hier, dass für den gelben Wert, welcher die Übereinstimmung mit dem Grenzwert repräsentiert, die Belastung täglich komplett ausgeglichen/erholt wird, sodass es zu keinen Übernahmen von Belastungen in den nächsten Tag kommt. Gleichzeitig ist zu

erkennen, dass sich die Höchstwerte stark unterscheiden. Dies ist insofern von Relevanz, da es auch abhängig von der Implementierung unterschiedliche Belastungsszenarien impliziert, wie bspw. bei der sofortigen Anwendung der Erholungsrate ab dem Zeitpunkt der Rückgabe von Humanressourcen in Ressourcenpools oder mit Zeitverzögerungen, bspw. erst nach der Arbeit. Entsprechend kann es zu sehr unterschiedlichen Grenzwerten kommen (besonders, wenn Schwellwerte überschritten werden und Belastungen sich „anstauen“).

Darüber hinaus soll an dieser Stelle auf die Notwendigkeit des unteren Limits hingewiesen werden (das obere wird vorausgesetzt, da es bei Überschreitung zum Ausfall kommen soll). Das untere Limit ist relevant, da bspw. eine Arbeitspause, wie ein Urlaub, zwar neue Kräfte freisetzen kann, allerdings die Erholungsrate nicht dauerhaft wirkt und somit kein „negativer Belastungswert“ gesammelt und später aufgebraucht werden kann. Zwar gibt es psychologische Phänomene bzgl. der gefühlten Schwere (auch im Bezug zu Erwartungshaltungen und Ansprüchen), allerdings ist dies mit physischen Einwirkungen nicht vergleichbar. Bzgl. psychologischen Wirkungen ist zudem festzuhalten, dass Stress bspw. nachwirken kann, d.h., dass die Loslösung von Belastung aufgrund der ideellen Verknüpfung nicht wie bei physischen Belastungen nach Erledigung einer Aufgabe eintreten muss. Das Anstauen kann in Abb. 47 nachvollzogen werden. Dabei ist $Esr(x)$ identisch zu den vorherigen Grafiken, die Erholungsrate wurde bzgl. der beiden freien Tage am Ende der Woche angepasst:

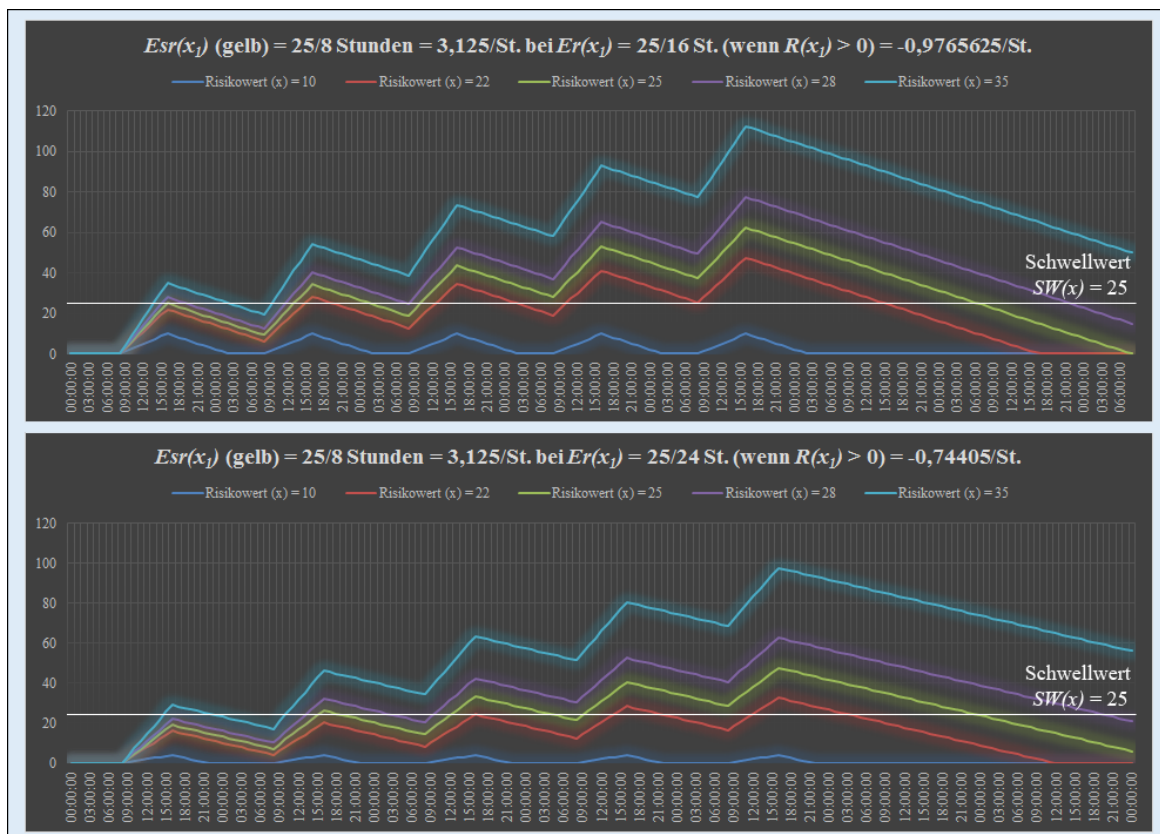


Abbildung 47: Einflusssteigerungsraten und Belastungsraten bei wöchentlichem Ausgleich

An beiden Grafiken ist zu erkennen, dass der Grenzwert von 25 trotz des wöchentlichen Ausgleiches, wegen der zu kurzen Erholungsphase, wiederholt überschritten wird. Dies impliziert, dass der Tagesgrenzwert von 25 entweder erst am Ende einer wöchentlichen oder

noch längeren Schicht durch die initiale Belastung erreicht werden dürfte und die Belastungsrate entsprechend angepasst werden müsste, oder dass die Erholungsrate generell stärker sein müsste. Von einer stärkeren Erholung ist allerdings abzusehen, da bspw. Muskeln bei einer starken Beanspruchung (die an eine Überlastung grenzt) i.d.R. eine Mindesterholungszeit von 1½- 3 Tagen brauchen, teilweise auch länger. Daher wurde eine Anpassung in Bezug zur Belastungsrate vorgenommen, wie in Abb. 48 in der obersten Grafik zu sehen ist. Zufällig kommt es in diesem Szenario sowohl dazu, dass der Grenzwert von 25 exakt nach einer fünftägigen Belastungsphase erreicht wird, in der Woche ganz ausgeglichen wird (gelbe Linie) und dies während die Erholungsphase auf 2½ Tage ausgedehnt wurde. Bei stärkeren Belastungen (bei $R(x) > 25$) kommt es wiederum zu dem Verschleppen von Belastungen und dem wahrscheinlichen Ausfall bzw. einer Überbelastung. Zusätzlich kann an den darunter stehenden Grafiken die Auswirkung unterschiedlicher Schichten auf die Risikowerte gesehen werden. So ist die Berechnungsmethodik in den ersten zwei Grafiken genau gleich, nur dass die erste ein klassisches Wochenende beinhaltet, während bei der zweiten ein Ausgleichstag am Mittwoch (anstelle von Samstag) eingefügt wurde.

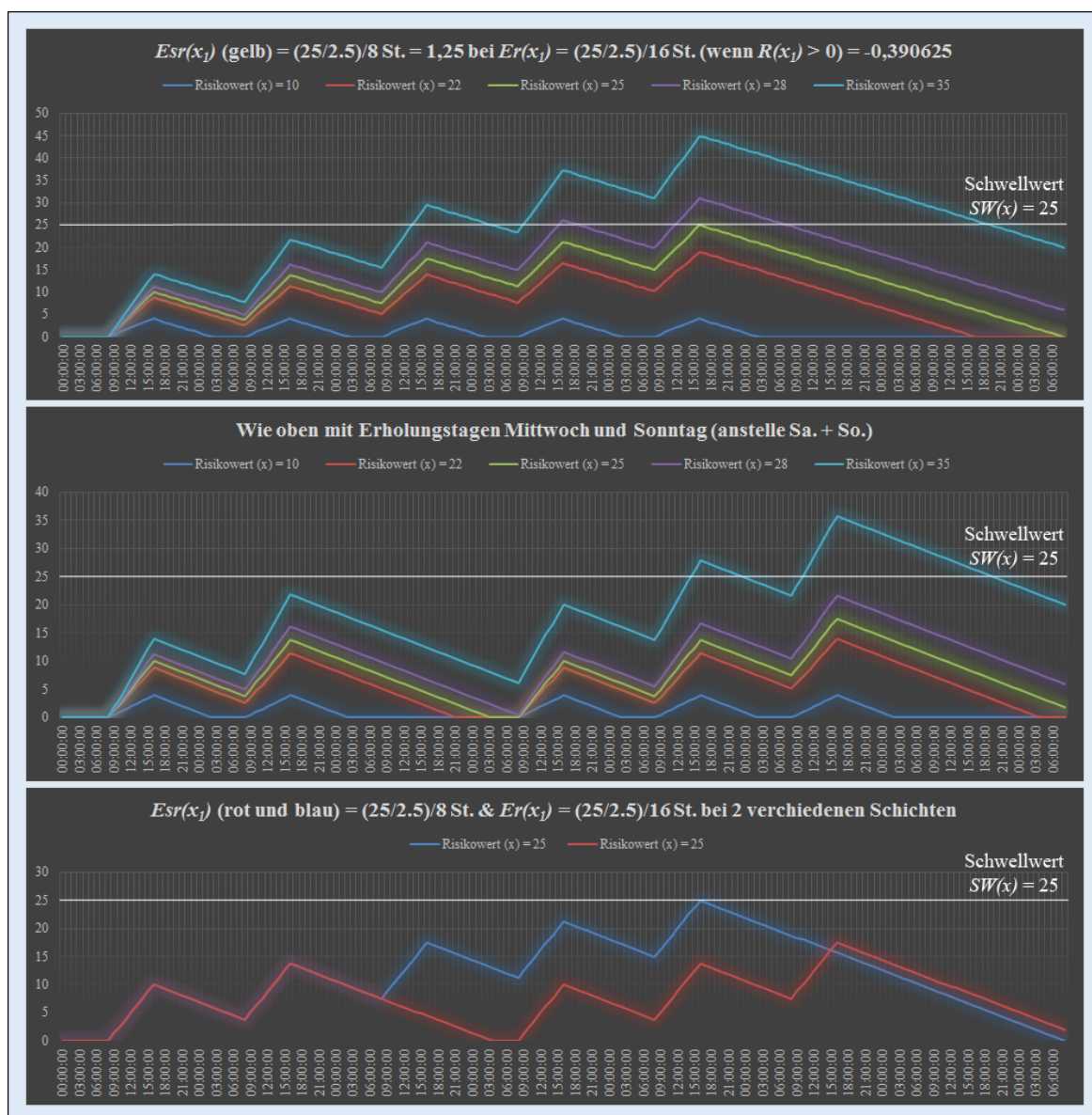


Abbildung 48: Längere Erholungsphase bei reduzierter Belastungsrate und Schichtunterschiede

Die unterste Grafik verdeutlicht diesen Unterschied, anhand der Kurven für einen maximalen Risikowert für x von 10 (25/2,5). Aus diesen rudimentären Tests konnten verschiedene Anforderungen geschlussfolgert werden, so bspw. an die Modellierung und Integration von Belastungsraten, Erholungsraten an verschiedenen Systemelementen, sowie bzgl. weiterer Eigenschaften von Einflüssen wie untere Grenzwerte, Schwellwertdefinitionen und die Auswirkungen auf den Produktionsablauf. Das letzte Beispiel sollte auf die unterschiedliche Rückkopplungen von Einflüssen auf Humanressourcen hinweisen. Diesbezüglich sollte es bspw. nicht nur zum Ausfall von Humanressourcen kommen, wenn ein Schwellwert einmalig überschritten wird, sondern auch bei einer mehrmaligen Überschreitung eines Schwellwertes. Entsprechend ergaben sich neue Anforderungen an Modellierung und Abfrage während des Simulationsablaufes. Diese werden ausführlich in Abschnitt 5.3 erläutert. Um die grundlegenden Aspekte der Konzeption auszuführen, wird in der Folge kurz die Zuweisung von Einflüssen zu Humanressourcen, bzw. Arbeitsstationen und Ressourcenpools erläutert.

5.2.3 Zuweisung sozialer Einflüsse

5.2.3.1 Zuweisung von Tätigkeitseinflüsse

Wie erwähnt sind Einflüsse in erster Regel dann für die Produktionssimulation von Relevanz, wenn sie sich auf Humanressourcen beziehen deren Tätigkeiten zwingend notwendig für den Produktionsablauf sind³⁵¹. Der Hintergrund dafür ist, dass ihr Ausfall folglich zu einem veränderten Systemverhalten führen kann und dies von grundlegendem Interesse ist.

Die Verbindung von Einflüssen und Humanressourcen können, je nach Art des Einflusses, auf verschiedene Weisen hergestellt werden. Für Tätigkeitseinflüsse gilt die Verbindung mit Arbeitsstationen, an denen oder in deren Vorfeld Tätigkeiten verrichtet werden, die Einflüsse auf Humanressourcen entfalten. Um einen Einfluss einer Arbeitsstation zuzuweisen, müssen Einflüsse zuerst angelegt werden. Nach einer Definition sind diese an Arbeitsstationen auswählbar. Gleichzeitig können zum Betrieb der Arbeitsstationen die Ressourcenanforderungen definiert werden, was bei folgender Parametrisierung zur Verbindung zwischen Einfluss und Humanressource führt. Zudem kommt es zu ressourcentypabhängigen Anpassungen der Einflussraten, was in der softwaretechnischen Konzeption noch detailliert wird.

5.2.3.2 Zuweisung von Interaktionseinflüssen

Interaktionseinflüsse müssen mit einem Sender und einem Adressaten definiert werden. Dies impliziert, dass die Einflusszuweisung bereits bei der Einflussdefinition erfolgen muss, damit sich ein Einfluss auf Humanressourcen auswirkt. Folglich erfordert die Einflusszuweisung von Interaktionseinflüssen mindestens zwei angelegte Humanressourcen. Für eine sinnvolle Verbindung mit Ressourcenpools, was einer Einwirkung auf mehrere Menschen gleichkommen würde, ist zudem ein zusätzlicher Ressourcenpool mit mindestens zwei weiteren Menschen erforderlich (zusätzlich zum Sender). Falls die Humanressourcen zusätzlich mit Arbeitsstationen und/oder Wartungen verknüpft werden, kann es auch ohne Tätigkeitseinflüsse zu Rückwirkungen mit dem Produktionsablauf kommen.

³⁵¹ Und grundsätzlich ist hier davon auszugehen, dass Überbelastungen diverse negative Auswirkungen haben können, die vermieden werden sollen. Altaf und Away notieren diesbezüglich: „*The serious problem with work overload is that it not only causes mental problems but also results in physical problems such as back pain, tiredness, lack of sleep, and no proper rest.*” [Altaf & Away, 2011, S. 98].

5.2.4 Auswertung und Ergebnisse

5.2.4.1 Neue Anforderungen an Simulationsergebnisse bzgl. sozialer Einflüsse

Das bisherige Simulationssystem bot bereits im Vorfeld der neuen Implementationen verschiedene Excel-basierte Aufbereitungen von Simulationsergebnissen an, die sich bisher auf ökonomische und ökologische Aspekte bezogen (bspw. zu Rüstzeiten, Durchlaufzeiten, Wartungen, LCI- und LCA-Reporte, u.v.m.).

Zu den gewünschten Simulationsergebnissen der sozialen Aspekte, die auch spezifische Einblicke in Belastungsentwicklungen ermöglichen sollten, gab es allerdings einen erheblichen Unterschied, so wurde bisher der hauptsächlichliche Fokus auf die Durchschnittswerte der Simulationsdurchläufe gelegt. Die einzelnen Läufe inklusive ihres dynamischen Verhaltens wurden auf Basis der großen Streuungsraten diesbezüglich weniger betrachtet. Zwar gab es Auswertungen, welche sich auf die Anzahl von erreichten Werten über alle Simulationsläufe hinweg bezogen, einzelne Läufe wurden aber generell nicht betrachtet. Bei einer alleinigen Betrachtung von Durchschnittswerten würden folglich die möglicherweise sehr schädigenden Wirkungen, welche in einzelnen Läufen entstehen könnten, verloren gehen und nur als weitere Anzahl einer Grenzwertüberschreitung in den Ergebnissen auftauchen. Das Übereinanderlegen aller dynamischen Verhalten würde (abhängig von der Anzahl der Simulationsläufe) gleichzeitig zu einem großen Rauschen und einer Wahrscheinlichkeit führen, Ergebnisse entweder nicht richtig zu erkennen oder möglicherweise falsche Bezüge herzustellen. Demnach mussten Anpassungen an den Auswertungskomponenten vorgenommen werden, um zusätzlich zu den Durchschnittswerten auch einzelne Läufe genauer betrachten zu können. Dabei ist zu bedenken, dass diese i.d.R. bzgl. des Systemverhaltens weniger Aussagekraft haben. Die Betrachtung des dynamischen Verhaltens der Einflüsse kann aber zu neuen Erkenntnisgewinnen führen, daher wurde eine Kombination angestrebt, welche einerseits die durchschnittliche Überschreitung von Schwellwerten anzeigt (sowie Maxima/Minima) und auch ermöglicht einzelne Läufe gesondert zu betrachten.

5.2.4.2 Auswertungen und Ergebnisse

Als grundsätzliche relevante Ergebnisse wurden die Schwellwertüberschreitungen angestrebt sowie die Entwicklungen der Einflussraten und bei Ausfall von Humanressourcen, die Gründe (d.h., die Einflüsse, welche die Überbelastungen ausgelöst haben) sowie die Ausfalldauer. An dieser Stelle ist zusätzlich darauf hinzuweisen, dass es bzgl. der Ausfalldauer nach Überlastungen von Menschen diverse statische Daten gibt, die allerdings nicht ins System eingebunden wurden. Das bedeutet, dass die Parametrisierung der Ausfalldauer dem Modellierer obliegt, da das System nicht die Art des Einflusses erkennt.

Grafische Auswertungen wurden nicht implementiert, sind aber auf Basis der Excel-Ergebnisse sehr einfach möglich, wie in Kapitel 7 aufgezeigt wird. Die Verschneidung der drei Perspektiven im Kontext der Nachhaltigkeitsbetrachtung wurde nachgelagert durchgeführt und nur experimentell ins System übernommen, Eine Komplett-Überarbeitung der Auswertungskomponente, um diese zu ermöglichen, war im Rahmen dieser Arbeit nicht zusätzlich möglich. Entsprechende Ergebnisse werden aber in Kapitel 7 ausgewiesen.

5.3 Softwaretechnische Konzeption und Anforderungsanalyse

5.3.1 Anforderungsdefinition

5.3.1.1 Vorbemerkung

Abschnitt 5.3 spezifiziert Anforderungen an die Umsetzung, in Hinblick auf die in den letzten Kapiteln vorgestellten Zielvorstellungen. Die folgenden Anwendungsfälle sind diesbezüglich bereits technisch orientiert, d.h., sie sind mit graduell steigenden Anforderungen an Daten, Komplexität und resultierendem Implementierungsaufwand beschrieben. Dies bedeutet, dass sie anfangs weniger realen Anwendungsfällen entsprechen, sondern sich eher auf die schrittweise Weiterentwicklung des Prototyps beziehen und Anforderungen in Hinblick zunehmender Funktionalitäten beschreiben. Realitätsnähere Anwendungsfälle sind in Kapitel 7 beschrieben. Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass nicht alle hier determinierten Kriterien in der prototypischen Realisierung umgesetzt werden können. In dem Sinne kommt es zu einem Abgleich in der Machbarkeitsanalyse und in Kapitel 6, bzgl. notwendiger Einschränkungen zur Komplexitätsreduktion und Auswahl von Prioritäten.

5.3.1.2 Anforderungs- und Anwendungsfallbeschreibung

Für alle Anwendungsfälle wird davon ausgegangen, dass der Nutzer/Aktor ein erfahrener Modellierer ist, der soziale Einflüsse auf Basis ihm bekannter Methoden und/oder ihm vorliegenden Daten modellieren kann. Zusätzlich wird davon ausgegangen, dass er technisch affin genug ist, um die Softwarelösung nach Einweisung bedienen zu können. Als weitere Vorbedingung wird für alle Anwendungsfälle vermerkt, dass ein Produktionsmodell entweder bereits vorliegt oder vor der Modellierung sozialer Aspekte erstellt wird, d.h., dass der Modellierer sich auf die sozialen Aspekte konzentrieren kann und nicht zusätzliches Fachwissen bzgl. der Maschineneinstellungen oder Parameter der Stoffbuchungen haben muss.

Anwendungsfall 1: Bestimmung von einfachen Tätigkeits-Einflüssen auf Humankapital

Kurzbeschreibung und Ablauf: Im Modell des Produktionssystems muss ein Mensch angelegt werden können. Die Anlegung impliziert auch die Parametrisierung von durch den Nutzer definierten Eigenschaften, welche über zwei Felder verfügen (Name, Wert) und gemeinsam durch ein Hinzufügen oder Löschen dem Menschen zugewiesen/abgesprochen werden können. Zudem können dem Menschen Tätigkeiten zugeordnet werden, dazu muss an den Tätigkeiten eine Auswahl angelegter Menschen angezeigt werden und durch die Auswahl eines Menschen, die Zuweisung beidseitig gespeichert werden. Die Tätigkeiten entfalten einen Einfluss auf den Menschen. Dieser Einfluss muss ebenfalls angelegt und den Tätigkeiten zugeordnet werden können. Ferner entwickelt sich der Einflusswert zeitdynamisch linear in Entsprechung von vier Eigenschaften, welche parametrisiert werden müssen. Diese sind ein Ausgangswert, eine Steigerungsrate (die zur linearen Steigerung des Einflusswertes führt, solange der Mensch einer Tätigkeit zugeordnet ist), eine Erholungsrate (welche bedingt, dass der Einflusswert linear abnimmt falls der Mensch nicht zugeordnet ist) und ein Minimalwert, den der Einflusswert nicht unterschreiten darf. Letztlich muss der Einflusswert, nach dem Experimentieren, nachvollzogen und ausgewertet werden können.

Anwendungsfall 2: Bestimmung von einfachen Interaktions-Einflüssen auf Humankapital

Kurzbeschreibung und Ablauf: Diese Fallbeschreibung baut auf Anwendungsfall 1 auf. Zusätzliche Voraussetzung sind mindestens zwei angelegte und modellierte Menschen und ein angelegter und modellierter Einfluss. Als neue Anforderung kann ein Einfluss nun nicht nur einer Tätigkeit, sondern auch mindestens zwei oder mehr Menschen zugeordnet werden. Dies bedingt, dass als neuer Parameter des Einflusses eine Boolean'sche-Auswahl determinieren muss, ob es sich um einen Tätigkeitseinfluss oder einen Interaktionseinfluss handelt, und dass sich bei der Auswahl auf einen Interaktionseinfluss, die Option bietet, einen Sender und einen Adressaten am Einfluss auszuwählen. Dabei ist der Sender immer ein angelegter Mensch und der Adressat entweder ein angelegter Mensch oder eine angelegte Gruppe von Menschen. Diesbezüglich muss zusätzlich die Möglichkeit bestehen, Menschen zu Gruppen zuzuordnen (was in der Folge als Pooling tituliert wird). Dies bedingt die Möglichkeit des Anlegens eines Pools für Menschen, die Benennung dessen und das Hinzufügen von angelegten Menschen zum Pool. Die Option der Zuweisung von Menschen/Pools zu einem Interaktionseinfluss wird durch klickbare Hinzufügen/(Löschen)-Felder gekennzeichnet, welche die angelegten Menschen, bzw. Pools anzeigen. Diese können folglich ausgewählt und damit zugewiesen werden. Die Auswertung erfolgt in Entsprechung zu Anwendungsfall 1.

Anwendungsfall 3: Beschreibung komplexerer Interaktions-Einflüsse auf Humankapital

Kurzbeschreibung und Ablauf: Diese Fallbeschreibung baut auf Anwendungsfall 2 auf. Neue Anforderung ist, dass an einem Interaktionseinfluss zusätzlich parametrisiert werden kann, ob sich der Einfluss immer auswirkt, nur wenn die Menschen anwesend/verfügbar sind oder wenn beide/alle die gleiche Tätigkeit ausüben. Bei der Auswahl von Möglichkeit 1 entstehen keine Änderungen, bei Möglichkeit 2 muss die Anwesenheit/Verfügbarkeit der Menschen durch entsprechende Variablen gekennzeichnet werden, welche sich entsprechend einer Logik verändern (bspw. durch Kopplung ans Schichtsystem), bei Möglichkeit 3 wird diesmal der Interaktionseinfluss einer Tätigkeit zugewiesen, was folglich der Zuordnung entspricht. Dadurch entsteht sowohl die Verbindung der betroffenen Menschen und einer Tätigkeit. Darüber hinaus muss das System überprüfen, ob die betreffenden Menschen zeitgleich die entsprechende Tätigkeit ausführen (oder anwesend sind, für Möglichkeit 2) und die verschiedenen Einflussraten nur in Entsprechung wirken lassen.

Anwendungsfall 4: Bestimmung von untereinander korrelierenden Einflüssen

Kurzbeschreibung und Ablauf: Diese Fallbeschreibung baut auf Anwendungsfall 2 und/oder 3 auf. Als neue Anforderung muss sich der Einflusswert nun auch in Entsprechung mehrerer möglicher, aber nicht zwangsläufiger, einseitiger Wirkungen von oder zu anderen Einflüssen entwickeln können. Dies impliziert, dass es realisierbar sein muss, einem Einfluss als Eigenschaft die Referenz auf einen oder mehrere Einflüsse zu geben und zudem zu spezifizieren, wie sich die Korrelation darstellt. Die Korrelationsbestimmung erfolgt anhand eines, bei der Referenzbildung erscheinenden Formelfeldes, in welches ein simpler Algorithmus eingetragen werden kann (bspw. „wenn Einflusswert A größer als 50, dann rechne 20 zu Einflusswert B ODER wenn Einflusswert A kleiner als 60, dann multipliziere Einflusswert B mit 0,78“). Die Auswirkung der Formel muss sich immer auf den zum Zeitpunkt

modellierten Einfluss (im Beispiel Einfluss B) beziehen, d.h., für beidseitige Wirkungen müssen zwei Zuweisungen und Beschreibungen an den jeweiligen Einflüssen erfolgen.

Anwendungsfall 5: Wirkung menschlicher Eigenschaften auf Einflüsse und Grenzwerte

Kurzbeschreibung und Ablauf: Diese Fallbeschreibung baut auf Anwendungsfall 2 und/oder 3 und/oder 4 auf. Als neue Anforderung muss der Einflusswert nun auch durch Eigenschaften des Menschen beeinflusst werden. Dies impliziert, dass bei der Zuweisung einer Eigenschaft zu einem Menschen nun die Möglichkeit bestehen muss, zusätzlich zu den zwei Feldern (Name, Wert), einen modellierten Einfluss auszuwählen. Durch das Auswählen eines Einflusses muss, wiederum anhand eines Formelfeldes (vgl. Anwendungsfall 4), festgelegt werden, wie das Wert-Feld der Eigenschaft mit dem Einflusswert korreliert. Dabei ist zu beachten, dass die Einflusstärke, d.h., der Wert des Einflusses unverändert bleibt³⁵². Folglich bieten sich zwei Typen der Korrelation, erstens zwei „Resistenzfelder“, von denen das eine die Steigerungsrate des Einflusswertes über die Zeit reduziert (oder verstärkt bei „negativer“ Resistenz, also Anfälligkeit) und/oder eine analoge Verbindung zwischen der Erholungsrate und dem zweiten Feld besteht. Darüber hinaus kommt es andererseits zu einer Einwirkung auf Grenz/ bzw. Schwellwerte. Diese Einwirkung impliziert ihrerseits die Notwendigkeit der Parametrisierung von Grenz-/Schwellenwerten von Einflüssen, d.h., dass als weitere Anforderung an einem Einfluss Schwellwerte für den Wert des Einflusses hinzugefügt werden können. Dies erfolgt in Analogie zum Hinzufügen von Eigenschaftsfeldern, durch klickbare Hinzufügen-Felder, welche bei Ausführung wiederum Name- und Wertfelder für den/die Schwellwert/e erzeugen. Bei entsprechender Modellierung muss nun bei der Eigenschaftsparametrisierung des Menschen, nach Hinzufügen einer einflussbezogenen Eigenschaft, ein definierter Schwellwert des Einflusses auswählbar sein und ein zusätzlicher Wert eingetragen werden können, anhand eines weiteren Feldes, welches bei Auswahl des Schwellwertes erscheint (Wirkung positiv wie negativ). Zudem erlaubt die Definition von Schwellwerten nun eine erweiterte Auswertung im Hinblick auf die Anzahl der Übertretungen des Einflusswertes so definierter Schwellwerte über die Zeit.

Anwendungsfall 6: Einfache Auswirkung auf die Produktion durch menschlichen Ausfall

Kurzbeschreibung und Ablauf: Diese Fallbeschreibung baut auf Anwendungsfall 5 auf, bzw. benötigt als Voraussetzung die Schwellwertbetrachtung aus Anwendungsfall 5. Neue Anforderung ist die mögliche Zustandsveränderung eines Menschen, welche auf Basis des Wertes eines Einflusses, in Abgleich mit einem angelegten Schwellwert ausgelöst werden kann. In der einfachsten Betrachtung muss es entweder bei der Überschreitung, Unterschreitung oder dem mehrmaligen Auftreten eines zusätzlichen Schwellwertes (in der Folge Ausfallwert) zur Zustandsveränderung des Menschen kommen (in diesem Fall zum Ausfall des Menschen³⁵³). Der Ausfallwert muss zusätzlich am Einfluss modelliert werden. In dem

³⁵² Beispielhaft kann das dadurch erklärt werden, dass eine stoffliche Belastung der Atemwege in einem Raum unabhängig von den anwesenden Menschen die gleiche Intensität entfaltet, allerdings von deren biologischen Systemen anders verarbeitet werden kann. Vergleichbar dazu kann auch die zu bewegende Masse eines beladenen Kartons als immer gleiche Krafteinwirkung verstanden werden, die sich allerdings in Abhängigkeit unterschiedlicher physischer Eigenschaften von Menschen in ihrer Auswirkung stark unterscheiden kann.

³⁵³ Ausfall kann in diesem Fall Erschöpfung, Überlastung oder Verletzung implizieren und folglich die Leistungsfähigkeit des Individuums auf null reduzieren. Hier wären logischerweise auch andere Zustände möglich,

Sinne muss es beim Hinzufügen eines Schwellwertes zu einer Auswahl kommen, ob es sich um einen „normalen“ Schwellwert handelt oder um einen Ausfallwert³⁵⁴. Die Zustandsveränderung des Menschen kann ihrerseits zu Rückwirkungen auf das Produktionssystem führen, in dem Sinne, dass Tätigkeiten, die nur unter Verfügbarkeit des Menschen ausgeführt werden können, nicht mehr ausgeführt werden (aufgrund des Ausfalls des Menschen). Eine entsprechende Auswertung muss diese, durch Ausfall von Menschen, veränderte Produktionsleistung nachvollziehbar machen sowie den Ausfall des Menschen dokumentieren.

Anwendungsfall 7: Einfache Auswirkung auf die Produktion mit Pooling-Kompensation

Kurzbeschreibung und Ablauf: Diese Fallbeschreibung baut auf Anwendungsfall 2 und 6 auf, bzw. benötigt sowohl die Gruppierung/das Pooling von Menschen, als auch die definierte Ausfallmöglichkeit. Als zusätzliche Anforderung müssen Tätigkeiten nun nicht mehr nur Menschen zugewiesen werden können, sondern auch Gruppierungen von Menschen. Dies entspricht der Befähigung von verschiedenen Menschen, die Tätigkeit ausüben zu können. Zudem muss eine einfache Steuerungslogik bestehen (bspw. „first in, first out“), welche Menschen aus den assoziierten Pools zu Tätigkeiten zuweist. Ein Ausfall eines Menschen, würde dementsprechend bei weiterer Verfügbarkeit von Menschen im Pool dazu führen, dass ein anderer Mensch die bestehende Aufgabe übernimmt. Hier kann es hinsichtlich der Steuerungslogik zu Wartezeiten oder sogar dem Halt der Produktion kommen, wenn kein anderer Mensch verfügbar ist. Zudem muss ein zusätzliches Feld der Tätigkeit zugeordnet werden, welches die Verzögerung des Ausfalls selbst, anhand einer auswählbaren Verteilung, widerspiegelt und sich für den Fall des Austausches von Menschen zeitdynamisch auf die Tätigkeit auswirkt.

Anwendungsfall 8: Nutzung von SLCA Daten zur Bestimmung weitere sozialer Einflüsse

Kurzbeschreibung und Ablauf: SLCA Daten werden, ohne Veränderung des Modellierungsablaufes durch die Integration von Materialien oder Energietypen ins System übernommen, und durch die Nutzung der Stoffe die entsprechenden Wirkungen entfaltet. Diese Wirkungen müssen zusätzlich zu den ELCA Wirkungen vom System berechnet werden und müssen nach dem Beenden des Experiments auswertbar sein. Zusätzlich kann es, in Entsprechung der Datenqualität und vordefinierter Anspruchsgruppen, zu zusätzlichen Gruppierungen der Wirkungen kommen und diese folglich gegliedert und aufbereitet werden³⁵⁵.

bspw. eine erhöhte Belastung, die sich negativ auf die Leistung des Menschen auswirken kann. Für die prototypische Umsetzung soll diese weitere Komplexitätsstufe allerdings vorerst ausgeschlossen werden.

³⁵⁴ Diesbezüglich ist anzuführen, dass Ausfallwerte theoretisch auch am Menschen modelliert werden könnten, aufgrund der grundsätzlichen Definition (bspw. Arbeitsrecht bzgl. Grenzwerte) wurde sich allerdings dafür entschieden, die verschiedenen Grenzwerte direkt dem Einfluss zuzuweisen und die menschliche, individuelle Ausprägung in Form einer formalen Einwirkung auf diesen grundsätzlich definierten Einflussgrenzwert darzustellen. Zudem wurde in Betracht gezogen die Einwirkung nicht auf den Grenzwert zu beziehen, sondern nur auf den Einflusswert, allerdings entspricht die gewählte Modellierung eher der Realität (beides möglich).

³⁵⁵ Hier ist anzumerken, dass die entsprechende Funktionalität, abgesehen von der Analyse definierter Gruppierungen bereits besteht. Die genutzte LCA-Datenbank (ecoinvent - <http://ecoinvent.ch/>) hat bezüglich der Integration sozialer Daten zudem neue strategische Partner gewonnen (siehe bspw. <http://socialhotspot.org/>). Dementsprechend kam es zu Ankündigungen in Aktualisierungen/Folgeversionen der Datenbank eine Reihe von SLCA-Daten zu übernehmen, welche entsprechend einfach zu integrieren wären. Die Nutzung anderer sozial orientierter LCA Datenbanken (wie bspw. die Social Hotspots Database oder Derivate der openLCA Bewegung) wurde daher zurückgestellt und bzgl. der SLCA Integration auf die Folgeversion verwiesen.

5.3.1.3 Definition der grundsätzlichen funktionalen Anforderungen

In Bezug zu den funktionalen Anforderungen ist anzumerken, dass simulationsspezifische Anforderungen, wie sie bspw. durch Page, Law und Kelton und Wohlgemuth definiert wurden im Rahmen der bestehenden Produktionssimulationssoftware als gegeben anzusehen sind. Dies impliziert, dass Funktionskomponenten, wie z.B. Zufallszahlgeneratoren, Simulationsuhr(en), Simulationsablaufsteuerungen, Konsistenzüberprüfungen sowie textbasierte und grafische Auswertungen [vgl. Page et al., 2000, S. 26 ff.], [vgl. Law & Kelton, 2000, S. 202], [Wohlgemuth, 2005, S. 81 f.] bereits implementiert sind und durch Schnittstellen, den neu entwickelten Komponenten, Funktionalität bereitstellen können.

Die funktionalen Anforderungen sind detailliert im gleichnamigen Anhang gesammelt; wegen ihrer Länge und des Listencharakters sollen an dieser Stelle nur die Anforderungen von Anwendungsfall 1 leicht verkürzt wiedergegeben werden. Dabei wird sich in der Machbarkeitsanalyse auf die definierten Prioritäten und Erfordernisse von Anforderungen bezogen.

Nr.	Beschrieben in	Priorität	erfordert	Anforderung	Spezifikation
1	AW 1	1		Ein Mensch muss angelegt werden können.	Das Anlegen impliziert eine grafische Oberfläche, welche die Administration von Mensch oder Typ-bezogenen Eigenschaften erlaubt.
1.1	AW 1	1	1	Ein Mensch muss parametrisiert werden können.	Auf der grafischen Oberfläche besteht ein Knopf, welcher bei Betätigung, zwei ausfüllbare und speicherbare Felder dem Menschen hinzufügt, welche Eigenschaften des Menschen verändern. Die zwei Felder sind mit "Name" und "Wert" benannt und entsprechen einem string und einem double Wert. Durch das Hinzufügen dieser zwei Felder erscheint zusätzlich ein Löschen Knopf der eben diese Felder wieder löschen kann. Es können beliebig viele Eigenschaften hinzugefügt werden.
2	AW 1	1	1	Ein Mensch muss einer Tätigkeit zugeordnet werden können.	An bestehenden Arbeitsstationen muss die Möglichkeit bestehen angelegte Menschen auszuwählen und diese somit der Tätigkeit zuzuweisen. Sowohl an Menschen als auch an Arbeitsstationen müssen nachvollzogen werden können, dass eine Verbindung besteht.
3	AW 1	1		Ein Einfluss muss angelegt werden können.	Das Anlegen impliziert eine grafische Oberfläche, welche die Administration von Einfluss-bezogenen Eigenschaften erlaubt.
3.1	AW 1	1	3	Ein Einfluss muss parametrisiert werden können.	Auf der grafischen Oberfläche besteht ein Knopf, welcher bei Betätigung, vier ausfüllbare und speicherbare Felder dem Einfluss hinzufügt, die sich auf Eigenschaften des Einflusses beziehen. Die Felder sind mit Ausgangswert, Steigerungsrate, Minimalwert und Erholungsrate gekennzeichnet und die speicherbaren Inhalte respektive von den Datentypen string, double, double, double.
4	AW 1	1	3	Ein Einfluss muss einer Tätigkeit zugeordnet werden können.	An bestehenden Arbeitsstationen muss die Möglichkeit bestehen angelegte Einflüsse auszuwählen und diese somit der Tätigkeit zuzuweisen. Sowohl Einflüsse als auch Arbeitsstationen müssen "wissen", dass sie einander zugewiesen wurden.
5	AW 1	1	1-4	Der Einflusswert muss berechnet werden.	Dem System muss logisch bekannt sein, dass eine Tätigkeit an einer Arbeitsstation von einem Menschen ausgeführt wird. Wenn das geschieht muss der Einflusswert in Entsprechung der definierten Steigerungsrate und ausgehend vom Ausgangswert ansteigen. Bei Beendigung der Tätigkeit oder dem Aufheben des Bezuges zwischen Mensch und Tätigkeit muss die Erholungsrate den Einflusswert wiederum reduzieren, bis die Tätigkeit wieder aufgenommen wird oder der Minimalwert erreicht wird.
6	AW 1	1	1-5	Der Einflusswert muss nach Beendigung eines Experiments auswertbar sein.	Das System muss den Einflusswert zu definierten Zeitschritten speichern/loggen und nach der Beendigung eines/mehrerer Experiments/e, in einer nachvollziehbaren Art und Weise, auswertbar zur Verfügung stellen.

Tabelle 9: Funktionale Anforderungen für Anwendungsfall 1

5.3.1.4 Definition der nicht funktionalen Anforderungen

In Bezug auf die nicht funktionalen Anforderungen sollte einleitend auf generelle nicht funktionale Anforderungen an Simulationssysteme verwiesen werden, die sich in erster Linie auf Benutzungsfreundlichkeit, Flexibilität/Wiederverwendbarkeit des Programmcodes, Effizienz und Strukturiertheit beziehen [vgl. Wohlgemuth, 2005, S. 79 ff.].

Diesbezüglich ist zu spezifizieren, dass zwar von erfahrenen und technikaffinen Nutzern/Aktoren ausgegangen wird, die Benutzungsfreundlichkeit jedoch im Anwendungsfall konkretisiert werden sollte. Dies liegt im Bezug zur bestehenden Simulationssoftware u.a. daran, dass sowohl Einflüsse, als auch Menschen als neue Aspekte zu Arbeitsstationen zugewiesen werden. Da diese bereits über diverse Einstellungsmöglichkeiten zu Ausfallzeiten und Rüstzeiten, Wartungen, Verarbeitungsdauer, Konversionslogik, u.v.m. verfügen, muss bei dem Hinzufügen von zusätzlichen Einstellungsmöglichkeiten besonders darauf geachtet werden, dass die betreffenden Nutzer nicht von der Vielfalt der Einstellungsmöglichkeiten überfordert werden. Eine benutzerfreundliche Leitung zur Auswahl notwendiger Modellierungsschritte, am besten noch einer Priorisierung folgend, ist demnach elementar. Bzgl. des vielfachen Anlegens kann zusätzlich darauf hingewiesen werden, dass sich ein einheitliches wiederholendes Design positiv auf den Wiedererkennungswert und folglich auf die Gewöhnung und empfundene Einfachheit der Dateneingabe auswirkt. Entsprechend wird angestrebt, grafische Anlege- und Parametrisierungsmasken in durchgehendem Design zu halten.

Zudem ist auch im Kontext der Effizienz darauf hinzuweisen, dass durch die vielfältigen neuen korrelierenden Wechselwirkungen, von Einflüssen zu Einflüssen, zu Eigenschaften von Menschen und Gruppierungen, zur Produktionsablaufsteuerung, etc. sich die Komplexität der bereits komplexen Simulation weiter erhöht. In dem Sinne muss besonders darauf geachtet werden, dass die Durchführung von Experimenten weiterhin ohne unangemessene Zeitverzögerung erfolgen kann, und dass das System nicht in Bezugsschleifen hängenbleibt.

Gerade wegen der komplexen Wechselwirkungen und Interdependenzen ist zudem die Struktur des Programmcodes von besonderer Wichtigkeit, einerseits um während der Programmierung etwaige Fehlerquellen schnell zu identifizieren und hinsichtlich möglicher Erweiterungen und komponentenorientierter Weiterentwicklungen die einfache und schnelle Nutzung einzelner Komponenten zu gewährleisten.

5.3.1.5 Abweichungsanalyse (Bestandsaufnahme, Soll-/Ist-Vergleich)

Dieser Abschnitt soll in Kürze darauf hinweisen, wie der Softwarestand vor dem Beginn an dieser Arbeit war und betonen, welche Komponenten komplementär, bzw. zur Ermöglichung der beschriebenen Funktionalitäten, entwickelt werden mussten. Dabei werden die relevantesten Arbeitspakete kurz beschrieben und dann auf Tabelle 10 (S. 182) verwiesen.

Im Kontext der Modellierung von Menschen, wurde sich dazu entschlossen, Menschen in Form von Human-Ressourcen im System abzubilden. Dies lag darin begründet, dass ein Ressourcensystem im Kontext der Nutzung und Zuweisung von Arbeitsgegenständen, Werkzeugen, etc. zu Beginn der Arbeit fehlte, gleichzeitig der Bedarf nach diesem bestand

und zusätzlich die Funktionen von Menschen für ein Produktionssystem in ähnlicher Form dargestellt werden können. So ist die Gruppierung von Menschen mit der Zuweisung von Gegenständen zu einem Pool vergleichbar. Auch die Bedingung der Verfügbarkeit von Ressourcen zur Durchführung von Tätigkeiten/Funktionalität von Arbeitsstationen ist prinzipiell vergleichbar. Diesbezüglich ist zusätzlich auf ressourcenorientierte Stressbetrachtungen zu verweisen, welche sich darauf beziehen, dass die Verfügbarkeit/Abwesenheit von Ressourcen zur Arbeitserledigung eine direkte Relation zur Stressbildung hat. Dabei wird prinzipiell kein Unterschied zwischen dem Typ von Ressourcen gemacht, d.h., ob es sich um einen Hammer oder einen Vorgesetzten handelt, spielt weniger eine Rolle, sondern die Relevanz liegt in der Unterstützungsfunktion der benötigten Ressource zur Arbeitsaufgabenerledigung. Abb. 49 verdeutlicht dies (siehe bspw. auch Stress- und Ressourcenmanagement in [Busch, et al., 2009, S. 87 ff.]). Die mögliche Einwirkung potentieller Ressourcennutzungen auf Einflüsse stellt allerdings einen weiteren Anwendungsfall dar, der in dieser Arbeit nicht mehr betrachtet wird, für den jedoch die softwaretechnischen Grundlagen gelegt sind.

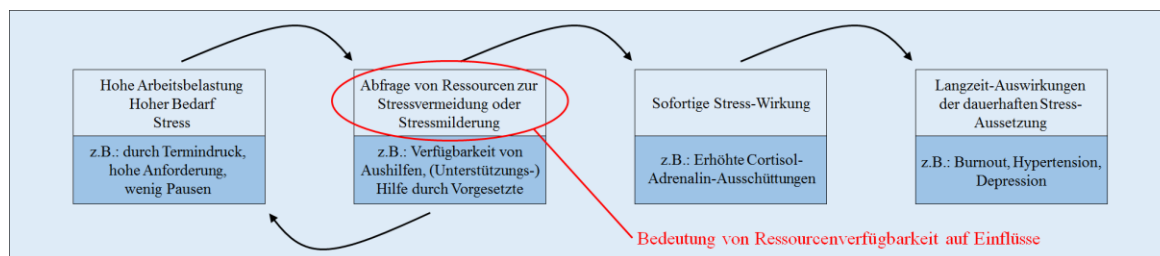


Abbildung 49: Einfluss von Ressourcenverfügbarkeit bzgl. Stress [vgl. Lohmann-Haislah, 2012, S. 18]

Begünstigend bestand bzgl. der ressourcenorientierten Betrachtung von Menschen bereits ein wesentliches Maß an Literatur und Beispielumsetzungen, an deren sich orientiert werden konnte. Resümierend wird als erster Punkt des Soll-Ist-Vergleichs die Abwesenheit eines Ressourcensystems angeführt, dabei konnte die Grundstruktur davon im SimSu-Projekt der HTW Berlin unter Mitwirkung des Autors erstellt werden, siehe [Widok & Wohlgemuth, 2016, S. 145 f.]. Das Ressourcensystem wurde entsprechend obiger Überlegungen bereits mit dem Fokus auf die Adaption hinsichtlich der Nutzung menschlicher Ressourcen konzipiert. Diesbezüglich begünstigte es die Implementierung von anderen Komponenten, die sich spezifisch auf Humanressourcen bezogen (bspw. die Pool-Architektur, bzw. die Verfügbarkeitsanalyse und die Verknüpfung von Ressourcen mit Einflusswerte).

Die Einführung des Ressourcensystems implizierte zusätzliche Entwicklungsarbeit an der Simulationsablaufsteuerung, da entsprechend der Bedürfnisse von Arbeitsstationen an Ressourcen und ihrer Wartungen (welche auch Ressourcen benötigen, diesbezüglich gab es einen Anwendungsfall in der Novapax GmbH im SimSu Projekt), Änderungen an verschiedenen Steuerungskomponenten erforderlich wurden.

Die Komponenten, die sich auf soziale Einflüsse beziehen, mussten von Grund auf neu entwickelt werden. Sie konnten allerdings auf Funktionalitäten, bspw. zur Erstellung von grafischen Editoren (zum Anlegen/zur Parametrisierung) zurückgreifen. Die neue Verknüpfungslogik und Anpassungen, bzgl. der Zuweisungen von Einflüssen (bspw. zu Tätigkeiten) mussten ebenso neu entwickelt werden. Tab. 10 fasst die elementarsten Aspekte zusammen.

Arbeitspaket / Kurzbeschreibung	Grad der Fertigstellung bzgl.								Grad der Fertigstellung vor Beginn der Arbeit
	AW 1	AW 2	AW 3	AW 4	AW 5	AW 6	AW 7	AW 8	
Ressourcensystem: Anlegen von Ressourcen und verschiedenen Typen von Ressourcen in verschiedenen Quantitäten, Pooling von Ressourcen, Überprüfung von Ablaufroutinen bzgl. der Notwendigkeit von Ressourcen und Abhängigkeiten und Zugängen zu Ressourcenpools, Adaption der Arbeitsstationen.	50%	33%	25%	OB	20%	17%	13%	OB	13%
Sozial orientierte Adaption des Ressourcensystems: Erstellung menschlicher Ressourcen, Ermöglichung der Parametrisierung menschlicher Ressourcen, Erstellung der Bezüge zu Einflüssen und Tätigkeiten, etc.	33%	20%	16%	OB	14%	11%	9%	OB	9%
SLCA Adaptionen: Dies bezieht sich hauptsächlich auf die Auswertung, allerdings auch auf die Notwendigkeit der Stakeholder-betrachtung, d.h., Definition von verschiedenen Gruppen nach denen die Einwirkung später gefiltert werden kann.	OB	OB	OB	OB	OB	OB	OB	80%	80%
Einfluss-Erstellung/Management: Erstellung und Parametrisierung von Einflüssen (tätigkeitsbezogene, und interaktionsbezogene), Ermöglichung der Zuweisung an Arbeitsstationen und Einflüssen selbst, Komponentenbildung zur simplen Formelbewertung von Einflüssen und Berechnung dieser.	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	OB	0%
Adaption der grafischen Modellierungsoberfläche: Erstellung neuer Konversionslogiken, welche die Objekte und formal definierten Zustände in grafische Modellelemente und parametrisierbare Eigenschaften "übersetzen".	80%	67%	57%	48%	44%	42%	35%	OB	35%
Veränderung der internen Logik von Arbeitsstationen: Erstellung neuer Logiken bzgl. der Ablaufsteuerung hinsichtlich von Ressourcen und menschlichen Ressourcen, auch bzgl. der Wartungen (welche auch Ressourcen benötigen können), etc.	96%	92%	91%	OB	91%	75%	67%	OB	67%
Auswertungskomponenten für soziale Aspekte: Entwicklung und/oder Zuweisung von Komponenten zur zeitdynamischen Betrachtung/Speicherung der Einflüsse und Zustände. Entwicklung neuer Auswertungskomponenten, etc.	80%	71%	69%	67%	62%	59%	57%	OB	57%
Abbruchkriterien und Simulationssteuerung: Definition neuer Abbruchkriterien und Implementation entsprechender Logiken zur Simulationssteuerung im Hinblick auf die neuen Verhaltensweisen von Ressourcen, menschlichen Ressourcen und Arbeitsstationen.	98%	95%	93%	OB	91%	70%	62%	OB	62%

Tabelle 10: Bestandsaufnahme und Fertigstellungsgrade im Hinblick auf die Anwendungsfälle

Bzgl. der Arbeitspakete ist anzumerken, dass die Gruppierung eher anwendungs- und funktionalitätsorientiert beschrieben ist. Der Grad der Fertigstellung in der rechten Spalte wurde dabei mit Formel 14 berechnet (unten), während die Werte für A_i und A_o in Arbeitsstunden geschätzt wurden. Die unterschiedlichen Werte in den AW-bezogenen Spalten ergeben sich folglich durch das unterschiedliche Verhältnis, entsprechend Formel 14. Hier ist darauf hinzuweisen, dass sich die hohen Fertigstellungsgrade in der ersten Linie aus den umfangreichen Vorarbeiten bzgl. der Bereitstellung von nutzbarer Grundfunktionalitäten ergeben. Die Formel und Aufwandsschätzung sind insofern relevant, da sie im Fazit bzgl. des Ausblickes weiterer Entwicklungsarbeiten aufgegriffen werden.

$G = \frac{A_i}{A_i + A_o} * 100$	<p>G = Grad der Fertigstellung (in %) A_i = investierte Arbeitsleistung (in h) A_o = offene Arbeitsleistung (in h)</p>
-----------------------------------	--

Formel 14: Beschreibung des Grades der Fertigstellung von Arbeitspaketen

5.3.2 Schnittstellendefinition, Daten- und Interaktionsmodelle

5.3.2.1 Domänenübersicht

Die generelle Trennung zwischen Datenhaltung, Logik und Präsentation, wird in der .NET Architektur der WPF mit der Trennung nach Models, Views, ViewModels (und Helpers) beschrieben, welche mit dem sog. MVVM-Pattern benannt wird. Auf dieser Grundarchitektur aufbauend, ist auch die Implementation grundsätzlich nach Logik und Präsentation getrennt. Zur Beschreibung der Bezüge wird sich in der Folge lediglich auf die logischen Elemente bezogen. Die thematische Trennung, die i.d.R. im Bezug zu sog. Domänenmodellen, bzw. Domänenobjekten beschrieben werden, fußt dabei auf der Grundarchitektur³⁵⁶. In Bezug zur Domänenabgrenzung wurden in [Widok & Wohlgemuth, 2014 (b), S. 75 ff.] und [Widok & Wohlgemuth, 2016, S. 138 ff.] bereits domänenspezifische Überblicke veröffentlicht, welche die Trennung der sozial orientierten Logikroutinen andeuten, siehe Abb. 50³⁵⁷:

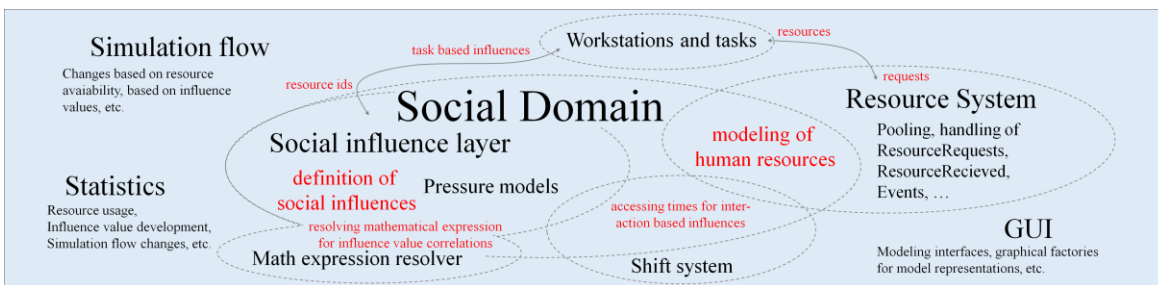


Abbildung 50: Überblick über Elemente der Domäne [vgl. Widok & Wohlgemuth, 2016, S. 138 ff.]

Resümierend ist grundsätzlich davon auszugehen, dass die Anwendungsdomäne übergeordnet die Produktionssimulation ist und sich auch die soziale „Domäne“ diesbezüglich einordnet. Die Produktionssimulation hat jedoch viele Facetten, welche im Kontext der neuen

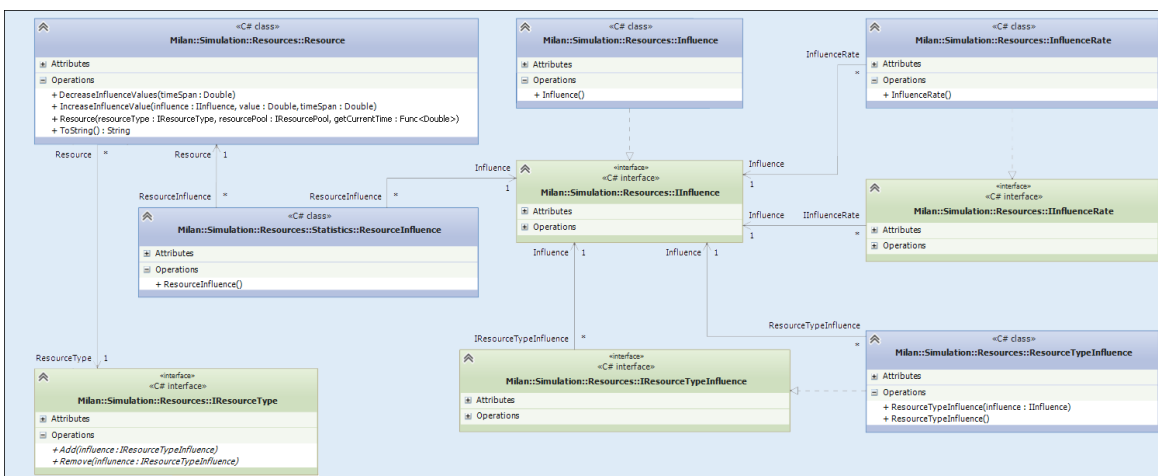


Abbildung 51: Grober Überblick über die Einflussbezüge der sozialen Domäne

³⁵⁶ Abgesehen von der Grundlage der .NET Architektur und best practices im Kontext von MVVM-Patterns sollte hier auf die von Evans formulierte Bezeichnung des „Domain driven designs“ (DDD) als eine der Grundlagen zur Herangehensweise an Spezifizierungen verwiesen werden. [Evans, 2004, S. 7]. Zudem ist auf das sog. "test driven design" im Kontext der Entwicklung hinzuweisen, was in Kapitel 6 noch aufgegriffen wird.

³⁵⁷ Dabei wurden die Einflüsse später Ressourcen zugeordnet, da jegliche Entfaltung von Wirkungen mit Ressourcen/Human-Ressourcen assoziiert wird, eine Trennung wird in Kapitel 6 noch vertieft.

Funktionen nicht von Interesse sind, weshalb für diese Arbeit auf die Einflussbezüge fokussiert wird. Einen Überblick über ressourcen- und ressourcentypspezifische Einflüsse und Einflussraten liefert Abb. 51.

Dabei wurden manche Klassen und Schnittstellen sowie die Attribute der Klassen und Schnittstellen ausgeblendet, um die wesentlichen Elemente zu betrachten, welche sich auf die verschiedenen „Typen“ von Einflüssen beziehen, je nach genereller oder bereits spezifischer Sichtweise (Humanressourcen-Typen, bspw. Männer und Frauen oder gar Ressourcentypspezifisch, bzgl. der Auswertung der dynamischen Wertentwicklung).

Was in Abb. 51 nicht fokussiert wurde, ist die Verbindung von Ressourcen mit Ressourcenpools und die Bildung von Anzahlen von Ressourcentypen zur einfachen Bereitstellung. Dies kann in Abb. 52 nachvollzogen werden.

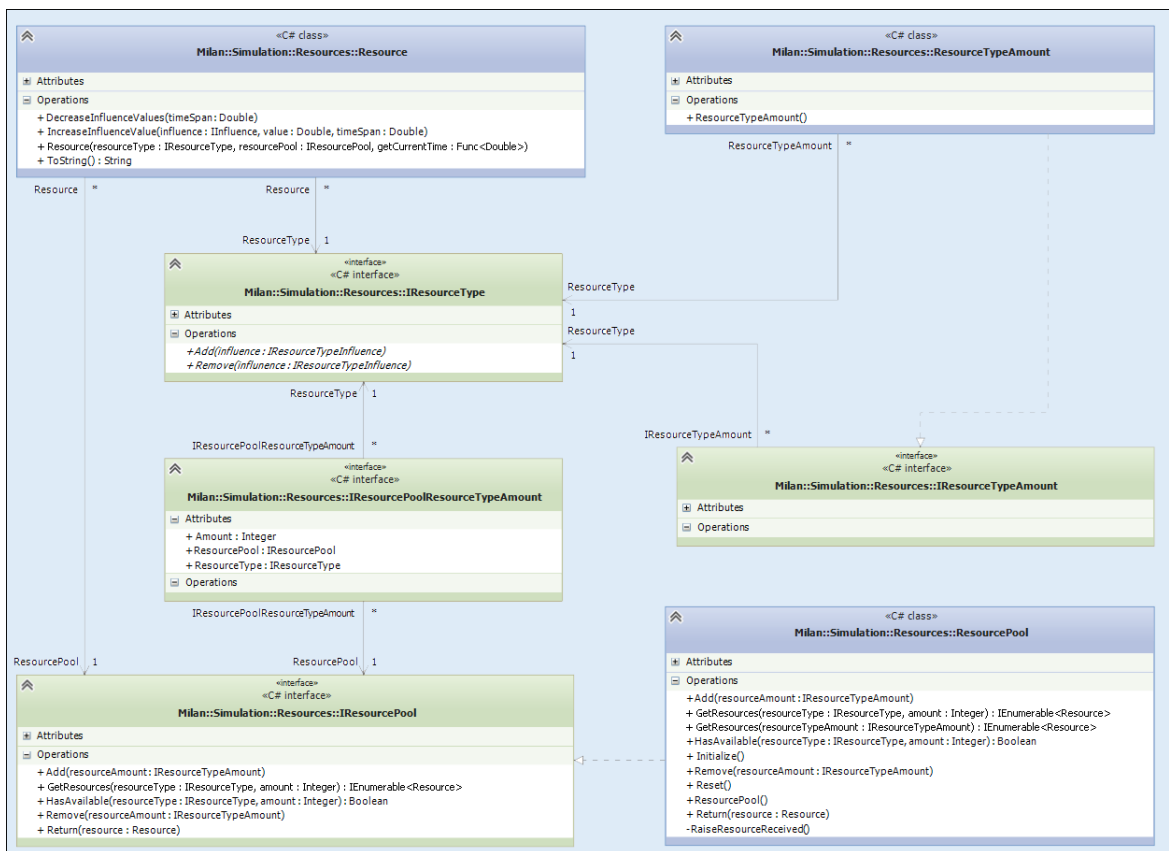


Abbildung 52: Relationen zwischen Ressourcenpools, Ressourcentypen und Ressourcen

5.3.2.2 Datenmodelle

Die finalen Datenmodelle sind ebenfalls im Anhang/in der Codebasis beigefügt und werden zudem in Kapitel 6 noch vorgestellt. Die anfängliche Konzeption bezog sich hinsichtlich der sozialen Domäne hauptsächlich auf die Einfluss- und Human-Ressourcen-Klassen, sowie die logische Verbindung zu Tätigkeiten/Arbeitsstationen und der Auswertung der entstehenden Einflüsse. Wie erwähnt mussten an den Auswertungskomponenten diverse Änderungen vorgenommen werden, weshalb diese Klassen u.a. von Relevanz sind. Abb. 53 (nächste Seite) liefert dazu einen Überblick über relevante Klassen, und wie diese anfänglich implementiert wurden.

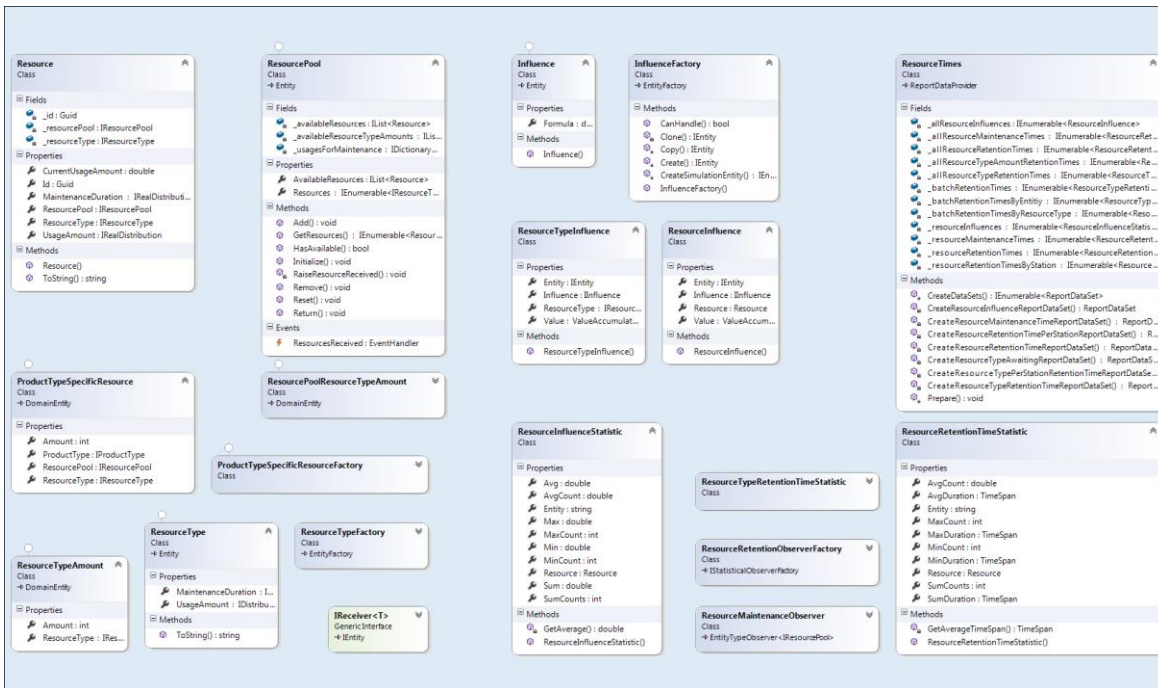


Abbildung 53: Konzeptionelle Implementierung der grundlegenden Klassen der sozialen Perspektive

Zu beachten ist hier, dass auf die Notierung der Basisklassen (Domänen-Entitäten, Entitäten, etc.) verzichtet und sich auf die Anzeige der relevanten Klassen der sozialen Domäne konzentriert wurde. Zudem ist darauf hinzuweisen, dass in der obig angezeigten Klassenübersicht einer frühen Implementierung zu Testzwecken, in Bezug zu den, in den Anwendungsfällen definierten, Datenmodellanforderungen, noch eine Diskrepanz besteht (bspw. bzgl. der Einflüsse, Schwellwerte, etc.). Diese Diskrepanz ist u.a. darin begründet, dass sich die Konzeption im Laufe der Jahre ein paar Mal an neue Erfahrungen und Tests anpasste.

Die initiale Implementierung orientierte sich hauptsächlich daran, einen Überblick über die Entwicklung von Einflusswerten zu ermöglichen, um darauf aufbauend, die weiteren Datenstrukturanforderungen für die beschriebenen Anwendungsfälle zu untersuchen. Eine erste Analyse der Einflusswertentwicklung war mit obiger Implementation bereits möglich (die bereits vorgestellt wurde in 5.2.2) und erlaubte die Spezifikation weiterer Anforderungen. Diese bezogen sich hauptsächlich auf die Ablaufroutinen, bzw. Steuerungsroutinen der Arbeitsstationen, welche für die Anwendungsfälle 6 und 7 notwendig wurden.

In dem Sinne sind die späteren Anwendungsfallbeschreibungen teilweise auf den ersten Implementierung, bzw. ihren Erkenntnissen aufbauen und obiges Datenmodell als konzeptionelles Orientierungsgerüst zu sehen. Spezifikationen der finalen Version folgen in Kap. 6.

5.3.2.3 Stakeholder-Abgrenzung und Nutzer-Interaktion

Prinzipiell müssten Anforderungen, im Hinblick auf sehr verschieden vorhandenes Fachwissen von Nutzern und entsprechend unterschiedlicher Voraussetzungen bzgl. Datenkenntnisse, Modellierungswissen und Bedienung, nach unterschiedlichen möglichen Nutzern unterteilt oder zumindest abgestuft werden. So könnten u.a. Produktionsbeauftragte,

Statistiker, Umweltbeauftragte, Arbeitsmediziner, Abteilungsleiter oder Manager das resultierende Softwareprodukt bedienen bzw. Analysen und Auswertungen für ihre Zwecke nutzen wollen. Auf solche eine Detaillierung von Nutzern und die Erstellung spezieller Anforderungsprofile wird an dieser Stelle, aufgrund des prototypischen Charakters der Softwarelösung, allerdings verzichtet (wie in der initialen Nutzer-Definition in Abschnitt 5.2.1.2 angekündigt). Allerdings kann als Erweiterung von Abb. 39 ein Ausblick gegeben werden, welchen Nutzern prinzipiell welche Arten von Dateneingaben ermöglicht werden sollten. Ein entsprechendes Anwendungsfalldiagramm ist in Abb. 54 zu sehen³⁵⁸:

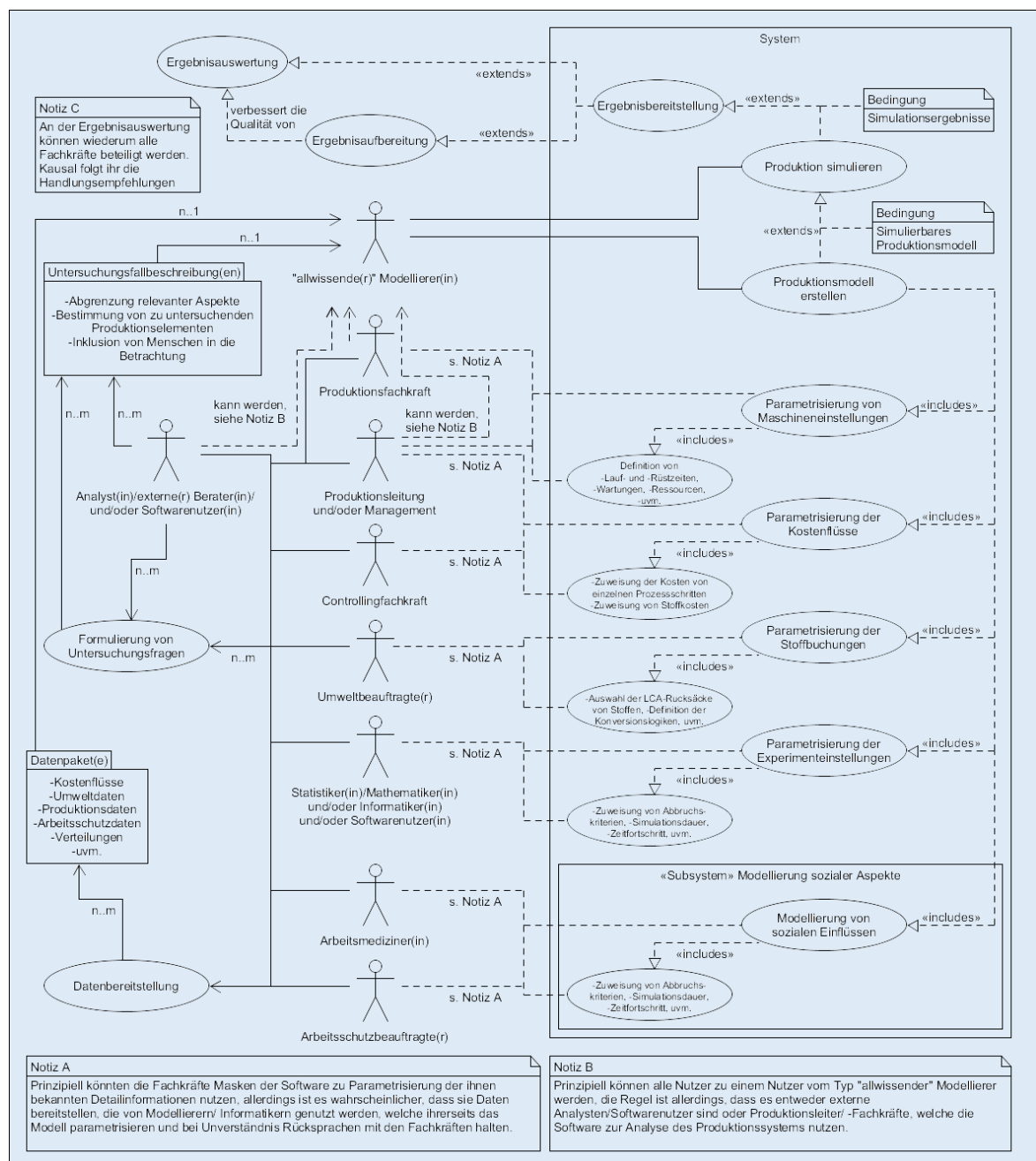


Abbildung 54: Hinweis auf die verschiedenen Dateneingaben (Masken) für verschiedene Nutzer

³⁵⁸ Grundsätzlich ist noch darauf hinzuweisen, dass im Kontext der Anforderungsdefinition nach bestimmten Vorgehensmodellen, bspw. nach Volere, auch kulturelle und politische Rahmenbedingungen einzubeziehen sind, was speziell im Kontext einer sozial orientierten Software, zusätzlichen Stellenwert haben sollte.

Als zusätzliche Beschreibung der Modellierung sozialer Einflüsse kann in Abb. 55 die initiale Konzeption des Anlegens, der Parametrisierung und der Zuweisung von Tätigkeitseinflüssen und Interaktionseinflüssen, inklusive der relevanten Daten/Klassen, nachvollzogen werden. Dabei kam es im Rahmen der tatsächlichen Implementation noch zu einigen Anpassungen, die in Kapitel 6 im Detail erläutert werden und die sich hauptsächlich auf gebildeten Schnittstellen zur Bezugsherstellung beziehen.

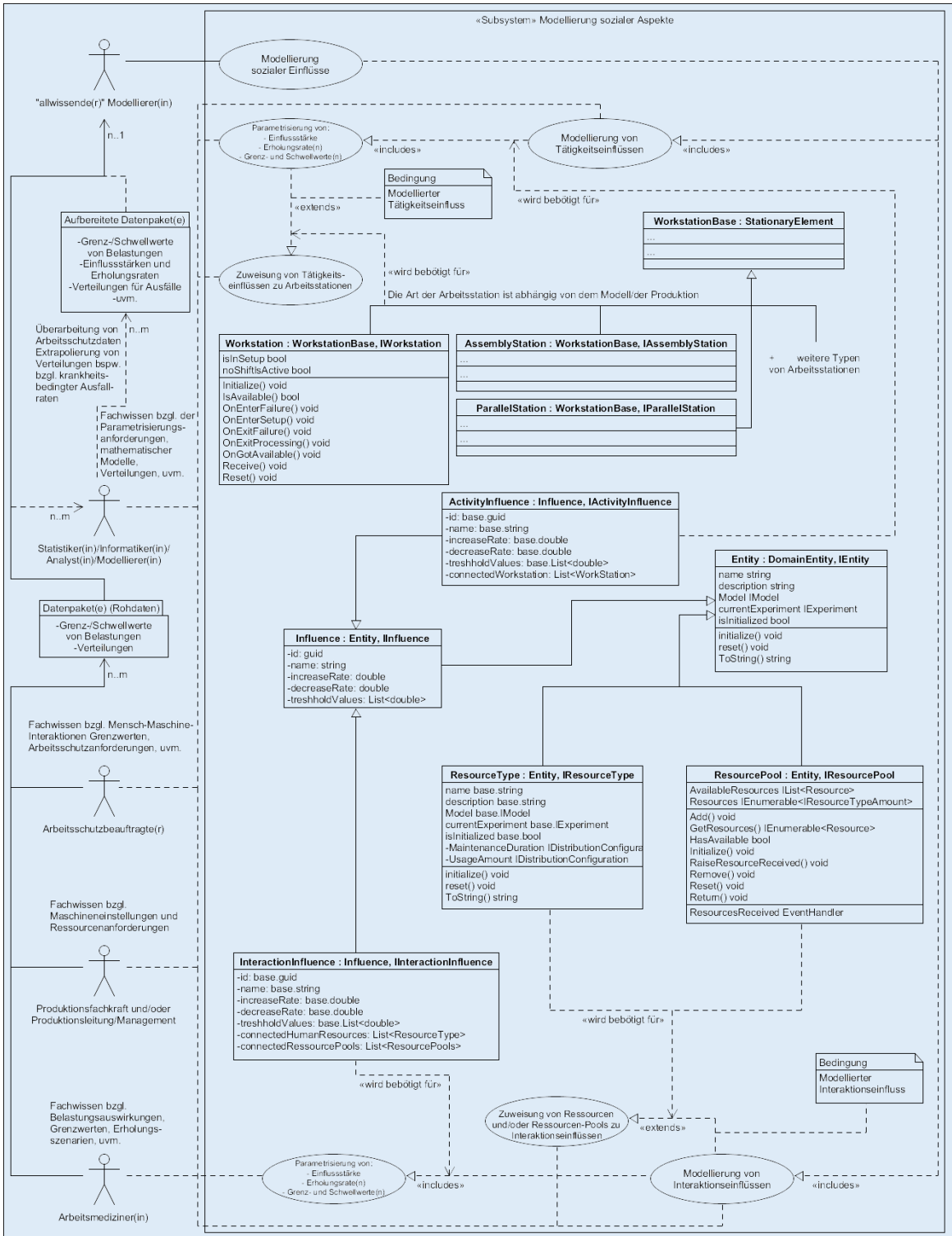


Abbildung 55: Initiale Konzeption der Modellierung von Tätigkeits- und Interaktionseinflüssen

5.3.2.4 Initial konzipierte interne Datenschnittstellen

In Analogie zu den in Abb. 53 beschriebenen Datenmodellen ergaben sich Anforderungen an interne Schnittstellen, zur Bereitstellung, bzw. zum Zugriff auf die beschriebenen Daten. Abb. 56 fasst die konzipierten Schnittstellen zur Erstellung und Parametrisierung zusammen. Dabei ist erneut darauf hinzuweisen, dass diese Basis-Implementation im Kontext der testweisen Überprüfung der Einflusswertentwicklung zu verstehen ist (siehe Kap. 6 für die aktuelle Version). Generell können die internen Schnittstellen im Bezug zur Bereitstellung der Einflüsse und Ressourcen untereinander und in Bezug auf die Arbeitsstationen verstanden werden. Dazu gibt es eine Reihe von Zwischenschichten, welche den Datentransfer vereinfachen und die Datenbereitstellung spezifizieren, sodass nicht alle Daten ausgetauscht werden müssen. Zusätzlich gibt es die Bezüge zu den Ressourcenpools, den simulationsbezogenen Observer-Klassen und den Auswertungsklassen.

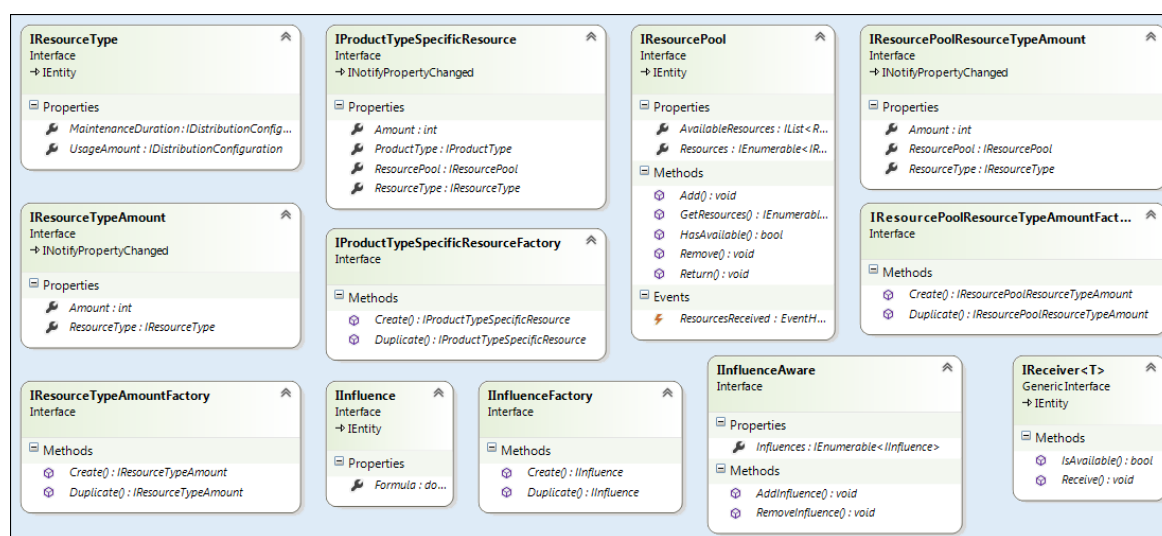


Abbildung 56: Initiale Konzeption interner Schnittstellen zur Erstellung und Parametrisierung

5.3.2.5 Externe Datenschnittstellen

Die initial konzipierten externen Schnittstellen bezogen sich auf vereinfachten Dateneingaben, bzw. Datenimporte von S-LCA Daten, Menschmodelle und auf die Auswertungen, bzw. Exporte von Simulationsergebnissen. Da es im Bezug zu S-LCA Daten zu keinerlei Anpassungen kommen musste, da beschlossen wurde, auf diese über die bestehende Anbindung zur ecoinvent-Datenbank zurückzugreifen, sobald diese auch über soziale Daten verfügen würde. Entsprechend wurde keine Weiterentwicklung des Prototyps durchgeführt³⁵⁹. Die Integration von Menschmodellen wurde, aufgrund der zusätzlichen Komplexitätsgrade für diese Arbeit ebenso ausgeschlossen, sodass als externe Schnittstellen lediglich die Datenexporte und entsprechende Anbindung an Excel und an ein JSON Format, in welches die Modelle, samt aller Elemente auch exportiert werden können, zu notieren ist. Zur Klarstellung bzgl. der S-LCA Schnittstelle ist zu notieren, dass diese in Grundform bereits besteht.

³⁵⁹ Hier ist darauf hinzuweisen, dass eine Aktualisierung der zugrundeliegenden Datenbank für die bestehende Schnittstelle höchstwahrscheinlich so oder so eine Überarbeitung erfordert hätte, dementsprechend wurde diese doppelte Weiterentwicklung zu diesem Zeitpunkt gescheut.

5.3.3 Abgrenzung der prototypischen Umsetzung

5.3.3.1 Ziel der prototypischen Umsetzung

Die prototypische Umsetzung hat das übergeordnete Ziel aufzuzeigen, dass eine hinreichend genaue Beschreibung von physiologischen Belastungskonzepten mit dem bestehenden Modellierungsansatz vereinbar ist und/oder dass die entsprechende Implementierung Simulationsergebnisse ermöglicht, die einen informativen Mehrwert erbringen, der im sozialen Bereich zu verorten ist. Der Mehrwert orientiert sich speziell an der Betrachtung des Ausmaßes und der Dynamik von physiologischen Einwirkungen, als auch auf die Verbindung dieser Perspektive mit der ökologischen und ökonomischen Betrachtung.

Als weiterer Zusatz, der allerdings als zweitrangig zu qualifizieren ist, sollen interaktionsbezogene Einflüsse prototypisch modellierbar und simulierbar gemacht werden, um für die Folge die Möglichkeit zu eröffnen, sich sozialen Interaktionsbeziehungen annähern zu können. Möglicherweise erlaubt dies, statistisch ausgewertete Daten, wie sie bspw. in der von Baumanns durchgeführten Studie dargestellt wurden (siehe Kapitel 4), reproduzieren zu können und zukünftig Konzepte zu erarbeiten nicht nur physiologische, sich auf biomechanische Systeme beziehende Einwirkungen, sondern auch abstraktere Formen sozialer Einwirkungen im Sinne eines Untersuchungszweckes hinreichend genau abbilden und simulieren zu können³⁶⁰.

Dieser Zielbeschreibung folgt für die Machbarkeitsanalyse die Prämisse, Anwendungsfälle danach zu priorisieren, welche Arbeitspakete der Implementierung dringend erforderlich für eine hinreichend genaue Abbildung physiologischer Belastungen und resultierender Einwirkungen sind. Dies schließt die individuellen oder typbezogenen Eigenschaften, die sich in Form von Resistenz oder Anfälligkeit äußern können mit ein³⁶¹.

5.3.3.2 Anforderungen der prototypischen Umsetzung

Zusätzlich zu den in den Anwendungsfallbeschreibungen determinierten Funktionalitätsbeschreibungen und der wohldefinierten Konzeption dieser Klassen und Schnittstellen, wurde mit weiteren Entwicklungsaufwand für die konzeptionelle Ausarbeitung von Schnittstellen, bzgl. der Bereitstellung von Grundfunktionalitäten gerechnet. So wurden bisher Aspekte

³⁶⁰ Unter dieser Prämisse sind die Anwendungsfälle, die sich auf die tätigkeitsbezogenen Einflüsse beziehen von größerem Stellenwert, als die, die sich auf interaktionsbezogene Einflüsse beziehen. Gleichwohl sind die zusätzlichen Anforderungen bspw. an Anwendungsfall 2 relativ gering, was eine simultane Implementierung begünstigte. In dem Sinne wurden Teilaspekte aller Anwendungsfälle, nicht nur nach dem Grad der Zielerfüllung ausgesucht, sondern teilweise auch entsprechend zusätzlichem Implementierungsaufwand entschieden.

³⁶¹ Diesbezüglich ist zu bedenken, dass es sowohl zu Abstraktion als auch Idealisierung kommen muss, da die Einwirkungen auf biomechanische Systeme von Menschen sich mit jeglicher Bewegungsänderung anpassen und diese Komplexitätsstufe mit dem bestehenden Modellierungsansatz nicht erreicht werden kann. Dazu bräuchte es den erwähnten Import von Daten von Sensoranzügen, wobei auch bei diesen darauf hinzuweisen ist, dass anhand individueller Bewegungsprofile, Daten von verschiedenen Schichten und verschiedenen Menschen zur Auswertung höchstwahrscheinlich aggregiert und Durchschnitte gebildet werden würden, welche hinsichtlich der individuellen Belastung nicht zwangsläufig für jedes Individuum passgenaue Hinweise ermöglichen würde. In dem Sinne braucht es bzgl. einer möglichen Optimierung eine grundsätzlich Orientierung an der Gefährdungsvermeidung, die sich entsprechend an den Minimalwerten der Gefährdungsentstehung orientiert. Diese Orientierung ist voraussichtlich auch mit der hier gewählten Abstraktionsstufe möglich.

der Persistenz, der Beschreibung von grafischen Schnittstellen und internen Logik weniger betrachtet. Dies hat einerseits den Grund, dass in diesen Punkten bereits erhebliche Vorarbeiten bestanden und demnach auf entsprechende Komponenten zurückgegriffen werden konnte und andererseits die Elemente sich nicht auf die eigentliche Funktion der neuen Komponenten bezogen, sondern diese „nur“ ermöglichen. Gleichwohl war im Bezug zu den Anforderungen der prototypischen Umsetzungen damit zu rechnen, dass die visuelle Darstellung und Parametrisierbarkeit, die Persistenz der neuen Modellelemente, die Anpassungen der Logikroutinen und die Auswertungen zu weiterem Entwicklungsaufwand führten. Zudem wurden auch Anpassungen an anderen bestehenden Systemen notwendig, da neue Verknüpfungen nicht bei allen Elementen per se möglich waren und/oder zusätzlich spezifiziert werden mussten (wie bspw. beim erwähnten Fall der notwendigen Anpassungen an den Auswertungskomponenten).

Grundsätzlich kann bzgl. der sinnvollen Nutzung des Prototyps zudem die Notwendigkeit von entsprechenden Daten und Untersuchungsfragen definiert werden. Diese waren für die Fertigstellung des Prototyps nicht per se notwendig, allerdings ergeben sich oftmals neue Anforderungen erst aus der logischen Konfrontation mit Daten(-modellen) und Untersuchungsfragestellungen. Ferner braucht jegliche Validierung entsprechende Referenzen, an denen man die Simulationsergebnisse abgleichen kann.

5.3.3.3 Einschränkungen der prototypischen Umsetzung und Machbarkeitsanalyse

Auf Basis der im vorherigen Abschnitt determinierten Prämisse des Fokus auf Tätigkeitseinflüsse wurden die Anforderungen aus den Anwendungsfällen 1, 3 und 5 priorisiert. Einerseits geschah dies aus dem Grund, dass sie die Kernaspekte der Abbildung physiologischer biomechanischer Einwirkungen beinhalten und andererseits aus dem Grund, dass sie eine relativ einfache Rückwirkung auf den Simulationsablauf implizieren (der natürlich auch sehr kompliziert werden kann bei entsprechenden Anpassungen).

Bzgl. der Interaktion zwischen Menschen und Stoffen, ist darauf hinzuweisen, dass die Bezugsherstellung durch die konzipierte Tätigkeitszuweisung von Menschen und Arbeitsstationen zustande kommt. Eine relative Auswertung der stofflichen Einflüsse erfordert allerdings wiederum die Definition von Grenz- und Schwellwerten. Hier wurde geprüft, ob eine automatische Zuordnung dieser Schwellwerte auf Basis der bestehenden Stoffverbindungen zu den Arbeitsstationen, bzw. Tätigkeiten möglich wäre. So gibt es (arbeitsschutzrechtliche) Listen von Grenzwerten für sehr viele chemische Stoffe. In Anbetracht der zwangsläufig notwendigen Definition von Einflussstärken, die sich darauf bezieht, dass Arbeitsprozesse über spezifische Ausprägungen der menschlich-stofflichen Interaktion aufweisen, wurde logisch gefolgert, dass die manuelle Parametrisierung von Einflüssen notwendig wäre. Dies schließt sich daraus, dass aus der Konversionslogik der Arbeitsstationen und ihrer Interaktion mit Menschen sich nicht zwingend die menschliche Interaktion mit den relevanten Stoffen folgern lässt und die Einflussstärken entsprechend zusätzlich parametrisiert werden müssen. Auf Basis dieser notwendigen manuellen Parametrisierung wurde die Eintragung der Grenzwerte hinsichtlich des bestehenden Modellierungskonzeptes als, im Hinblick der Untersuchungsfrage unwesentlich, zusätzlicher Modellierungsaufwand gekennzeichnet und

von einer automatischen Zuweisung von Grenzwerten der stofflichen Belastung abgesehen. Hier ist zudem darauf hinzuweisen, dass es auch betriebsbedingte Anpassungen an Grenzwerten geben kann und es somit in der Praxis, je nach Branche, Unternehmen und den handelnden Akteuren wiederum zu Anpassungen an Vorschriften kommen kann. Wobei in der Regel, auch im Kontext der arbeitsschutzrechtlichen Konsequenzen von einer Verschärfung, denn von einer Lockerung von Grenzwerten auszugehen ist.

Zusätzlich zu der Einschränkungen der automatischen Integration von stofflichen Grenzwerten, wurden die Anpassungen an den lebenszyklusorientierten Komponenten bzgl. der S-LCA Integration nicht implementiert. Es bestand zwar die Hoffnung, dass bis zur Fertigstellung der Arbeit die genutzte Datenbank über eine Aktualisierung bzgl. sozialer Kriterien verfügen würden und es diesbezüglich zu einer Erweiterung der Lebenszyklussicht kommen könnte, die Aktualisierung steht allerdings noch aus. Eine Integration anderer Datenbanken erwies sich als sehr aufwendig, da diverse Bezüge spezifisch abgestimmt wurden und die bestehenden Anforderungen bereits ein erhebliches Maß an konzeptioneller und Implementierungsarbeit erforderten.

Die Modellierung und Auswertung von Interaktionseinflüssen wurde nur rudimentär umgesetzt. Das bedeutet, dass sowohl Modellierung und Auswertung von Interaktionseinflüssen im System per se möglich sind, die Komponenten allerdings nicht die Güte besitzen und nicht vollständig durch Tests abgedeckt sind, wie es bei Tätigkeitseinflüssen der Fall ist.

Die Einbindung von physiologischen Belastungs-/Beanspruchungskonzepten, in Form von sog. Dosis-Konzepten wurde mehrfach prototypisch implementiert, allerdings müssten für eine sinnvolle Integration verschiedene zusätzliche Komponenten entwickelt werden, welche Umrechnung anbieten, die im Grunde nur Berechnungsaufgaben vereinfachen würden. Aufgrund der teilweise komplexen Umrechnungen wurde und nur geringfügig erhöhten Funktionalität wurden auch diese Eingliederungen im Rahmen der prototypischen Umsetzung ausgeklammert.

Grundsätzlich kann zusammengefasst werden, dass sich die prototypische Umsetzung einerseits an existierenden Fallbeispielbeschreibungen orientierte, um diese in ihrer Gänze abbilden und durchrechnen zu können. Darüber hinaus wurde auf die Erbringung des Nachweises, dass verschiedene soziale Aspekte, wie auch Interaktionseinflüsse mit dem beschriebenen Modellierungsansatz abbildbar, parametrisierbar und berechenbar sind, fokussiert. Das erste Anwendungsbeispiel (in Kapitel 7) bezieht sich diesbezüglich auf verschiedene Hebevorgänge zum Befüllen von Maschinen und von Lagern und das zweite auf repetitive Tätigkeiten (Hämmern) mit unterschiedlichen Belastungsgraden (bzgl. ergonomischer Einschränkungen, auch Haltevorgänge und das Führen von Metallrohren). Diese beiden Fallbeispiele erforderten diverse Implementierungsanforderungen, welche jedoch grundsätzlich mit der konzipierten Methodik und ihrer Umsetzung abgedeckt werden konnten.

Um einen resümierenden Überblick über die Konzeption zu ziehen, werden in der Folge die wichtigsten Aspekte, wie datentechnische Verbindungen und Modellierungsansätze, noch einmal in Kürze zusammengefasst, um darauf folgend den Prototypen in seinem Leistungsspektrum vorzustellen.

5.3.4 Zusammenfassung

5.3.4.1 Ressourcenorientierung der softwaretechnischen Umsetzung

Der konzeptionell entworfene Ansatz orientiert sich an den Möglichkeiten der Abbildung menschlichen Wirkens als Ressourcen in einem Produktionssystem, mit der gleichzeitigen Möglichkeit der Beschreibung von sozialen Einflüssen als messbare Wirkungen die von den zu erledigenden Aufgaben der menschlichen Ressourcen in ihrem Arbeitssystem oder ihrer Interaktionen ausgehen, siehe Abb. 57 für einen Überblick und Mengenbeschreibungen.

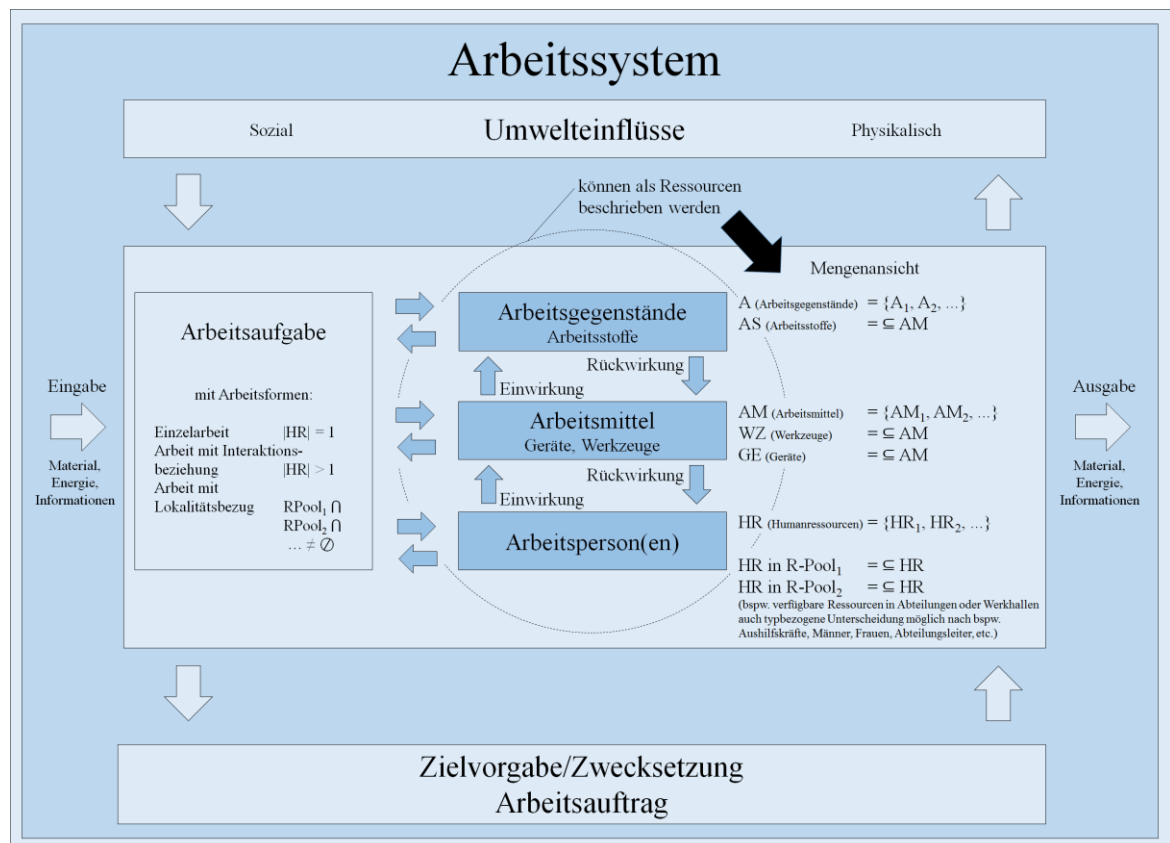


Abbildung 57: Arbeitssystem/Ressourcen [vgl. Brüggmann, et al., 2003, S. 76], [vgl. Schlick, 2011, S. 9]

5.3.4.2 Modellierung und Berechnung von Tätigkeitseinflüssen

Durch die Definition und Parametrisierung von Tätigkeitseinflüssen im Simulationssystem können unterschiedliche Sachverhalte adressiert werden, sie können sich beziehen auf:

- Mensch-Maschine-Interaktionen (bspw. Hebevorgänge zur Befüllung, Haltevorgänge zur Führung von Werkstoffen in Maschinen, etc.)
- Interaktionen mit Werkzeugen und Geräten (bspw. Vibrationen bei der Führung von automatischen Hämmern, Ergonomie bei der Nutzung von Gabelstaplern, etc.)
- Stoffliche Einwirkungen (bspw. Einwirkung der Aussetzung von Kühlschmierstoffen, Gasentwicklung beim Befüllen, etc.)
- Umgebungseinwirkungen (bspw. Abluft, Hitzeentwicklung, die nicht spezifisch Maschinen zuzuordnen sind, Lärmentwicklung, etc.), siehe z.B. [Oates, et al., 2011, S. 225] für ein umfassendes MFA Beispiel und entsprechende formale Notationen.

Dabei werden Tätigkeitseinflüsse Arbeitsstationen zugewiesen und durch die Verbindungen von menschlichen Ressourcen zur Betriebsvoraussetzung dieser Arbeitsstationen der Bezug zwischen Einflüssen und Humanressourcen hergestellt.

Für Tätigkeiten, welche keine direkte Verbindung zu Arbeitsstationen haben, bzw. die für die Konversionslogik der durch das Produktionssystem laufenden Produkte oder Teilprodukte irrelevant sind (bspw. Lager- oder Wartungsarbeiten, sowie Werkzeugbearbeitung, welche sich nicht direkt auf die Produktion auswirken), können „leere“ Arbeitsstationen angelegt werden. Diese sind für den Produktionsfluss nicht von Bedeutung, ermöglichen aber die Untersuchung (Modellierung, Messung und Auswertung) von Einflüssen ohne zusätzliche Implementierungen.

Die Einflüsse können mit verschiedenen Grenzwerten modelliert werden, welche ihrerseits durch menschliche Eigenschaften und/oder andere Einflüsse beeinflusst werden können. Für den Fall der starken Einwirkungen auf menschliche Ressourcen, kann es zum produktionsrelevanten Ausfall der Humanressourcen kommen. Der Ausfall kann sowohl kurzfristige, als auch langfristige Auswirkungen auf den Produktionsfortschritt haben. Dies kann implizieren, dass Ressourcen durch andere verfügbare Ressourcen sofort ersetzt werden, oder das zeitverzögerte Ersetzen, bis hin zum Simulationsabbruch, bzw. –ende. Folgewirkungen, wie bspw. höhere Arbeitsbelastung von Mitarbeitern werden dadurch nachweisbar.

Die Genauigkeit von ergonomischen, biomechanischen Modellen wird dabei bzgl. der gewählten Modellierungsmethodik nicht erreicht, allerdings ist diese im Kontext der grundsätzlichen Belastungseruierung verschiedener Tätigkeiten nicht zwingend erforderlich. Anders formuliert, kann das System mit der bestehenden Berechnungslogik grundsätzliche Belastungsszenarien durchspielen, die sich hauptsächlich auf Auslastungsbezüge und zeitbezogene Expositionen von bekannten Belastungen beziehen. Für eine biomechanisch genaue Untersuchung bräuchte es entweder sehr genaue Belastungsdaten bzgl. der Einwirkungsintensität und ihrer Dauer oder die Falluntersuchung in Laboren. Bei einer hinreichend genauen Datenbasis sind auch mit dem bestehenden Ansatz genaue Auswertungen möglich. Physiologische Reaktionen müssen zudem grundsätzlich im Einzelfall untersucht werden. Das bestehende System ist diesbezüglich eher darauf ausgelegt, Überblicke über Belastungsentwicklungen, die Gefährlichkeit von repetierten (Über-)Belastungen und die Auswirkungen von Zeitmodellen, bspw. verschiedene Schichten zu ermöglichen. Zudem können klassische Vergleichsanalysen von Prozessen, speziell im Kontext der Nachhaltigkeit, nun auch um eine soziale Komponente erweitert werden.

5.3.4.3 Modellierung und Berechnung von Interaktionseinflüssen

Interaktionseinflüsse wurden im Prototyp nur rudimentär implementiert, d.h., die manuelle Parametrisierung von Wirkungen der Interaktion zwischen Menschen und Gruppen ist prinzipiell möglich, bleibt allerdings ohne Fallbeispiel. Durch die gleichzeitigen Bezüge zu Humanressourcen und Ressourcenpools sind u.a.:

- Interaktionseinflüsse im Sinne von zwischenmenschlicher Kooperation und
- Interaktionseinflüsse im Sinne von organisatorischer Kooperation möglich.

Die Ressourcenpool-Zuordnung kann zudem genutzt werden, um verschiedene Arbeitskonzepte, wie u.a. Gruppenarbeit oder Einzelarbeit, abzubilden und hinsichtlich der Wirkung auf das Produktionssystem zu untersuchen (siehe auch Abb. 57).

Die Interaktionseinflüsse waren eingangs hauptsächlich als Indikatoren von positiven oder negativen Wirkungen zwischenmenschlicher Interaktionen konzipiert. Die organisatorische Betrachtung könnte allerdings genutzt werden, um verschiedene Arbeitsmodelle hinsichtlich der Produktivität von Mitarbeitern zu überprüfen. Die Produktivitätsüberprüfung kann als weiterer Anwendungsfall notiert werden, der allerdings nicht Bestandteil dieser Arbeit ist. Das hat zwei hauptsächlich Gründe, einerseits dass die Produktivitätsveränderung auf Basis von Einflüssen in der Literatur oft nur qualitativ beschrieben wird. Es gibt auch quantitative Zuordnungen³⁶², allerdings waren diese nicht ausreichend, um entsprechende Modelle zu erstellen ohne zusätzliche Daten aus Unternehmen. Ferner besteht bei der Fokussierung auf Arbeitsproduktivität ein höherer Wahrscheinlichkeitsgrad, dass der Ansatz zur Grundlage von ökonomischen Optimierungen wird und im Kontext des Sozialen, bzgl. Rationalisierungsprozessen und/oder vergleichbaren Intentionen eingeordnet wird. Auch wenn Möglichkeiten bestehen, aufzuzeigen, dass sich z.B. ausreichende Erholung positiv auf die Wirtschaftlichkeit von Produktionen auswirkt, sollte die bestehende Konzeption und Realisierung ohne den zusätzlichen ökonomischen Fokus realisiert werden.

Zudem sind Aspekte unterschiedlicher Befähigung von Mitarbeitern als Erweiterungen zu bedenken. So können bereits verschiedene Typen von Humanressourcen unterschiedliche Gruppen von Mitarbeitern definieren, bspw. Meister und Lehrlinge. Eine Verknüpfung der Arbeitsstationen mit Eigenschaften dieser Ressourcen, vergleichbar wie es bei Tätigkeitseinflüssen geschieht, ist möglich. Dadurch könnten verschiedene Leistungsniveaus von Mitarbeitern dargestellt werden³⁶³, auch abstrakte Konzepte wie Talentförderung oder Ausbildung³⁶⁴ würden mit dieser Modellierung simulierbar werden. Aufgrund der Komplexitätsgrade und der Möglichkeit, entsprechende Umsetzungen im Kontext der negativ-Betrachtung von Mitarbeitern auszunutzen wurde dieser Anwendungsfall im Prototyp nicht eingebunden³⁶⁵. In der Zukunft wäre es angeraten bzgl. Interaktionseinflüssen mit Psychologen hinsichtlich der Ausweitung entsprechender Komponenten zusammenzuarbeiten.

5.3.4.4 (S-)LCA Daten und betriebsexternes Wirken

S-LCA Daten können theoretisch über die bestehende Schnittstelle zu einer LCA-Datenbank eingebunden werden. Aufgrund der Abwesenheit einer Aktualisierung der Datenbank mit sozialen Daten wurde die Integration und konzeptionelle Überarbeitung der Auswertungsroutinen hinsichtlich produktionsexterner Wirkungen nicht in dieser Arbeit integriert.

³⁶² Zu notieren ist die Einbindung von Zülch und Becker, die Menschen auch als Ressourcen in einem Simulationssystem abgebildet haben, allerdings hauptsächlich Auswertungen bzgl. dem „*Variationskoeffizienten der Personalauslastung*“, dem „*Ausbringungsgrad innerhalb eines Auswertungszeitraumes*“, „*die Betriebsmittelnutzung sowie die Personalauslastung*“ als Ergebnisse diskutieren [vgl. Zülch & Becker, 2008, S. 383].

³⁶³ Dies kann bspw. umgesetzt werden durch veränderte Ausschussraten an Maschinen, Qualitäts- oder Quantitätsunterschiede des Outputs, je nachdem welche Gruppe von Humanressourcen zugeordnet ist.

³⁶⁴ Eben diese sind im Rahmen von nachhaltigen Strategien von besonderer Bedeutung, um Produkt- und Prozessinnovationspotentiale zu schaffen [vgl. Vollmer, 2008, S. 56], [vgl. Fletcher & Friese, 2008, S. 67 f.].

³⁶⁵ Als Hintergrundinformation ist hier zu nennen, dass in einem Unternehmen (nicht in den in Kapitel 7 vorgestellten) ein Produktionsleiter darauf hinwies, dass immer wenn, er eine bestimmte Person einer Maschine zuteilt, die Ausschussrate um ein Vielfaches steigt.

6 Prototypische Umsetzung und Leistungsspektrum

6.1 Softwaretechnische Grundlagen und Entwicklungshintergründe

6.1.1 Entwicklungsspezifische Grundlagen und genutzte Systeme

6.1.1.1 Vorbemerkung

Abschnitt 6.1 wird auf die genutzten Softwaresysteme zur Erstellung und zur Bearbeitung der Simulationssoftware eingehen und einen Überblick über die relevantesten Komponenten geben (6.1.3). Dies soll dem Verständnis der Codebasis und der persistierten Modellnotationen dienen. Darüber hinaus werden die Grundlagen der softwaretechnischen Konzepte, die zur Erstellung des Prototyps genutzt wurden, und diejenigen, die für die Kommunikation der Komponenten untereinander von Relevanz sind, erläutert. Für die Referenz auf aktuelle Ansätze der Softwareentwicklung und sog. Entwicklungspatterns wird dazu teilweise auf Internet-Links verwiesen, um nicht Grundlagenwissen in dieser Arbeit zu wiederholen. Hier ist zu bedenken, dass aufgrund der rasanten Entwicklungssprünge der Softwareentwicklung vielfach Dokumentationen im Internet beschrieben werden und bspw. kleine Entwicklungsrahmenwerke seltener oder nur verspätet Einzug in die Standardwerke der Literatur finden. Daher erhöhen sich in diesem Kapitel Verweise auf Internetbezüge/-quellen.

6.1.1.2 .Net Framework und Programmiersprache C#

Wie in Abschnitt 5.1.2 erwähnt, wurden die in dieser Arbeit entwickelten Komponenten für die bestehende Simulationssoftware MILAN entwickelt. Die aktuelle Version von MILAN nutzt dabei die .NET-Architektur als generelle Softwareumgebung und Grundlage. Die verschiedenen Komponenten sind hauptsächlich in der Programmiersprache C# beschrieben. Zur Erstellung der Komponenten wurde die Entwicklungsumgebung Visual Studio (erst 2012 Professional, dann 2015 Community Edition) genutzt. Zusätzlich wurden weitere Entwicklungs-Rahmenwerke genutzt, welche dazu führen, dass der Code teilweise nicht einer rein C#-üblichen Notation entspricht und/oder ganze Dateien in anderen Sprachen geschrieben sind. Die programmiersprachlichen Unterschiede beziehen sich hauptsächlich auf:

- Extensible Application Markup Language-Dateien oder auch XAML-Dateien, in denen in der Windows Presentation Foundation die visuellen Nutzerschnittstellen beschrieben werden,
- JSON-Dateien und -Formate, die zur Persistierung genutzt werden,
- LINQ zur Vereinfachung von Abfragen (bspw. bei foreach-Verschachtelungen),
- Caliburn Micro, u.a. zur Vereinfachung von sich wiederholenden Schreibweisen (speziell im Bezug zur Ausführung von Aktualisierungen bei der Veränderung von Eigenschaftswerten (Integration der Schnittstelle „INotifyPropertyChanged“)).

Die entsprechenden Systeme werden, falls sie im Anwendungsfall von Relevanz sind, in den entsprechenden Abschnitten dieser Arbeit genauer erläutert und in der Folge kurz hinsichtlich ihrer generellen Funktionalität und ihrer Bedeutung für den Prototyp konkretisiert.

6.1.1.3 Windows Presentation Foundation als Grundlage des Prototyps

Als Unterbau und zur Nutzung der Trennung von Modellen, visuellen Darstellungen und Logikroutinen greift der bestehende Prototyp auf die Windows Presentation Foundation (WPF) zurück³⁶⁶. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass gerade bzgl. der Bereitstellung von sich wiederholenden grafischen Elementen und ihren logischen Implikationen die Architektur der WPF eine deutliche Vereinfachung der Bereitstellung von Funktionalitäten im Vergleich zu früheren MILAN-Anwendungen, die in den Vorarbeiten in Kapitel 5 referenziert wurden, impliziert. Im Abgleich zu der letzten Version, die auf EMPINIA basierte, ist darauf hinzuweisen, dass die EMPINIA-Architektur zur Einbindung von Elementen auf teilweise umständlich zu wartende XML-Notationen zurückgreift. Das Problem dieser Notationen ist, dass aufgrund der textbasierten Schnittstellenbeschreibungen in sog. „Extension-points“, Fehler nicht automatisch von der genutzten Entwicklungsumgebung erkannt werden konnten. Bei einer Mehrfachnennung von Bezügen, welche ein Standard war, kam es zusätzlich zu oftmals sehr langen manuellen Suchprozessen, um die gesuchten Verbindungen zu finden und/oder zu korrigieren. Im Gegensatz dazu ist die Einbindung von ViewModels, welche grafische Modelle darstellen und inklusive ihrer logischen Unterbauten als fertige Funktionalitäts- und Darstellungspakete klassifiziert werden können, in der WPF-Architektur wesentlich vereinfacht. Zwar greifen sie ebenso auf eine Auszeichnungssprache (englisch markup language) XAML zurück, die ihrerseits auf XML basiert. Der große Unterschied ist allerdings, dass XAML Dateien prinzipiell vom prüfbareren Code erstellt, sie teilweise selbst automatisch überprüft werden können (zumindest mit Erweiterungen) und die Anzahl an textbasierten Bezügen aufgrund der mitgelieferten Architektur von Microsoft einfacher zu überprüfen ist. Zudem besteht bei einer falschen Einbindung ein direktes Feedback von der genutzten Entwicklungsumgebung, wie bspw. Visual Studio. Darüber hinaus bestehen diverse grafische Vorteile, die mit der Weiterentwicklung der grafischen Komponenten zusammenhängt. Gleichzeitig ist darauf hinzuweisen, dass auch in EMPINIA WPF Elemente einzubinden sind, allerdings hier zu trennen ist, zwischen einem WPF-basierten Unterbau der Applikation und der Nutzung von WPF-basierten Formularen für die visuellen Editoren. Die weiteren Vorteile, im Rahmen der prototypischen Entwicklung, werden in den folgenden Abschnitten im Anwendungskontext ausgeführt.

6.1.1.4 Caliburn Micro zur Vereinfachung von Zuweisungen

Caliburn Micro ist ein kleines aber mächtiges Rahmenwerk, welches besonders auf XAML basierende Codeelemente und die Beschreibung ihrer Verbindungen vereinfacht. Es tut dies, indem die notwendigen Codebeschreibungen, u.a. zur Verbindungen zwischen Views und ViewModels, teils reduziert, teils besser überprüft werden können. Diesbezüglich werden, bei der Nutzung des Rahmenwerks und der Übereinstimmung mit seinen Notationen³⁶⁷,

³⁶⁶ Siehe auch <https://msdn.microsoft.com/de-de/library/aa970268%28v=vs.110%29.aspx> für weitere Informationen zur WPF Architektur und Beispielumsetzungen mit WPF-basiertem Applikationsunterbau. Dabei ist besonders auf die sog. Shell-Architektur hinzuweisen.

³⁶⁷ Die Notationen berufen sich dabei u.a. auf exakt gleiche Namensgebungen bei den Beschreibungen von Views und ViewModels, die folgend automatisch zugeordnet werden können und im Abgleich ihrer aufeinander verweisenden Funktionalitäten (teilweise) auch automatisch überprüft werden können. Dies ist ohne das Rahmenwerk i.d.R. nicht möglich und erleichtert so die Entwicklungsarbeit stark.

viele Beschreibungen überflüssig, die sonst explizit im Code beschrieben werden müssten. Dies betrifft u.a. Aktionen, Datenverbindungen (data binding), das bloße Auffinden, bzw. die automatische Zuordnung von passenden Views für die ViewModels sowie string und lambda basierende Veränderungsmeldungen von Eigenschaften (Integration von „INotifyPropertyChanged“) und viele weitere. Sinngemäß kann die Nutzung des Rahmenwerks zusammengefasst werden damit, dass einerseits die Masse zu schreibenden Codes reduziert wird (besonders in Bezug auf die sich wiederholenden Herstellungen von Bezügen) und andererseits die Fehleranfälligkeit dadurch reduziert wird, dass string basierende Zuweisungen zusätzlich überprüfbar gemacht werden (von der Entwicklungsumgebung, durch die Ersetzung mit lambda-basierenden Ausdrücken). Zudem werden alle „property change events“ automatisch im UI-Thread aufgerufen (siehe auch Marshaling)³⁶⁸.

6.1.1.5 LINQ zur Vereinheitlichung von Datenabfragen

Als weiterer sprachlicher Unterschied zu reinem C#-basierten Code sind im bestehenden Prototypen oftmals LINQ-Ausdrücke zur Abfrage von Daten, hauptsächlich in abgewandelten foreach-Schleifen. Diese Modifikationen sind vergleichsweise marginal, machen allerdings komplexere Abfragen i.d.R. einfacher lesbar und fehlerresistenter. LINQ wurde prinzipiell dafür entworfen, unterschiedliche Sprach-, bzw. Datenformate mit den gleichen Notationen abfragen zu können. Gerade bzgl. der Unterschiede von SQL basierten und XQuery basierten Abfragen, besteht mit LINQ ein Ansatz, der sich sowohl auf XML Dokumente, SQL Datenbanken, ADO.NET Datenbanken und .NET Objekte beziehen kann und dabei immer die gleichen objektbezogenen Abfragen durchführt. Diesbezüglich kommt es durch die Orientierung an einem einzigen konsistenten Modell für Abfragen zu weniger Verwirrungen und einer Vereinfachung von Abfragen. Zusätzlich ist zu notieren, dass das genutzte Werkzeug ReSharper eine automatische (durch Klicken ausführbare) Umwandlung von C#-Schleifen in LINQ-Abfragen durchführen kann, was gerade LINQ-Anfängern den Einstieg in die Abfragen-Definition erleichtert und den Umgang mit der neuen Notation schult.

6.1.1.6 JSON zur Persistierung

Zur Persistierung der Modelle wird in der Software MILAN ein JSON-Format genutzt. Dabei steht JSON für JavaScript Object Notation und wird, wie der Name bereits andeutet, hauptsächlich als Datenformat zur Serialisierung, d.h. zur sequenziellen Darstellung und Speicherung von strukturierten Daten/Objekten, genutzt. Als Zeichenkodierung benutzt JSON standardmäßig UTF-8 wobei auch UTF-16 und UTF-32 möglich sind. Als großer Unterschied zu den auch oft im gleichen Anwendungsrahmen genutzten XML-Notierungen ist die vereinfachte Lesbarkeit von JSON-Dateien anzuführen, die auf die generell übersichtlichere Gestaltung zurückzuführen ist. XML ist dabei generell mächtiger, da JSON lediglich ein Datenaustauschformat darstellt. Diese Einfachheit von JSON-Dateien führt allerdings dazu, dass diese mehr und mehr im Kontext der einfachen Speicherung von Objekten Anwendung finden, auch da die komplexeren Möglichkeiten der Auszeichnungssprache XML grundsätzlich nicht bei der einfachen Persistierung von Objekten erforderlich sind³⁶⁹.

³⁶⁸ Für weiterführende Informationen siehe <http://caliburnmicro.com/>

³⁶⁹ Für weiterführende Informationen siehe <http://json.org/>

6.1.2 Testgetriebene Entwicklung mit Visual Studio 2015 und dotCover

6.1.2.1 Kurzbeschreibung testgetriebener Entwicklung

Aufgrund der Komplexität der Simulationssoftware und im Besonderen aufgrund der Verknüpfungshäufigkeiten, die durch die Beschreibung sozialer Einflüsse im Code noch zunehmen, wurden Teile des Prototyps mittels testgetriebener Entwicklung umgesetzt.

Testgetriebene Entwicklung (engl. test-driven-development, TDD) steht für eine softwaretheoretischen Methode, die sich vereinfacht darauf bezieht, Tests für neue Funktionen vor der eigentlichen Implementation der Funktionen zu schreiben, was auch mit der Formulierung „tests first“ beschrieben wird. Diese Vorgehensweise impliziert, dass die initiale Überprüfung der Funktion(en) durch den Test initial nicht bestanden und somit ein funktionales Entwicklungsziel definiert wird, welches in der Folge durch die Programmierung erfüllt werden muss³⁷⁰.

Um die hauptsächlichen Hintergründe und Vorteile kurz zu umreißen, kann angeführt werden, dass gerade bei komplexeren, stark verknüpften Anwendungen sich eine solche Vorgehensweise anbietet, um sicherzustellen, dass die neuen Codeteile nicht unerwartete negative Folgewirkungen auf andere Funktionalitäten auszulösen. Dies wird dadurch sichergestellt, dass die Codeteile durch die im Vorfeld beschriebenen Tests bereits abgedeckt sind und bei dem Hinzufügen von neuen Funktionen es zu einem direkten Feedback der Auswirkungen der neuen Funktionen auf andere Funktionalitäten kommt. Es wird gleichwohl vorausgesetzt, dass die Methode auch für die anderen Aspekte bereits genutzt wurde und/oder Tests bereits vorliegen. Die Nutzung der Methode kann eben genau dies für zukünftige Entwicklungen sicherstellen. Prinzipiell kommt es ferner dazu, dass kein ungetesteter Code geschrieben wird und kaum oder keine Redundanzen entstehen, da es nach der Erfüllung jeder Testvoraussetzung zu einer Überarbeitungsphase (engl. „refactoring“) kommen sollte (wobei diese Vorgehensweise u.a. in „extreme programming“ (xp) Standard ist).

Zudem kommt es zu psychologischen Aspekten, der „instant gratification“ bei der Entwicklung kleiner überprüfbarer Funktionen und dem kontinuierlichen Feedback, dass alles entsprechend der Tests funktioniert. In diversen Beschreibungen der Methode ist diesbezüglich sogar davon die Rede, dass die eigentlichen Entwicklungszyklen nur Minuten dauern sollten³⁷¹. Wegen der kurzen Entwicklungsphasen mit einhergehenden iterativen Testzyklen wird diese Methode auch der agilen Softwareentwicklung zugeordnet.

6.1.2.2 ReSharper, dotCover und Testabdeckung

Die Entwicklungsumgebung Visual Studio 2015 unterstützt den Test-Prozess bereits mit diversen Hilfswerkzeugen, allerdings sind zudem die zusätzlich verwendeten Programme dotCover und ReSharper zu nennen (wobei dotCover in der Ultimate Edition von ReSharper

³⁷⁰ Dabei kann es zu positiven psychologischen Wirkungen kommen, da durch mehr kleine Ziele eine vermehrt gefühlte Belohnung (engl. „instant gratification“) durch das Erfüllen von Zielen ausgelöst werden kann.

³⁷¹ Siehe bspw. <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh212233.aspx> für weitere Informationen und Hintergründe der Unterstützung der Methode durch die Entwicklungsumgebung Visual Studio 2015.

enthalten ist). Das Programm dotCover ist ein sog. .NET Unit Test Runner und Code Coverage Tool. Initial war es nur ein sog. „Coverage tool“, was bedeutet, dass es überprüft wieviel Prozent oder Teile des geschriebenen Codes durch Tests abgedeckt sind. Dadurch liefert es dem Entwickler einen besseren Überblick darüber, welche Teile des von ihm erstellten Codes als „sicher“ einzustufen sind, bzw. im Hinblick auf die getesteten Funktionalitäten, diese tatsächlich erfüllt³⁷².

Um ein einfaches anfängliches Beispiel zu referenzieren, kann in Abb. 58 in der Mitte die einfache Beschreibung eines Tests gesehen werden, der darauf prüft, ob Einflüsse mit leerem Namen angelegt werden. Die entsprechende Testsession (in diesem Fall nur für einen einzigen Test) kann im Unit Test Explorer, dem zusätzlichen Fenster, gesehen werden:

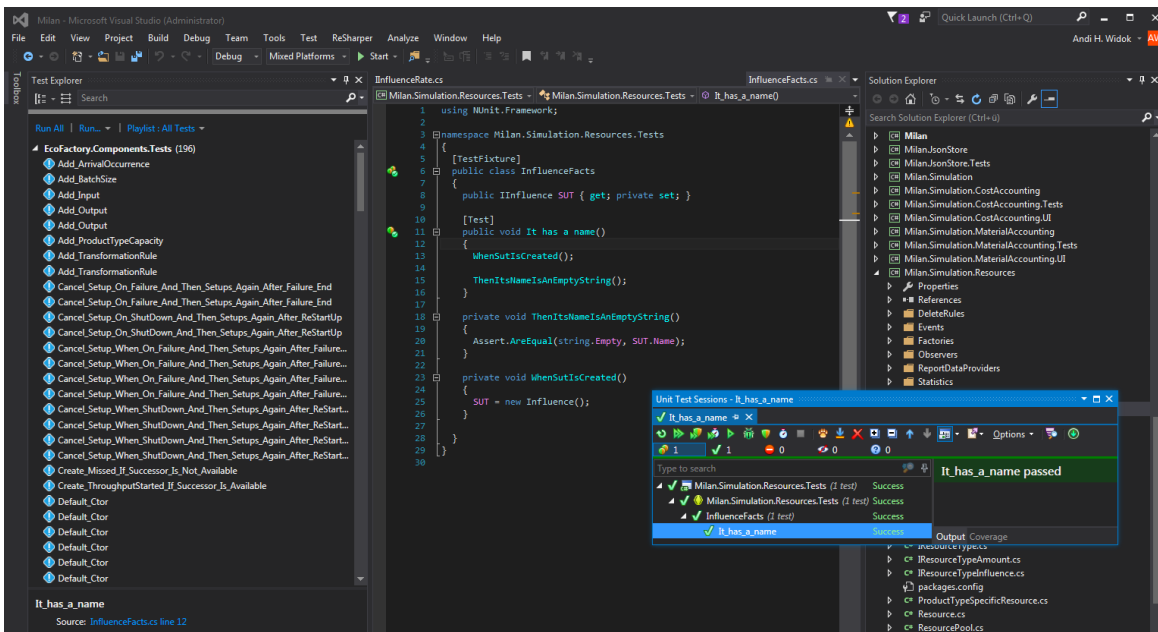


Abbildung 58: Unit Test zur Überprüfung, ob Einflüsse mit leerem Namen erstellt werden

ReSharper seinerseits ist eine mächtige proprietäre Software, die Visual Studio um eine große Bandbreite an Funktionalitäten aufwertet. Dabei ist besonders herauszustellen, dass die Software eine automatische Code-Analyse durchführt, die parallel zur eigentlichen Programmierung erfolgt und sofortige Verbesserungsvorschläge anbietet. Die Vorschläge können ihrerseits durch einen simplen Klick angenommen werden und der verbesserte Code wird automatisch erstellt. Im Punkt der Codegenerierung bietet die Software auch zusätzliche Pakete und Snippets an, welche durch simple Tastaturbefehle eingefügt und oder übernommen werden können. Das einfachste Beispiel dessen wäre, das automatische Auffinden von unbenutztem Code und die Verwerfung dessen. Zusätzlich können diverse Regeln selbst definiert und ausgetauscht werden, was bspw. die Entwicklung im Team, durch die gleichen Notationen, stark vereinfachen kann. Auch das Navigieren zu bestimmten Code-teilen wird dadurch vereinfacht, dass zusätzliche Möglichkeiten angeboten werden, um zu verknüpftem Code zu springen, bzw. die entsprechenden Dateien durch einfache Mausklicks aufzurufen. Für weitere Informationen siehe <https://www.jetbrains.com/resharper/>.

³⁷² Für weitere Informationen siehe <https://www.jetbrains.com/dotcover/documentation/articles/benefits.html>.

6.1.3 Softwarearchitektur und Hierarchien

6.1.3.1 Hintergründe zum grundsätzlichen Aufbau der Software

Um in Kürze die Grundlagen des Softwareaufbaus darzulegen, in die sich die konzipierten Elemente einfügen, kann in Abb. 59 auf der linken Seite der Aufbau eines Entwicklungsprojektes in Visual Studio gesehen werden und auf der rechten Seite die Adaption in der Software MILAN. Ein Projekt gilt als die logische Repräsentation der Hierarchieebenen, Verweise und Pfade aller Dateien in einer Sammelmappe (dem Projekt). Dabei fasst es unter anderem Code-Dateien, Bilder, Kompilierungseinstellungen und weitere Dateien zusammen, die zu der Ausführbarkeit des Programmes benötigt werden. Grundsätzlich entspricht es einer XML Notation (*csproj, d.h., C#-Projekt) und beschreibt zusätzlich die Erstellungseinstellung (build settings). Die Software MILAN umfasst in ihrer derzeitigen Ausprägung 42 verschiedene Projekte, von denen drei neue im Rahmen dieser Arbeit entwickelt wurden, was Anpassungen an anderen Projekten hinsichtlich der Integration einschloss.

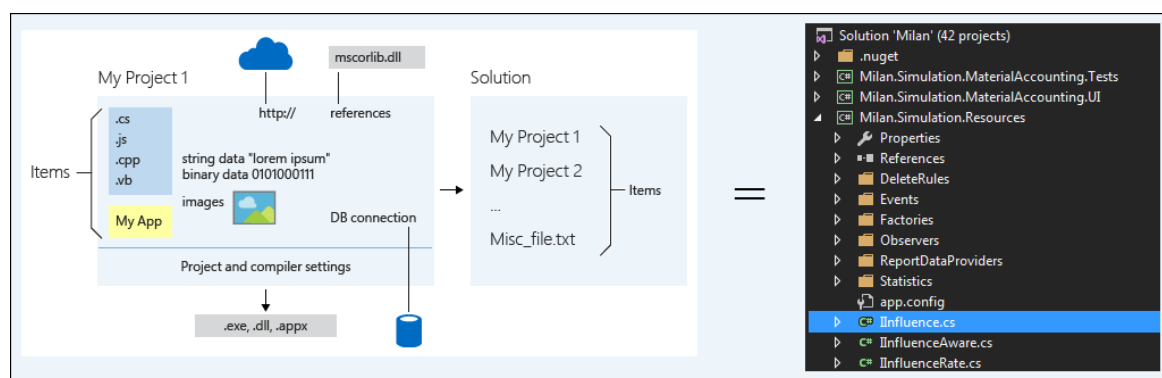


Abbildung 59: Grundsätzlicher Aufbau einer mit Visual Studio erstellten Software-Applikation vgl. <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/b142f8e7.aspx>

6.1.3.2 Projektspezifische Zusammenfassung von Ressourcen und Einflüssen

Es wurde vielfach in Erwägung gezogen, die Einflussdefinition, -beschreibung und -berechnung auch projektspezifisch von den Ressourcen zu trennen und so zwei neue komplementäre Projekte zu schaffen. Letztlich wurde sich gegen diesen Ansatz entschieden. Dies hatte als einen Grund die große Verknüpfungs- und Abhängigkeitsanzahl der neu entwickelten Elemente untereinander. So mussten bspw. Einflüsse mit Arbeitsstationen, Ressourcenpools, Ressourcen, Ressourcentypen und untereinander Daten austauschen können (siehe auch Anhang C, den Abhängigkeitsgraphen). Ähnlich starke Verknüpfungen und Abhängigkeiten gab es für die Ressourcen, Ressourcentypen, Ressourcenpools und verschiedene Auswertungsschnittstellen. Eine projektspezifische Trennung hätte zu einem Mehraufwand geführt, der bei logischem Verständnis der Materie unnötig erschien, da Einflüsse im bestehenden Ansatz nur in Beziehung zu Ressourcen und Ressourcenpools entstehen können³⁷³. Diese eindeutige Zuordnung sprach für die entwicklungsprojektbezogene Integration beider

³⁷³ Diesbezüglich ist darauf hinzuweisen, dass selbst die abstrakteren Konzepte, die in Kapitel 4 hinsichtlich der Modellierung eines abstrakten „sozialen Kapital-Wertes“ diskutiert wurden, per se durch die entsprechende Definition eines Ressourcenpools so modellierbar sind (auch wenn dies bisher nicht so geplant ist).

Aspekte (Ressourcen und Einflüsse). Hinsichtlich der Modellierung wurde die Möglichkeit geschaffen klar zu trennen, ob Ressourcen genutzt werden oder nicht (bspw. für Arbeitsstationen) und folglich ebenso, ob Ressourcen mit Einflüssen verknüpft werden oder nicht, was in Abschnitt 6.2 noch im Detail erläutert wird.

6.1.3.3 Ressourcen- und Einfluss-Projekte und Projektabhängigkeiten

Aufgrund der starken Verknüpfungen von Ressourcen und Einflüssen wurde sich dazu entschieden alle notwendigen Code-Dateien in einem Projekt zusammenzufassen. Gleichzeitig wurde, in Entsprechung der bereits bestehenden Trennung in anderen Projekten, nach visuellen und logischen Elemente getrennt. Dabei wurden grundsätzlich die Aspekte des MVVM-Musters eingehalten, wobei die visuellen Elemente der Views und der ViewModels in einem Projekt zusammengefasst wurden (dadurch den visuellen Teil repräsentieren) und die logischen Elemente in einem anderen. Zudem wurde ein drittes Projekt angelegt, in dem die Testklassen enthalten sind, sodass sich schließlich drei neue Projekte ergaben. Um die Eingliederung der Projekte in die bestehende Softwarearchitektur abzubilden, zeigt Abb. 60 die projektspezifischen Abhängigkeiten der drei Projekte:

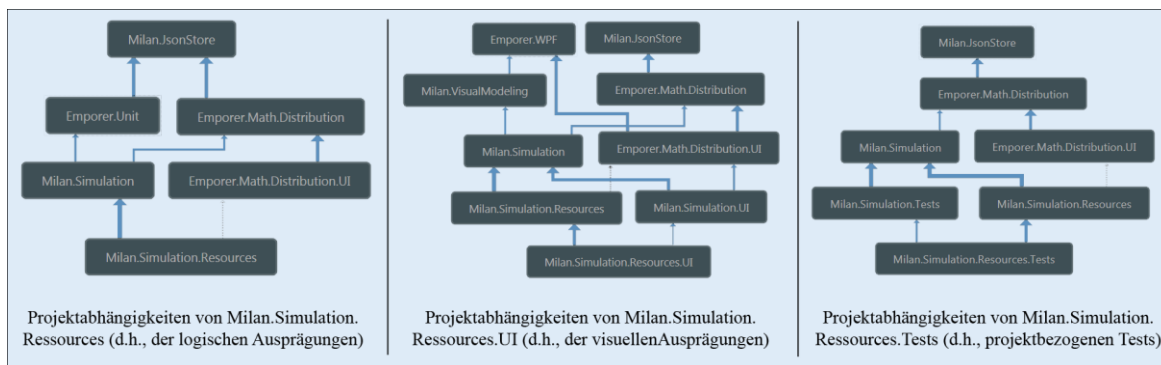


Abbildung 60: Projektabhängigkeiten der neuen Entwicklungsprojekte

Der direkte Bezug zwischen den Ressourcen, Einflüssen und der Simulation wird dabei in allen drei Projekten deutlich. Ähnlich verhält es sich mit Bezügen, die auf mathematische Grundlagen verweisen, die in der Software genutzt (bspw. stochastische Verteilungen zur Nutzung in der Simulation oder generelle Berechnungsskripte bzgl. etwa der Umrechnung von Kosten). Die grafischen Elemente haben zudem zusätzliche Bezüge zu bereits erstellten grafischen Modellierungs-Klassen, welche Funktionalität weitergeben, während das Testprojekt zusätzliche Abhängigkeiten zur bestehenden Teststruktur hat.

6.1.3.4 Interne Abhängigkeiten und hierarchische Struktur der neuen Elemente

Die projektinternen Abhängigkeiten der neuen Klassen und Schnittstellen werden aufgrund der Größe der Grafiken in Anhang C in zwei mehrseitigen Abbildungen dargestellt. Dabei werden die Vererbungs- und Implementationsstruktur der Schnittstellen (engl.: „inheritance dependencies“) sowie die Rückgabebezüge (engl.: „return type dependencies“) als auch die Abhängigkeiten bzgl. der Aufrufe der Klassen und Schnittstellen (engl.: „usage dependency“) aufgezeigt (in den folgenden Abhängigkeitsgraphen wird auf diese explizite Kennzeichnung verzichtet). In den sich anschließenden Abbildungen 61 und 62 werden Auszüge

6.2 Funktionalitätsumfang des Prototyps

6.2.1 Modellerstellung und Parametrisierung

6.2.1.1 Generelle Beschreibung der Modellerstellung

Beim Starten der Software MILAN wird entweder das Laden eines bestehenden oder die Erstellung eines neuen Produktionsmodells eingefordert, wie Abb. 63 zusammenfasst:

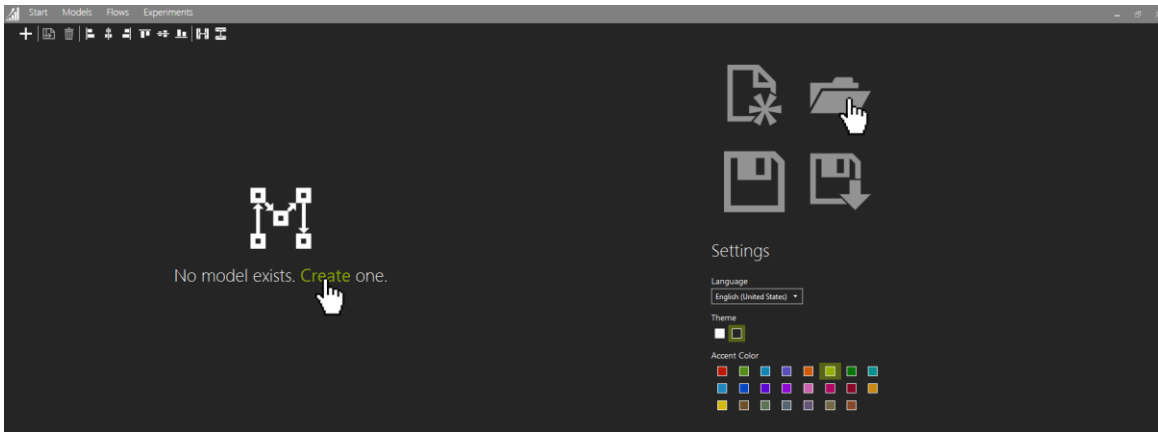


Abbildung 63: Anlegen und Laden eines neuen Produktionsmodells

Das Laden eines Modells führt direkt über zur Modellierungsansicht (Abb. 64), welche bei der Erstellung eines neuen Modells natürlich leer ist. Auf der rechten Seite kann das Modell in einer Art Eigenschaftseditor (engl. „property editor“) benannt werden und die Startzeit der künftigen Simulation initial festgelegt werden. Auf der linken Seite ist, zuzüglich zu einer einfachen Modellierungstoolbar, die die Anordnung, Löschung und das Hinzufügen weiterer Modelle ermöglicht, eine zweite Toolbar, welche die Hauptansichten der Software steuert. Diese sind eine Startansicht, welche zurück auf die in Abb. 63 auf der rechten Seite angezeigte Lade- und Speicheransicht führt, darüber hinaus gibt es die Modellierungsansicht, die in Abb. 64 gezeigt wird, und zwei weitere Ansichten, die sich spezifischer mit der (Stoff- und Kosten-Flussbeschreibung) sowie der Experiment-Beschreibung befassen. Eine Erläuterung zu den relevanten Aspekten schließt sich noch an.

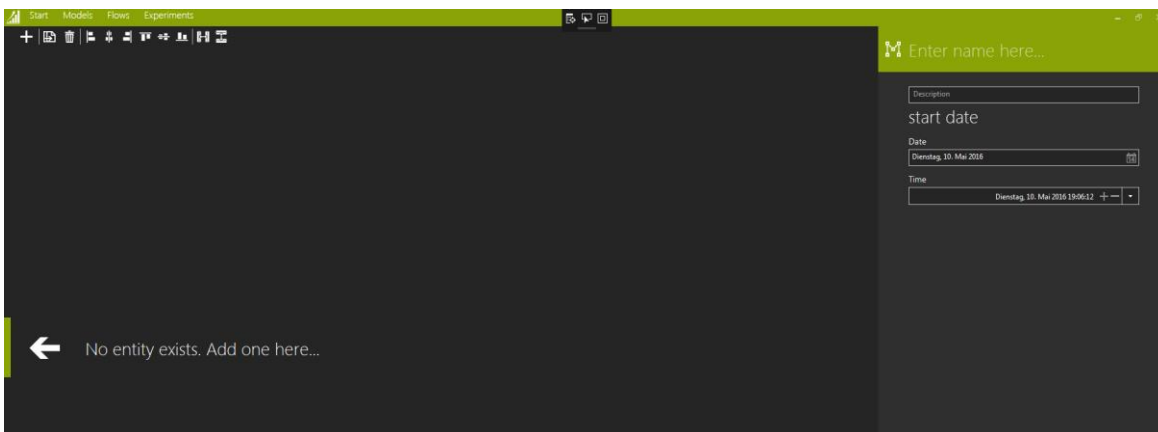


Abbildung 64: Leere Modellierungsansicht der Software

Wie in Abb. 64 auf der linken Seite unten angezeigt wurde, leitet die Software den Modellierer mit einem Hinweis, dass bei der Erstellung eines neuen Modelles noch keine Modellelemente definiert wurden. Nach dem Folgen der Anweisung, dort Elemente zu erschaffen, öffnet sich eine Maske mit zu definierenden Produktionssystemelementen (Abb. 65):

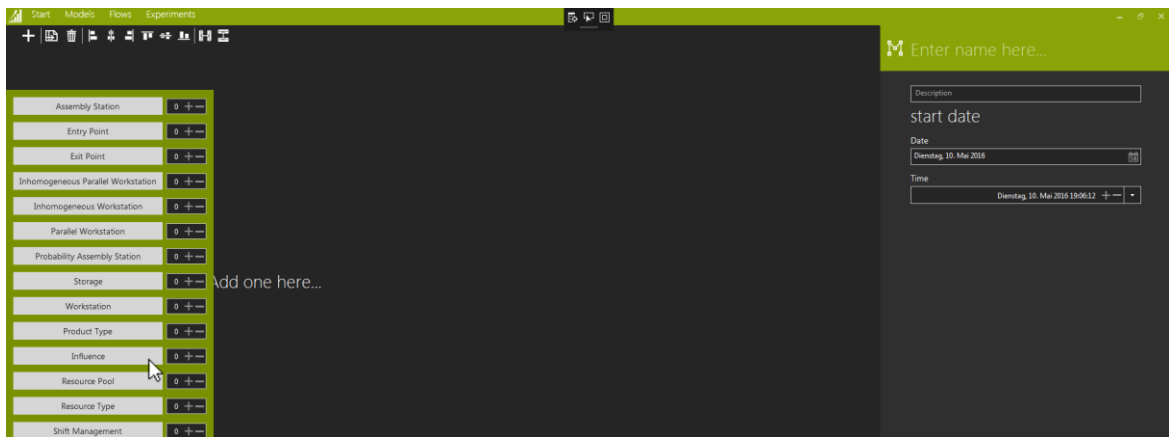


Abbildung 65: Anlegen von Modellelementen

Diese werden initial quantitativ bestimmt und können jederzeit angepasst werden. Nach der Auswahl der Anzahl von logischen Elementen, werden grafische Elemente auf der Modellierungsfläche abgelegt. Um die visuellen Repräsentationen kurz zu erklären, visualisiert Abb. 66 die elementarsten Elemente mit eindeutigen Beschreibungen:



Abbildung 66: Beschreibungen der grafischen Modellelemente

Hier ist darauf hinzuweisen, dass nicht alle möglichen Elemente abgebildet wurden, bspw. gibt es weitere Arbeitsstationen, welche spezifische Konversionsregeln beinhalten und daher, um ein leichtes Erkennen dieser zu fördern, durch verschiedene grafische Elemente repräsentiert werden. Zudem ist zu notieren, dass die Ressourcentypen, die Ressourcenpools und sozialen Einflüsse im Rahmen dieser Arbeit entstanden (wobei Grundlagen im SimSu-Projekt der HTW unter Mithilfe des Autors gelegt wurden). Ferner kann an den Beschreibungen erkannt werden, dass die Modellierungsmöglichkeiten bzgl. verschiedener Szenarien sehr breit aufgestellt sind, d.h., ein Ressourcenpool kann bspw. eine lokale Zuordnung repräsentieren oder eine Hierarchieebene andeuten, ebenso können Ressourcentypen unterschiedliche Bezüge implizieren, welche durch die Modellierung nicht beschränkt wird und sinngemäß textbasiert ist und somit in ihrer logischen Überprüfung dem Modellierer obliegt.

Die verschiedenen Elemente können in der Folge entsprechend ihrer Bedeutung für den Produktionsverlauf logisch verknüpft werden, was in der visuellen Repräsentation durch Pfeile dargestellt wird, wobei nicht alle Elemente zwangsläufig durch diese verbunden sein müssen. Produkttypen, Ressourcentypen oder Raumeinflüsse können bspw. diversen Maschinen oder Sequenzen zugeordnet werden. Aufgrund dieser Mehrfachverknüpfungen würde ein entsprechendes Modell unübersichtlich aussehen, daher wird bei diesen Elementen auf die visuelle Repräsentation der logischen Bezüge verzichtet. Nach einer Anordnung und Bezugsherstellung ergibt sich ein grafisches Modell, wie in Abb. 67 dargestellt wird:



Abbildung 67: Beispielmodell in MILAN

Ein Klick auf die grafischen Elemente führt zudem zu der Anpassung eines immer auf der rechten Seite eingeblendeten Eigenschaftseditors. Dieser bezieht sich immer auf das ausgewählte Element (in Abb. 67 auf den Schichtplan) und bei keiner Auswahl eines Elementes auf das zugrundeliegende Modell (wie in Abb. 65).

Zur Durchführung von Simulationsexperimenten müssen eine Reihe von Eigenschaften der Elemente parametrisiert werden. Die elementarsten Eigenschaften sind die Eingangszeiten und quantitativen Bestimmungen (oder Verteilungen bei Zeiten) von Materialien, Teilprodukten und Produkten, die Konversionslogiken der Arbeitsstationen, ihre Bearbeitungszeiten (mit diversen Abstufungen) und die Experimentparameter (wie bspw. die Inklusion spezifischer Abbruchskriterien, die Simulationszeit, die Anzahl der Experimente, u.v.m.).

6.2.1.2 Initiale Definition von Einflüssen und tätigkeitsbezogene Parametrisierung

Einflüsse werden initial nur mit Namen belegt, entsprechend gibt es hier Unterschiede zu der in der Konzeption vorgestellten Version. Es wurde lange evaluiert, ob ein Einfluss nicht eine global angelegte Einflussteilungsrate haben sollte. Die Grundlage dieser Überlegung im Fall von Tätigkeitseinflüssen bspw. basiert auf der Annahme einer physikalischen Kraft, so kann bspw. ein Trageinfluss prinzipiell mit der physischen Last des Gewichtes ausgedrückt werden (wie z.B. 45 Kg, die über eine Zeit gehalten werden müssen). Die letztlich auf eine Humanressource wirkende Kraft des Einflusses wäre folglich Resultat der initialen Belastung mit einer ressourcenbezogenen Anpassung, gemäß den Ausführungen in Abschnitt 5.2.2. Grundsätzlich wurde diese Implementation umgesetzt, nur dass die Einflussteilungsrate-Definition nicht bei dem initialen Anlegen des Einflusses festgelegt wird,

sondern im Rahmen der tätigkeitsbezogenen Zuweisung, also dort, wo die Einwirkung tatsächlich auftritt (an einer Maschine oder im Maschinenumfeld). Dieser Modellierungsansatz macht es möglich, die grundsätzliche Einflussdefinition von der Auswirkungsstärke zu trennen, d.h., der Einfluss selbst kann generell formuliert werden, bspw. als eine Hebetätigkeit und die tatsächliche Stärke, wird bezogen zur Tätigkeit definiert, siehe Abb. 68:

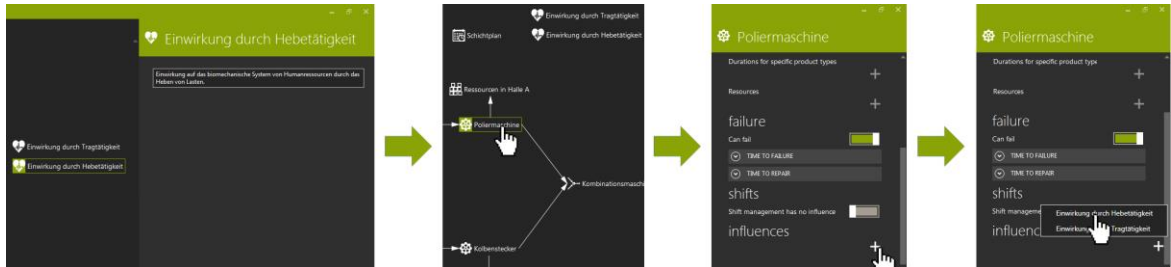


Abbildung 68: Definition und Auswahl eines Tätigkeitseinflusses

In obiger Abb. ist die generelle Definition ganz links zu sehen, folgend die Auswahl einer Arbeitsstation, mit der Anpassung des Eigenschaftseditors auf der rechten Seite. Dort erscheinen, nach dem Anlegen von Einflüssen, diese in einer Auswahl, nachdem im dritten Bild das Pluszeichen zum Hinzufügen von Einflüssen angeklickt wurde. So wird die Zuweisung und Parametrisierung der, der Tätigkeit zugehörigen, Einflusssteigerungsrate erlaubt.



Abbildung 69: Unterschiedliche tätigkeitsbezogene Einflusssteigerungsrate für den gleichen Einfluss

Um darzustellen, dass die tätigkeitsbezogenen Einflüsse initial mit verschiedenen Einflusssteigerungsrate angelegt werden können, visualisiert Abb. 69 die Parametrisierung der Einflusssteigerungsrate an den zwei verschiedenen Arbeitsstationen bei der Auswahl des gleichen Einflusses. Hier ist herauszustellen, dass die Anpassungen am „Eigenschaftseditor“ der Arbeitsstationen durch das Hinzufügen eines neuen ViewModels (für die Anpassung der Belastungsrate) zum bestehenden ViewModel der Parametrisierung der Arbeitsstation erfolgt:

```

61     public WorkstationEditViewModel(IWorkstationBase workstation,
62         IDistributionConfigurationViewModelFactory distributionConfigurationViewModelFactory,
63         IProductTypeSpecificResourceFactory productTypeSpecificResourcesFactory,
64         IProductTypeDistributionFactory productTypeDistributionFactory,
65         IEnumerable<INamedProcessConfigurationFactory> namedProcessConfigurationFactories,
66         IEnumerable<IEditViewModelFactory> editViewModelFactories,
67         string name,
68         IResourcePoolResourceTypeAmountFactory resourcesFactory,
69         IConnectionFactory connectionFactory)
70     {
71         : base(workstation, distributionConfigurationViewModelFactory, productTypeDistributionFactory, connectionFactory, name)
72     {
73         _workstation = workstation;
74         var influences = workstation.Model.Entities.OfType<IInfluence>()
75             .Except(workstation.Influences.Select(i => i.Influence));
76         _availableInfluences = new ObservableCollection<object>(influences);
77         Influences = new ObservableCollection<InfluenceRateEditorViewModel>(workstation.Influences.Select(i => new InfluenceRateEditorViewModel(i))
78             .ToList());

```

Abbildung 70: Hinzufügen eines InfluenceRateEditorViewModel zum WorkstationEditViewModel

Dieser grundlegende Ansatz der Beschreibung verschiedener ViewModels für verschiedene Parametrisierungen erlaubt einerseits eine hohe Wiederverwendungsrate der entsprechenden ViewModels (teilweise mit Namens oder Eigenschaftsänderungen, aber prinzipiell vom gleichen Aufbau) und/oder die Wiederverwendung der ViewModels an sich (bei verschiedenen Stellen, an denen die gleichen Entitäten modelliert werden sollen). Dabei ist zu bedenken, dass zusätzlich zu der Übergabe der ViewModels noch auf die entsprechenden Commands (bspw. des Hinzufügens oder Löschens) verwiesen werden muss und dass diese sich, im Kontext der visuellen Repräsentation, wiederum auf ViewModels beziehen können. Dies impliziert, dass sowohl die logischen als auch die grafischen Elemente entsprechend einfach hinzugefügt oder gelöscht werden können.

Zu bedenken ist gleichzeitig, dass es zu diversen Verschachtelungen von ViewModels kommen kann, wenn grafische Elemente entsprechend klein definiert werden. So führt bspw. das Klicken auf den Plus-Knopf (drittes Bild in Abb. 68) zu dem Hinzufügen und Parametrisieren des InfluenceRateEditorViewModels, wie in Abb. 70 dargestellt. Gleichzeitig bezieht sich die initiale Darstellung der existierenden (d.h. angelegten Auswahl von Einflüssen, viertes Bild in Abb. 68) wiederum auf ein anderes ViewModel. Der sog. Eigenschaftseditor ist folglich ein aus diversen Einzelbausteinen zusammengesetzter Editor, der sich entsprechend des Hinzufügens oder des Wegnehmens einzelner ViewModels sehr unterschiedlich darstellen kann. Das erste Bild in Abb. 68 stellt diesbezüglich eine der einfachsten Darstellungsformen dar, mit nur zwei eingeschachtelten ViewModels, welche die Parametrisierung des Namens und der Beschreibung ermöglichen.

Der große Vorteil dieser ViewModel-bezogenen Verknüpfung zwischen logischen Funktionalitätsbeschreibungen und visueller Repräsentation ist, dass Elemente, wie bspw. das Hinzufügen oder das einfache Parametrisieren von Werten oder auch komplexere Parametrisierungen mit Auswahl von Verteilungen und zusätzlichen Bezügen, initial als Bausteine in ViewModels angelegt werden können und folgend visuell ansprechende Editoren einfach zusammengebaut werden können. So wird bspw. auch das folgend in Abb. 71 angezeigte ChainedParameterSetCommandViewModel mehrfach im Eigenschaftseditor der Arbeitsstationen genutzt (im betreffenden Codeteil für die Einflüsse), u.a. zum Hinzufügen produktbezogener Zeiten, Setup-Zeiten, u.v.m. Einen Überblick über das Zusammenspiel der verschiedenen ViewModels hinsichtlich der neuen Projekte ist wiederum in Anhang C beigefügt und kann zudem anhand der Datenmodelle (Anhang B) nachvollzogen werden. Die Parametrisierung der Einflüsse ist dabei noch nicht abgeschlossen und wird folgend an der ressourcentypspezifischen Ausprägung ausgeführt.

```
240 private ChainedParameterSetCommandViewModel CreateAddInfluenceCommand(string displayText,
241     ObservableCollection<object> availableInfluences,
242     Action<IDictionary<string, object>> addAction)
243 {
244     var parameterSet = new ParameterSet("influence", "Select an influence", availableInfluences);
245     var chainedParameterCommand = new ChainedParameterSetCommandViewModel(new[]
246     {
247         {
248             parameterSet
249         },
250         addAction
251     },
252     {
253         DisplayText = displayText
254     });
255     return chainedParameterCommand;
256 }
```

Abbildung 71: Ein weiteres ViewModel im Editor, das ChainedParameterSetCommandViewModel

6.2.1.3 Parametrisierung von ressourcentypspezifischen Einflüssen

Um die Parametrisierung eines Einflusses hinsichtlich der beschriebenen Konzeption abzuschließen, braucht es noch die Verbindung zwischen Humanressourcen und Einflüssen, sowie Anpassungen der Einflusswerte in Bezug zu den Ressourcen. Es ist anzumerken, dass sich dagegen entschieden wurde, einzelne Ressourcen zu modellieren, sondern anstelle dessen, die Modellierung auf die Ressourcentyp-Ebene (bzw. Ressourcen-Pool-Ebene) zu verlagern, da die Ressourcen im abschließenden Konzept erst zur Laufzeit erstellt werden.

Dies bedeutet auch, dass die Laufzeiterstellung bereits eine „Auswürfelung“ von Eigenschaften der Ressourcen implizieren kann und somit diverse unterschiedlich ausgeprägte Ressourcen von einem Ressourcentyp erzeugt werden können. Bei einer gleichzeitigen Änderungsrate, die sich auf die Einflussraten und/oder ihre Grenzwerte auswirkt, bedeutet dies ferner unterschiedlich ausgewürfelte Resistenzen oder Anfälligkeiten in Bezug auf den betreffenden Einfluss als Eigenschaften der zur Laufzeit erstellten Ressourcen.

Die ressourcentypbezogenen Änderungen an den Einflussparametern können an den Ressourcentypen selbst vorgenommen werden. Dies folgt den in der Konzeption vorgestellten Datenbezügen (in Abb. 51) und äußert sich in der Modellierung, wie in Abb. 72 dargestellt:

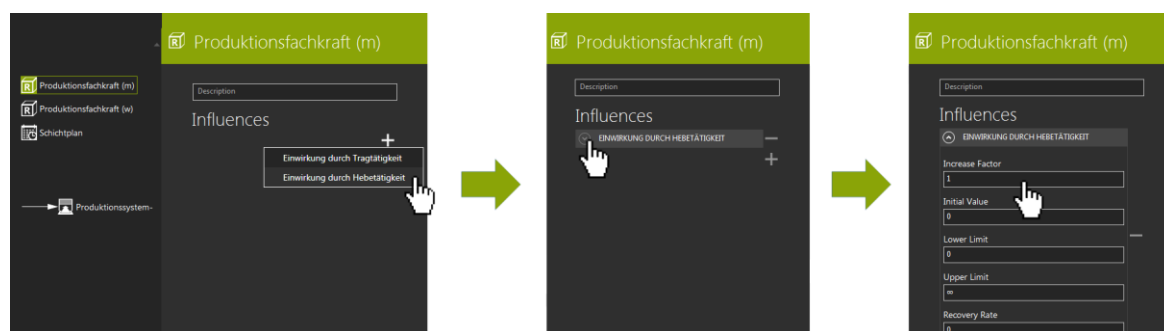


Abbildung 72: Ressourcentypspezifische Parametrisierung von Einflüssen

In Abb. 72 kann zudem der gleiche Aufbau des Editors erkannt werden, wie bereits in den vorherigen Abbildungen bzgl. der Einflussbeschreibung. Diesmal wird allerdings wiederum ein anderes ViewModel genutzt, weil es nicht nur um die Parametrisierung der Einflusssteigerungsrate geht, sondern um weitere ressourcenspezifische Ausprägungen der Einflussparameter. Die veränderbaren Parameter beziehen sich dabei auf einen Faktor, welcher mit der Einflusssteigerungsrate multipliziert wird und somit dem in Abschnitt 5.2.2 vorgestellten Konzept der Einflussberechnung durch Kombination mit ressourcenspezifischen Ausprägungen entspricht (wobei die Ressourcen in diesem Fall im Kontext des Ressourcentyps beeinflusst werden). Diese Art der Modellierung erlaubt eine einfachere Trennung von bspw. Männern und Frauen und/oder verschiedenen Gruppen von Menschen, für die die Einflusssteigerungsrate sich generell anders verhalten sollte. Bzgl. physischer Krafteinwirkungen wird dabei die Trennung nach Männern und Frauen auch von der BAuA gemacht, weshalb diese Art der Modellierung als sinnvoll erachtet wurde. Zudem können die Erholungsrate, ein Initialwert (bspw. eine Grundbelastung), sowie obere und untere Limit-Werte und schließlich Schwellwerte ressourcentypspezifisch parametrisiert werden. Es ist darauf hinzuweisen, dass durch die ressourcenspezifische Parametrisierung noch keine Zuweisung

des Einflusses zu den Ressourcen entsteht, sondern dieser erst bei einer Verbindung mit Arbeitsstationen oder Ressourcenpools hergestellt wird. Um die Ausprägungen der Attribute hinsichtlich der Einflussbeschreibung zu verdeutlichen, zeigt Abb. 73 das Datenmodell der Konzeption, fokussiert auf die verschiedenen Einflussklassen und -schnittstellen bei gleichzeitiger Anzeige der Attribute und Operationen:

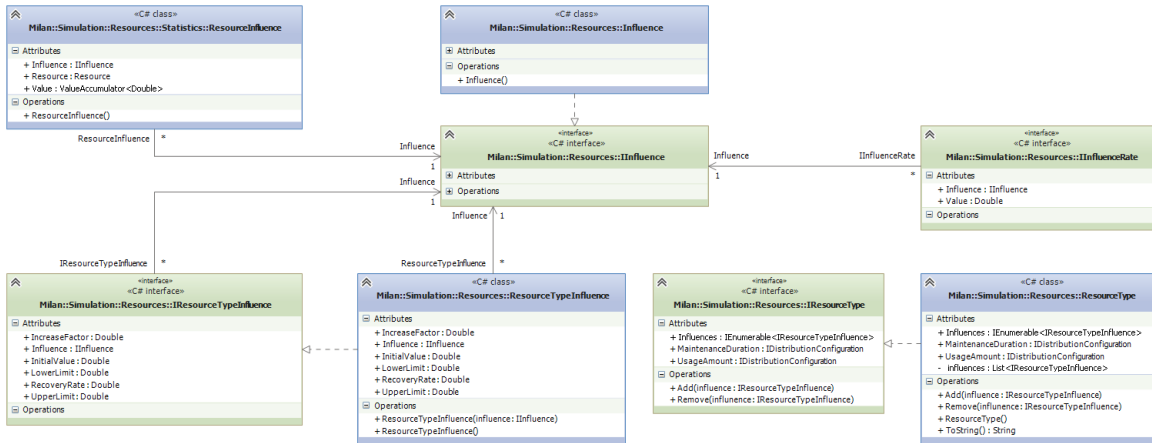


Abbildung 73: Elementare Einflussklassen und -schnittstellen mit Attributen

Durch die Parametrisierung der Einflüsse sowohl an den Arbeitsstationen hinsichtlich der tätigkeitseinflussbezogenen zeitlichen Steigerungsrate und der ressourcentypspezifischen Anpassungen, fehlt zur Herstellung der Bezüge lediglich die Zuweisung von Ressourcen zu Arbeitsstationen. Um diesen Bezug herstellen zu können, müssen zuerst Bezüge zwischen Ressourcentypen und Ressourcenpools hergestellt werden, da Arbeitsstationen einen Poolbezug brauchen, um auf Ressourcen zugreifen zu können. In den vorherigen Abbildungen war dieser Bezug teilweise bereits hergestellt. Abb. 74 verdeutlicht die Auswahl:



Abbildung 74: Bezugsherstellung von Ressourcentypen und -pools, sowie Auswahl an Arbeitsstationen

Hier ist darauf hinzuweisen, dass an den Ressourcenpools die Anzahl der verfügbaren Ressourcen festgelegt werden und an den Arbeitsstationen die Anzahl der der Arbeitsstation zugewiesenen Ressourcen. Diese Mengen müssen nicht zwangsläufig übereinstimmen, da ein Ressourcenpool mehreren Arbeitsstationen zugeweiht werden kann und/oder mehrere Ressourcen im Pool enthalten sein können, ohne dass alle diese auf einmal einer Arbeitsstation bzw. einer Tätigkeit zugeordnet werden müssen. Ferner ist hinzuzufügen, dass Ressourcen auch produktbezogen zugeweiht werden können. Dies impliziert, falls an einer Arbeitsstation mehrere Produkte bearbeitet werden, dass eine Trennung der zugewiesenen Ressourcen hinsichtlich der Bearbeitung der verschiedenen Produkte an dieser Arbeitsstation erfolgen kann. Die zugeweihte Ressourcenmenge ist folglich eine Teilmenge, der der Arbeitsstation

zugewiesenen, die wiederum eine Teilmenge der einem Ressourcenpool entsprechende Menge an Ressourcen ist. Gleichzeitig können auch mehrere Ressourcenpools einer Arbeitsstation zugeteilt werden, was aus der erwähnten Teilmenge wiederum eine Schnittmenge bzgl. der verschiedenen Ressourcenpools machen würde. Abb. 75 visualisiert, Abb. 74 folgend, die Auswahl von Ressourcenpools an einer Arbeitsstation, die folgende Auswahl ihm zugehöriger Ressourcentypen und die Parametrisierung der Anzahl an Ressourcen dieses Typs, welche der Arbeitsstation zugewiesen werden:

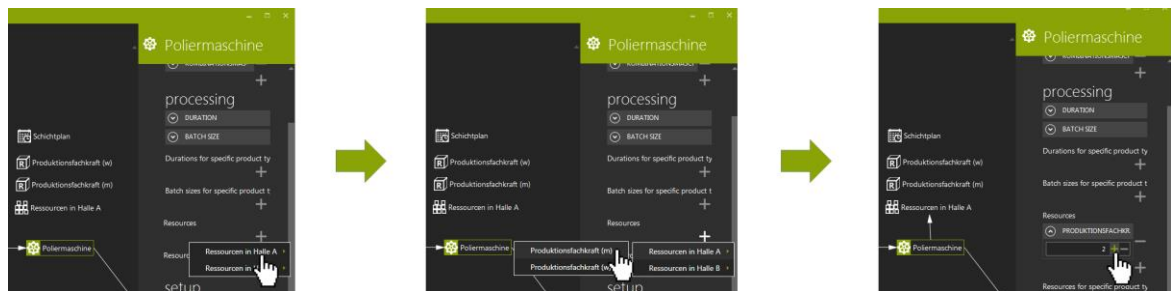


Abbildung 75: Zuweisung von Ressourcenpools und Ressourcentypen zu Arbeitsstationen

Durch diese letzte Zuweisung besteht folgend eine Verbindung zwischen den Tätigkeitseinflüssen, die initial angelegt wurden, deren Einflusssteigerungsrate hinsichtlich der Tätigkeit an der Arbeitsstation parametrisiert wurde, die bzgl. ressourcentypen weiter spezifiziert wurden und durch die Verbindung zu den Ressourcen nun eindeutig zugewiesen wurde.

Durch diese Schritte kommt es bei der Inanspruchnahme der Ressourcen durch die Arbeitsstationen zu der Steigung des Risikowertes des Einflusses in Entsprechung der Einflusssteigerungsrate (und der Modifikationen hinsichtlich des ressourcentypspezifischen Faktors), sowie bei der Freigabe der Ressource (Rückgabe in der Ressourcenpool) zur Anwendung der ressourcentypspezifischen Erholungsrate. Dies entspricht einer realen Belastungsentwicklung, welche durch physischen Einwirkungen auf Menschen bei Tätigkeiten ausgelöst werden kann und ihrer Erholung bei der Beendigung der Tätigkeiten.

Diesbezüglich wurde darüber hinaus in Betracht gezogen, die Erholungsraten in Abhängigkeiten von verschiedenen Ressourcenpools anzupassen und somit verschiedene Erholungsraten, je nach „Erholungsraum“, zu ermöglichen. Der Hintergrund war, dass das Arbeitsumfeld generell als stressiger empfunden wird und andere Erholungsraten erlaubt als die Freizeit bzw. Schlafzeiten. Aufgrund der bereits bestehenden hohen Verknüpfungen, sowie der Abwesenheit an verlässlichen Daten bzgl. verschiedener Erholungsraten, wurde dieser Modellierungsansatz allerdings nicht umgesetzt. Zudem ist zu bedenken, dass sich die physischen Erholungsraten in Bezug auf die Muskulatur, bzw. die biomechanischen Systeme wahrscheinlich weniger stark in puncto der räumlichen Trennung unterscheiden, als geprägt durch psychologische Faktoren.

Um die Funktionsweise der Simulation zu erläutern, wird in der Folge das Experimentieren mit dem vorgestellten Modellierungsansatz erläutert und auf mögliche Simulationsergebnisse hingewiesen. Zudem werden die dafür notwendigen Anpassungen an den Observerklassen vorgestellt und erläutert, wie die Simulationsergebnisse für die Einflusswerte einzelner Ressourcen (und der Durchschnittswerte/Schwellwertabgleiche) erhoben werden.

6.2.2 Durchführung von Simulationsexperimenten

6.2.2.1 Einstellung der Experimentparameter

Die Experimentansicht, die in Abb. 76 zu sehen ist, ist über die obere Toolbar jederzeit erreichbar. Dies impliziert, dass theoretisch jederzeit versucht werden könnte, ein Produktionsmodell zu simulieren, allerdings funktioniert der Simulationsstartknopf erst, sobald ein Modell ausreichend parametrisiert wurde. Dies schließt, nach bestehenden Einstellungen zumindest die Erstellung eines Eingangs- und Ausgangspunktes, samt der Ankunftszeiten ein, sowie mindestens eine Maschine mit ausreichenden Einstellungen hinsichtlich der Bearbeitungsabläufe. Je nach Typ der Maschine erfordert dies unterschiedliche Einstellungen.

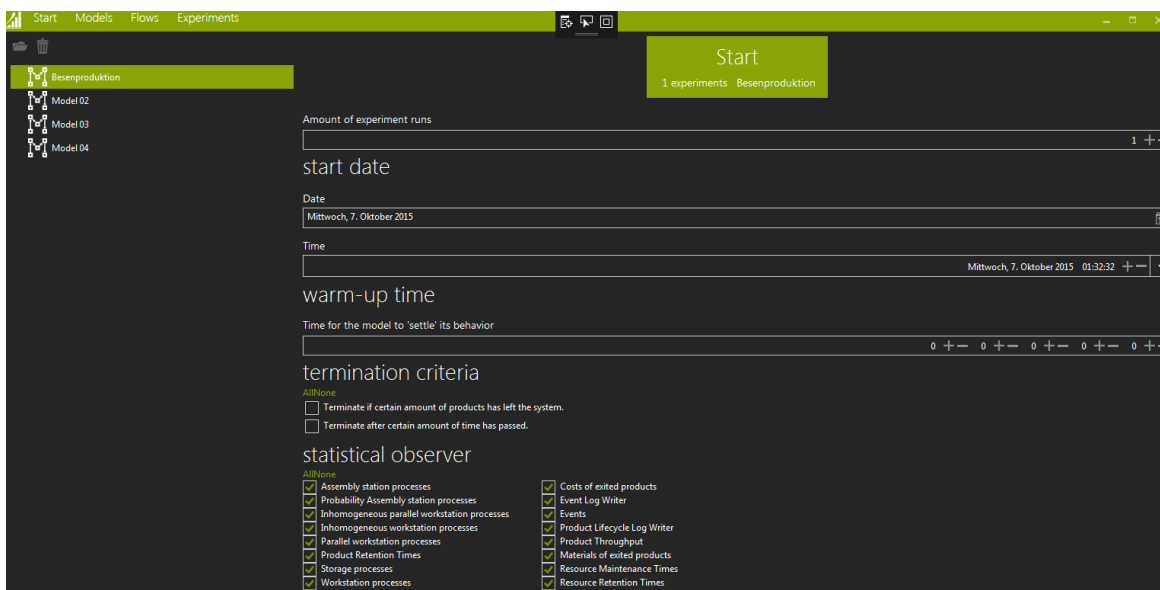


Abbildung 76: Experimentieransicht der Simulationssoftware MILAN

Diese Vorabbedingungen schließen Ressourcen und Einflüsse explizit nicht mit ein. Dasselbe gilt auch für Materialien, samt LCA-Datenrucksäcken. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die ökologische und soziale Betrachtung nicht als grundsätzlich Bedingung zur Simulation eines Modells gelten, sondern vielmehr weitere Perspektiven ermöglichen, die bei ausreichender Datenlage zusätzlich einbezogen werden können (wobei die ökonomische auch nicht zwangsläufig durch die einfache Betrachtung von Zeiten innerhalb einer Maschine abgedeckt wird).

Die Experimentansicht bezieht sich nicht ausschließlich auf nur ein Simulationsmodell, was an der Auswahl möglicher Modelle auf der linken Seite von Abb. 76 gesehen werden kann. Davon ausgehend, dass ein Produktionsmodell ausreichend parametrisiert wurde, wird die Simulation dessen möglich, was gleichzeitig die Festlegung auf grundlegende Experimentiereigenschaften erfordert. Diese beziehen sich hauptsächlich auf die Start- und Endzeiten der Simulation, die Anzahl der verschiedenen Experimente und die Zeit, die dem Modell zugestanden wird um einzuschwingen (engl. „warm-up time“). Die Einschwingdauer ist notwendig, um die Anlaufphasen, die bei der Produktion entstehen, aus den Ergebnissen

auszuschließen und sich ganz auf die Phasen konzentrieren zu können, in denen von kontinuierlichem Betrieb der Produktion ausgegangen werden kann. Andernfalls kommt es zu Leerlaufphasen zu Beginn und so u.a. zu möglicherweise verwirrenden Mindestwerten.

Zusätzlich zu diesen Grundeinstellungen kann festgelegt werden, ob die Simulation enden soll, wenn eine bestimmte Produktmenge erreicht wurde und/oder wenn eine bestimmte Zeitspanne erreicht wurde (komplementär und/oder ausschließend bezogen auf die Zeitspanne zwischen Startdatum und Enddatum). Zudem besteht die Auswahl von verschiedenen statistischen Beobachtern der Simulation, die mit dem Observernamen betitelt sind.

Diese Observer und ihre zugrundeliegenden Klassen sind auch die Basis für die anschließenden Simulationsergebnisse. Die Einflussrisikowertentwicklung und Überschreitung von Grenzwerten wurde dabei den „resource retention times“ zugeordnet. Diese Verknüpfung basiert darauf, dass sich die Einflussrisikowerte proportional zu den Verweildauern (engl. „retention times“) entwickeln, solange keine wechselseitigen Bezüge zu anderen Einflüssen bestehen. Ein Überblick zu den Simulationsobservern wird in der Folge gegeben.

6.2.2.2 Grundlagen der Simulationsergebnisse, Observer-Klassen

Wie in Abb. 76 bereits aufgezeigt, gibt es eine Reihe von unterschiedlichen Simulationsbeobachter-Klassen und Schnittstellen, die allerdings vom Aufbau her ähnlich funktionieren. Die grundsätzlichen Beziehungen, die sich für die meisten Observer ähnlich darstellen, sind am Beispiel des für die Einflussrisikowertberechnung relevantesten Beobachters, dem ResourceRetentionObservers in Abb. 77 angezeigt:

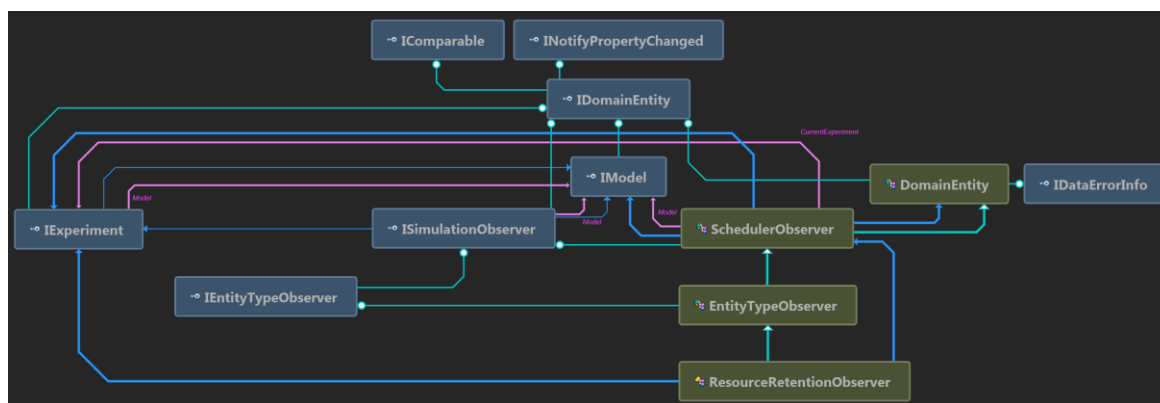


Abbildung 77: ResourceRetentionObserver und seine Abhängigkeiten

Die Funktionsweise der Beobachter ergibt sich prinzipiell aus dem sog. Beobachter-Entwurfsmuster (engl. „observer pattern“, auch „listener pattern“, siehe bspw. [Gamma, et al., 2009, S. 287 ff.]) und beschreibt grundsätzlich einen Ansatz auf Verhaltensänderungen von Objekten zu hören oder danach anzufragen (engl. „push and pull notifications“), was die Verbindungen der Beobachtern zur Modell- und Experiment-Schnittstelle verdeutlicht.

Die Möglichkeit, die Observer in der Experimentieransicht an- und abzuschalten, erlaubt einerseits den Datenbearbeitungsaufwand der Simulation zu reduzieren (da weniger Code ausgeführt werden muss) und darüber hinaus eine Vorauswahl hinsichtlich der Ergebnisse. Im Hinblick auf spezifische Fragen erlaubt dies eine bereits fokussierte Ergebniserstellung.

6.2.2.3 Verweildauer von Ressourcen, Ergebniserstellung und -bereitstellung

Die Simulationsergebnisse werden vereinfacht dadurch erzeugt, dass verschiedene Beobachter (in Form von Observer-Klassen) auf die Vorgänge im Produktionsmodell hören. Diese Vorgänge werden repräsentiert durch die ausgelösten Ereignisse (Eintreten von „Events“ während der Simulation). Beim Auftreten dieser können in den Observer-Klassen Methoden ausgeführt werden, die unterschiedliche Aufgaben übernehmen können. Eine solche Aufgabe ist die Datenaufbereitung. Sie impliziert u.a. das „Mitschreiben“ der Zeiten, die durch das Auftreten von verschiedenen Ereignissen determiniert werden.

Im Kontext der Einflussrisikoberechnung betrifft dies die Ressourcen-Zeiten, welche in einer Klasse („ResourceTimes“) genauer beschrieben werden. Darüber hinaus spielen weitere Klassen mit statistischer Ausrichte eine Rolle bei der Aufbereitung der Rohzeiten. Abb. 78 gibt einen Überblick über relevante Klassen und Schnittstellen, die an der Erstellung der Simulationsergebnisse hinsichtlich der Einflüsse und Ressourcen involviert sind (wobei für die Ressourcen noch viele weitere vorhanden sind und in untenstehender Grafik nur auf die fokussiert wurden, die in Relation zur Einflussrisikowertberechnung stehen).

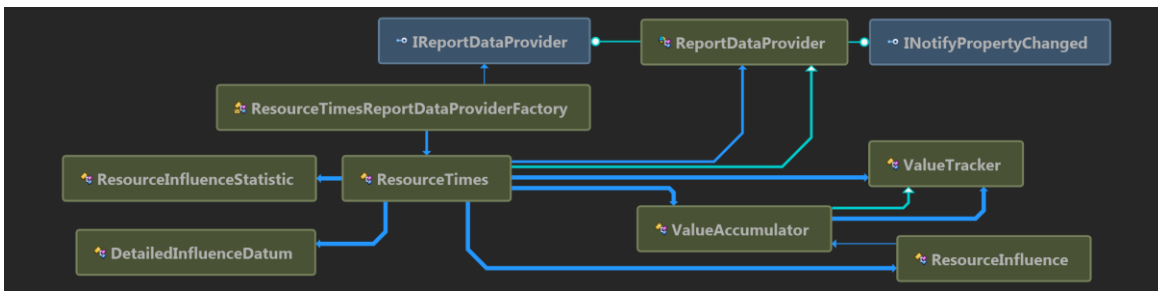


Abbildung 78: Klassen bzgl. der Zeiten von Ressourcen und zur Einflussrisikowertberechnung

Um die Verbindung zwischen Observer-Klassen und der Ergebnisaufbereitung noch am Code zu verdeutlichen, kann in Abb. 79 zudem ein einfaches Beispiel für die Statistikaktualisierung gesehen werden, welche durch ein Ereignis ausgelöst wird. Dabei geht es im speziellen Fall um das Freigeben von Ressourcen, d.h. bspw. die Rückgabe einer Ressource von einer Arbeitsstation zu einem Ressourcenpool. Dabei gilt das gleiche Prinzip wie unten dargestellt für weitere Ressourcen-bezogene Ereignisse (in verschiedener Komplexität), wodurch letztlich verschiedene statistische Auswertungen möglich sind, die in der Folge kurz erläutert werden.

```
16 namespace Milan.Simulation.Resources.Observers
17 {
18     public class ResourceRetentionObserver : EntityTypeObserver<IStationaryElement>
19     {
20         (...)
21     }
22 }
23
24 private void UpdateStatisticsOnResourceReleased(ResourceReleasedEvent resourceReleasedEvent)
25 {
26     var entity = (IEntity) resourceReleasedEvent.Sender;
27     foreach (var resource in resourceReleasedEvent.Resources)
28     {
29         var receivedData = _residingResources[resource];
30         var simulationRetentionTime = resourceReleasedEvent.ScheduledTime - receivedData;
31         var retentionTime = simulationRetentionTime.ToRealTimeSpan();
32         AddOrUpdateResourceTypeRetentionStatistics(entity.Name, resource.ResourceType.Name, resource.ResourcePool.Name, retentionTime);
33         AddOrUpdateResourceRetentionStatistics(entity.Name, resource, retentionTime);
34     }
35     _residingResources.Remove(resource);
36 }
```

Abbildung 79: Eine Methode zur Aktualisierung der Statistiken beim Auftreten eines Ereignisses

6.2.2.4 Experimentergebnisse

Um sinnvolle Simulationsergebnisse hinsichtlich der Humanressourcen-Nutzung und der auftretenden Risikowerte zu erzeugen, ist noch auf die Funktion des Schichtplaners hinzuweisen, der die Ressourcenverfügbarkeit von Humanressourcen zusätzlich beeinflusst. Ohne diese Einwirkungen wären Humanressourcen, abgesehen von ihrer Pool- und Maschinenbelegung, kontinuierlich im Produktionssystem verfügbar. Dies würde zwangsläufig weder der Realität entsprechen noch zu realistischen Risikowerten führen und ist daher von elementarer Bedeutung.

Nach einer Betätigung des Simulationsknopfes aus Abb. 76 ergibt sich ein Bild ähnlich wie folgende Abb. 80. Hier wurden bereits einige Experimentläufe, mit verschiedenen Anzahlen von Experimenten durchgeführt (wobei der erste, da eine falsche Experimentanzahl eingetragen wurde, abgebrochen wurde):

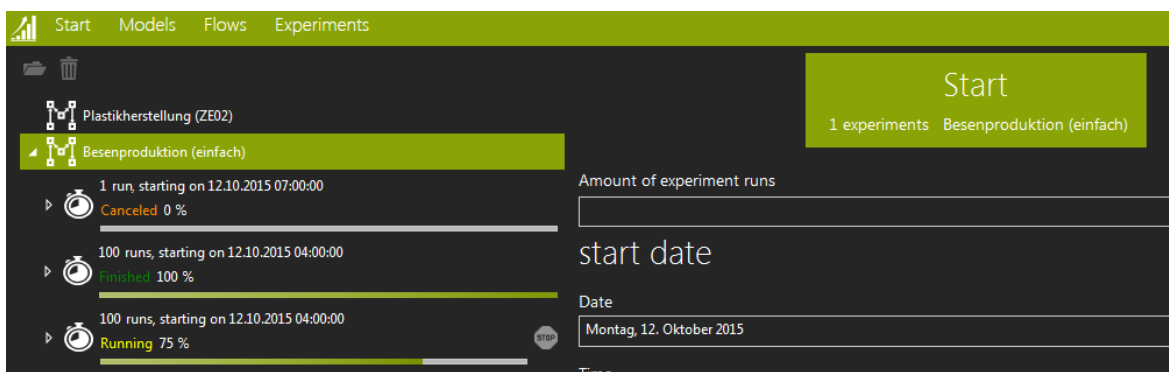


Abbildung 80: Simulationsläufe mit einer Anzahl von Experimenten und Simulationsergebnisse

Nachdem ein Simulationslauf beendet ist und es zu keinen Fehlern kommt, wie auf der rechten Seite durch das grüne „finished“ angezeigt, sind die Simulationsergebnisse verfügbar. Diese sind in Form einer Excel-Datei gespeichert und aus dem System einfach erreichbar, in dem erst ein Run ausgewählt wird, wonach sich das Folder-Icon in der linken, oberen Ecke auf den Pfad bezieht, in dem die Simulationsergebnisse gespeichert sind. Ein Klick auf den Knopf leitet in den Ordner über und die Excel-Datei kann geöffnet werden.

Die Excel-Datei verfügt dabei über diverse Ergebnisberichte (auch in Abhängigkeit von den ausgewählten Observern), zurzeit werden über 30 verschiedene Berichte angeboten. Für die Ressourcen alleine gibt es acht verschiedene Tabellen, von denen sich wiederum 3 auf die Einflussrisikowertentwicklung und auf die Grenzwertüberschreitungen beziehen. Abb. 81 zeigt einen Auszug aus einer Datei mit Fokus auf die Tabelle „Resource influences“:

ResourceType	Resource	Influence	Count	Min	Avg	Max
Produktionsfachkraft (m)	b24b7418-0692-4b5f-b568-35fbeca5ee7	Hebeeinwirkung	1	0,041667	0,066316	10 26
Produktionsfachkraft (m)	fe097275-dbc0-4a1f-a9e7-082f4423ceb0	Hebeeinwirkung	1	0,041667	0,066316	10 26
Produktionsfachkraft (m)	46abf699-f300-466b-84c6-80ead9e22f7	Hebeeinwirkung	1	0,041667	0,066316	10 26
Produktionsfachkraft (m)	cf9ad269-6e45-48fd-ab96-cca848c573cf	Hebeeinwirkung	1	0,041667	0,066316	10 26
Produktionsfachkraft (m)	796d1ad1-4377-4d0b-97cb-8c59d33ce0ce	Hebeeinwirkung	1	0,041667	0,066316	10 26
Produktionsfachkraft (w)	42c58c72-c23c-4590-b9a4-84932dceae72	Hebeeinwirkung	1	0,0625	0,072349	10 7
Produktionsfachkraft (w)	0304ffea-c517-4949-87fc-342100fef30a	Hebeeinwirkung	1	0,0625	0,072359	10 7

Abbildung 81: Excel-Ergebnis Datei mit Fokus auf Ressourcen-Einflüsse

Wie bereits angesprochen, beziehen sich die Masse der Simulationsergebnisse auf die Durchschnittswerte, die im Bezug zu den verschiedenen Experimenten gebildet werden können. Hinsichtlich der Anzahl der Grenzwertüberschreitungen und der Abweichungsrate zu diesen, ist dieses Verfahren ebenso umgesetzt worden. Bzgl. der dynamischen Belastungsverläufe innerhalb von Tagen und/oder Schichten war dieser Ansatz nicht ausreichend, um einen Informationsgewinn anzubieten, daher wurden zusätzliche Änderungen an den Ressourcen-Zeit-Klassen umgesetzt. Diese bezogen sich darauf, auch für einzelne Experimente Ergebnisse mit Simulationszeiten und Werteverläufen anzubieten. Eine Übereinanderlegung dieser Werte hätte voraussichtlich ein zu hohes Rauschen erzeugt, sodass sich entschieden wurde, die Werte pro Experiment zu trennen. Die entsprechenden Daten sind in der „Detailed Influence Data“ Tabelle, wie in Abb. 81 angezeigt gespeichert.

Als Simulationsergebnisse können demnach die Anzahl der Grenzwertüberschreitungen und/oder die Minimal- und Maximalwerte der Einflüsse in Bezug zu Ressourcen notiert werden, zudem die grundsätzlichen Ressourcen-Zeiten, d.h. Verweil- und Benutzungsdauer an Arbeitsstationen bzw. in Relation zu Tätigkeiten. Von diesen Daten wird bereits im Bezug zu den Ausprägungen der verschiedenen Experimente der Durchschnitt gebildet. Darüber hinaus werden die Verläufe der Einflussrisikowerte für jedes Experiment und jede Ressource, bei der es Wertveränderungen gibt, über die Zeit gespeichert (was zu sehr langen Listen führen kann). Grundsätzlich kann man solche Verläufe nur im Einzelfall betrachten (wegen des Rauschens), allerdings muss dabei immer der Zusatz angemerkt werden, dass es sich um eine ideale oder schlechte Ausprägung handeln kann. Gleichzeitig kann im Kontext der Belastung von Menschen davon ausgegangen werden, dass die schlimmste anzunehmende Möglichkeit in Betracht gezogen werden sollte, um Schaden zu vermeiden, egal wie wahrscheinlich sie ist.

Die Bezugsherstellung zwischen diesen sozial orientierten Ergebnissen und den anderen ökonomisch und ökologisch orientierten Ergebnissen wird vom System selbst nicht hergestellt. Dies bedeutet, dass eine Nachhaltigkeitsbewertung nur im Nachhinein durch erfahrene Mitarbeiter der entsprechenden Fachrichtungen erfolgen kann. Die Datengrundlage für eine solche Bewertung wird allerdings vom System bereitgestellt. Bzgl. der sozialen Kennzahl, die im Hinblick einer summierten Abweichungsrate gebildet werden sollte, ist ferner anzumerken, dass es, je nach Modellierung, zu Ausfällen von Humanressourcen kommen kann, entweder wenn ein Schwellwert mehrfach überschritten wird oder er sehr stark überschritten wird. Dies impliziert, dass die Abweichungsrate, die sich grundsätzlich auf den schlimmsten Wert bezieht, nicht zwangsläufig die Ausfallhäufigkeit widerspiegelt. Dennoch wurde dieser Weg bevorzugt, da die höchste Belastung grundsätzlich auch das höchste Gesundheitsrisiko darstellt. In der Zukunft kann diesbezüglich das Konzept noch verfeinert werden und beide Kennwerte (Ausfallhäufigkeit/Anzahl der Grenzwertüberschreitungen und Abweichungsrate) konzeptionell miteinander zu einer Kennzahl verbunden werden.

Um den Einsatz der Software an Fallbeispielen aus der Industrie zu demonstrieren, wird folgend auf zwei Modelle verwiesen, die im Rahmen des SimSu-Projektes der HTW mit der Simulationssoftware MILAN erstellt wurden und die im Zuge dieser Arbeit und der Entwicklung der neuen sozialen Elemente weiter bearbeitet wurden.

7 Anwendungsbeispiele und aufbereitete Ergebnisse

7.1 Fallbeispiel in der Novapax GmbH

7.1.1 Einleitung und Anwendungsfallbeschreibung

7.1.1.1 Firmenprofil und Ausgangssituation

Die Novapax GmbH war mit ihrer Berliner Filiale als Projektpartner an dem Forschungs- und Weiterbildungsprojekt SimSu der HTW Berlin beteiligt, welches vom Ende 2013 bis Mitte 2015 unter Mitwirkung des Autors durchgeführt wurde. In diesem Projekt wurde die Software MILAN zur Modellierung und Simulation von Produktionsabschnitten eingesetzt.

Die Novapax GmbH ist in der Kunststoffbranche tätig und erzeugt diverse Verbundteile und Spritzgussdichtungen auf Basis von verschiedenen Granulaten, siehe beispielhaft Abb. 82:

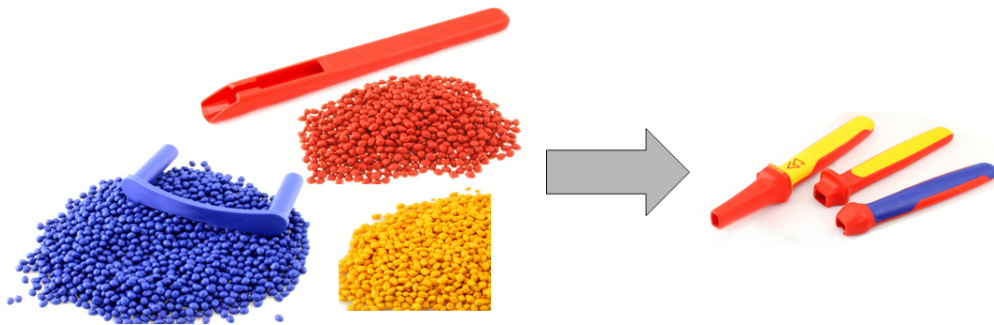


Abbildung 82: Herstellung von Verbundteilen auf Kunststoffbasis, Bildquelle: <http://www.Novapax.de>

In der Berliner Filiale sind zu diesem Zweck unterschiedliche Maschinen im Einsatz, die zu großen Teilen nicht verbunden sind, sondern einzeln Granulate in fertige Produkte umwandeln. Dies bedeutet, dass die durchaus üblichen Abbildungen von Produktionsstraßen und die Verbindung mehrerer Maschinen sich für die Anwendungsfälle auf die Betrachtung einzelner Maschinen und ihrer Logistikanforderungen beschränkten. Daraus entstand eine erhebliche Komplexitätsreduktion, da es kein Abhängigkeitsverhältnis von Maschinen untereinander gab, d.h., dass Produktionsschritte einzelner Maschinen, in den untersuchten Fällen, nicht in Abhängigkeiten zu Vorleistungen anderer Maschinen standen. Gleichzeitig wurden allerdings Wartungsarbeiten an Maschinenteilen, die für Abdrücke genutzt wurden, mit in die Betrachtung aufgenommen, was zu zusätzlicher Systemdynamik beitrug.

Die Komplexitätsreduktion auf Basis der einzeln zu betrachtenden Arbeitsstationen erlaubte eine verstärkte Konzentration auf die menschlichen Aktivitäten. Hinsichtlich der Mensch-Maschine-Interaktionen bezogen sich diese hauptsächlich auf die Befüllung der Maschinen sowie auf die Entnahme der fertigen Produkte, wobei die Parametrisierungen der Stations-Einstellungen sowie Säuberungstätigkeiten von Gussformen³⁷⁴ bzgl. ihrer negativen Auswirkungen auf die Mitarbeiter in diesem Fall ignoriert und sich ganz auf die Befüllung der

³⁷⁴ Es ist anzumerken, dass die Gussformen auch als Werkzeuge bezeichnet werden, und dass deren Säuberung von großer Bedeutung für die Qualität der Endprodukte, sowie zur reibungslosen Funktion der Maschinen ist.

Maschinen konzentriert wurde. Zudem wurden Lagertätigkeiten und die Ausführungen von generellen Beschaffungs- bzw. Logistikdiensten durch Menschen größtenteils ignoriert, bzw. Nicht-Belastungs- und Erholungsphasen zugeordnet, um sich auf die tätigkeitsbezogenen Einflüsse der Mensch-Maschine-Relationen bzgl. einzelner Produktionsabschnitte zu konzentrieren. Es ist jedoch anzumerken, dass falls Lagertätigkeiten von denselben Menschen ausgeführt würden, die bereits in der Produktion arbeiten, und die Tätigkeiten in ihrer Belastung vergleichbare Einflüsse entfalten würden, sie in die Betrachtung aufgenommen werden müssten. In den bestehenden Beispielen ist dies allerdings nicht der Fall gewesen, der Hinweis wird zur Erläuterung der Perspektive dennoch in der Diskussion aufgegriffen.

7.1.1.2 Generelle Informationen zu den erhobenen Daten und Vorgehensweisen

Um Sperrvermerke zu umgehen und aufgrund der zurückgestellten Bedeutung der ökonomischen und ökologischen Perspektive (da diese bereits im Vorfeld dieser Arbeit zur Anwendung kamen, bspw. im EcoFactory Projekt der HTW, prototypisch auch in der Dissertation von Wohlgemuth) wurden die ökonomischen grundlegend und die ökologischen Daten bei betriebsinternen Besonderheiten verfälscht. Die untersuchungsrelevanten Relationen in den perspektivischen Vergleichsanalysen (Abschnitt 7.1.3.3) allerdings beibehalten.

Persönliche Mitarbeiterdaten wurden aufgrund von datenschutzrechtlichen Bedenken nicht erhoben, sodass individuelle Ausprägungen von Belastungsverträglichkeiten sowie gefühlter Belastung anhand von Normalverteilungen mit der dem Mittelwert der BAuA für die entsprechende Belastungsart (in diesem Fall Hebetätigkeit) angesetzt wurden (s. individuelle Relativität von Einfluss und Schwellwerten [vgl. BAuA, 2001, S. 1], Abb. 38, S. 151).

Hinsichtlich der Nutzung von Verteilungen wurde im Anwendungsfall nach Rücksprache mit dem Fachpersonal entschieden, ob die Nutzung von Verteilungen Erkenntnisgewinne begünstigen würden. Ausführungen dazu folgen in den Untersuchungsfallbeschreibungen.

Im Bezug zur sinnvollen Nutzung des Prototyps kann zudem auf Abb. 83 verwiesen werden. Hier wird der konzeptionelle Überblick über die Modellierung von tätigkeitsbezogenen Belastungsentwicklungen und resultierende Risikowerte erweitert. Dabei sind die Visualisie-

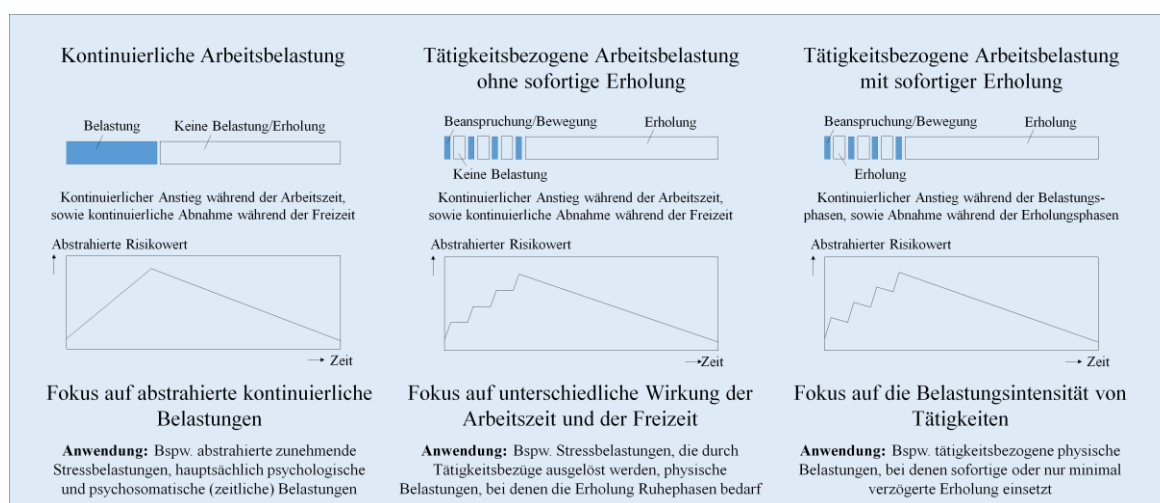


Abbildung 83: Möglichkeiten der Modellierung von Belastungsentwicklungen mittels des Prototyps

rungen wie folgt vereinfacht. Einerseits bleibt die Belastungsintensität in den Abbildungen stetig, darüber hinaus sind in den beiden Beispielen auf der rechten Seite, wegen des Auflösungsgrades, nur 4 Tätigkeiten angegeben. In der Realität kam es in einem Anwendungsfall mitunter zu 60 Hebevorgängen pro Schicht, jedoch mit reduzierten Gewichten. Letztlich sind die Zeiten zwischen den Beanspruchungsphasen in den Beispielen der Grafik vereinfacht und nicht entsprechend homogen verteilt. Die Visualisierungen sollen exemplarisch verdeutlichen, dass bereits mit den einfachen Funktionalitäten des Prototyps verschiedene Modellierungsszenarien möglich sind. So werden die Belastungsphasen grundsätzlich, wie in der Konzeption beschrieben, durch die Zuweisung von Einflüssen zu Arbeitsstationen mit Tätigkeiten verknüpft, allerdings können auch Tätigkeiten modelliert werden, die durchgängig ausgeübt werden (ohne Ressourcen zu blockieren) und somit können Szenarien gebildet werden, die der ganz linken Beschreibung entspricht. Für die folgenden Untersuchungen wird allerdings von physischen Belastungen ausgegangen, welche sich durch abstrahierte Entwicklungen ähnlich der ganz rechten Abbildung auf Abb. 83 auszeichnen.

7.1.1.3 Untersuchungsfallbeschreibung und Fragestellungen

Um die Grundfunktionalitäten des Prototyps zu überprüfen, wurden relativ simple Szenarien ausgewählt, die sich auf die Untersuchung der Belastung durch Hebetätigkeiten bei dem Befüllen der Maschinen bezogen. Dieser Fokus wurde ausgewählt, da an Maschinen zum Teil große Säcke an Plastikgranulaten gehoben werden müssen und diese mitunter sehr schwer sind. Zudem ist der Zugang zu den Füllständen vereinzelt ergonomisch erschwert erreichbar, was in Anbetracht der bereits beschriebenen Risikobewertung von Hebetätigkeiten zu beachten ist. Zudem werden mitunter diverse Maschinen von einzelnen Individuen befüllt, sodass sich diese Vorgänge während einer Schicht belastungsrelevant häufen konnten. Die generelle Fragestellung, aus der sich konkretere Untersuchungsfragen ableiteten, war zu eruieren, wie sich die Belastungsentwicklung für Mitarbeiter in einer Halle mit 16 Maschinen darstellte. Abb. 84 zeigt exemplarisch eine der Maschinenhallen in Berlin:



Abbildung 84: Maschinenhalle der Novapax GmbH, Bildquelle: <http://www.Novapax.de>

Als konkretisierte Fragestellung wurde u.a. untersucht, wie viele Menschen benötigt wurden, um die Nachfüllprozesse auszuführen, ohne dass es zu Überbelastungen kommen würde. Diesbezüglich und generell war zu eruieren, ob Gefährdungspotentiale determiniert werden konnten, die bspw. mit der Leitmerkmalmethode der BAuA nicht zu erfassen waren, bzw. welcher Mehrwert durch die konzipierte Modellierung und Simulation zu erwarten war. Zudem konnten geschlechterspezifische Fragestellungen aufgelöst werden (bzgl. der unterschiedlichen Überlastungsgrenzen). Darüber hinaus sollten die Zeiten für die Tätigkeiten evaluiert sowie verschiedene Beschäftigungsansätze überprüft werden (Schichten, Übernahme von Tätigkeiten durch andere, u.a.). Zu diesen Fragestellungen ist modellierungstechnisch noch anzumerken, dass die 16 Maschinen grob in Kategorien aufgeteilt werden konnten, da es sich jeweils nur um wenige verschiedene Typen von Maschinen handelt, wobei die gleichen Maschinentypen grundsätzlich auch nach dem gleichen Muster funktionieren und diese somit in der Modellierung/Aufbereitung abstrahiert werden konnten.

Hinsichtlich der Nutzung von Verteilungen ist noch auf die Realitätsnähe zu verweisen, so sind bspw. die Nachfüllsäcke nicht immer gleich schwer und die Füllstände werden nicht immer bei Leerstand aufgefüllt. In der Praxis sind Beschäftigte angewiesen, die Füllstände zu kontrollieren und bei Bedarf nachzuschütten, was sowohl zu unterschiedlichen Füll- und Erholungszeiten als auch zu unterschiedlichen Belastungsintensitäten während der Hebevorgänge führt. An dieser Stelle ist prinzipiell darauf hinzuweisen, dass zum Schutz der Mitarbeiter bereits betriebliche Anstrengungen unternommen wurden, so wurden bspw. Hebevorrichtungen, welche einen Großteil der Hebelast übernehmen können, angeschafft. Nach Rücksprache wurde allerdings bestätigt, dass diese in der Praxis kaum genutzt werden.

Im Hinblick auf die Nachhaltigkeit stellte sich zudem die Fragestellung, wie die Ergebnisse dieser Überprüfungen mit den ökonomischen und ökologischen Kenngrößen verschnitten und aufbereitet werden könnten. Dies wird in Abschnitt 7.1.3.3 erläutert.

7.1.2 Modellerstellung und Simulationsablauf

7.1.2.1 Einleitung und Datenaufbereitung

In den folgenden Abschnitten wird größtenteils auf die sozialen Aspekte der Datenaufnahme, Modellierung und Simulation eingegangen, weshalb einleitend noch die Vorgehensweise für die ökonomische und ökologische Betrachtung erläutert werden soll.

Wie aus Abb. 84 vielleicht bereits deutlich wurde, sind in der Halle mehr als 16 Maschinen vorhanden (zudem gibt es weitere Hallen, mit mehr Maschinen), Reduktionen ergaben sich nicht zuletzt auf Basis des Datenzugangs. Dies bedeutet, dass von zwei Maschinentypen bspw. Datenmitschnitte existierten, welche in digitaler Form zur Verfügung gestellt wurden und die folglich für eine informationstechnische Aufbereitung geeigneter waren, bzw. die die Parametrisierung von Modellen um ein Vielfaches erleichterten. Dies schloss jedoch nicht eine Aufbereitung der Daten aus, da die Maschinenmitschnitte logischerweise Rohdaten, bspw. zu Zykluszeiten, Stoffverbräuchen, Energiebedarf, u.v.m. implizierten, welche so nicht in die Simulationsmodelle eingepflegt werden konnten. Die genutzten Daten basierten dabei teilweise auf Maschinenmitschnitten vom Dezember 2013, hauptsächlich aber

auf Daten vom 09.01.2014 und 24.01.2014 (wobei später auch noch Daten erhoben wurden, die Maschineneinstellungen damit aber größtenteils abgedeckt wurden). Bzgl. der Kennzahlen ist darauf hinzuweisen, dass sich die Prozesskosten nur unwesentlich unterscheiden (da keine neuen Vergleichsprozesse eruiert wurden). Entsprechend unterschieden sich die Kosten pro Prozess in erster Linie an Energiekosten, welche in Korrelation zu den Zykluszeiten zu verorten sind, sowie an der Ausschussrate (bzw. den Materialkosten pro Produkt). Diese Ausschussrate kann in Abhängigkeit von multiplen Faktoren verstanden werden, wobei der Wartungsstand, die Sauberkeit der Bestückung von Spritzgussteilen (Werkzeuge genannt) sowie das Personal die Hauptfaktoren sind. Da die personellen Unterschiede, d.h. Eigenschaften von Humanressourcen, nicht untersucht werden sollten, wurde dieser Aspekt als nicht wesentlich für die Eruiierung der Untersuchungsfragestellung angesehen³⁷⁵.

Um die Vorgehensweise bei der Datenanalyse, Aufbereitung und Parametrisierung zu verdeutlichen kann in Abb. 85 (links) der Ausschnitt eines Tabellenblattes der Maschinenmitschnitte gesehen werden. Aus diesem konnten u.a. Zykluszeiten und Energiebedarf der Maschine ermittelt werden. Nachdem so ein grundlegendes Verständnis der Dimensionen entstand, wurde das Fachpersonal kontaktiert und Vorschläge für Maschinenparameter diskutiert. Teilweise resultierten diese Gespräche in Abstraktionen, da es zu Rückmeldungen kam, dass manche Schwankungen für die relevanten Raten (Kosten, Material- und Stoff-Verbräuche) unerheblich waren. Zusätzlich hätte es die Möglichkeit gegeben aus den Datenreihen mit Programmen wie bspw. StatFit³⁷⁶ Verteilungen zu extrahieren, die Vorgehensweise der manuellen Analyse und Absprache mit dem Fachpersonal eröffnete jedoch einen als ausreichend eingeschätzten Mittelweg zwischen Abstraktion und Detailreiche.

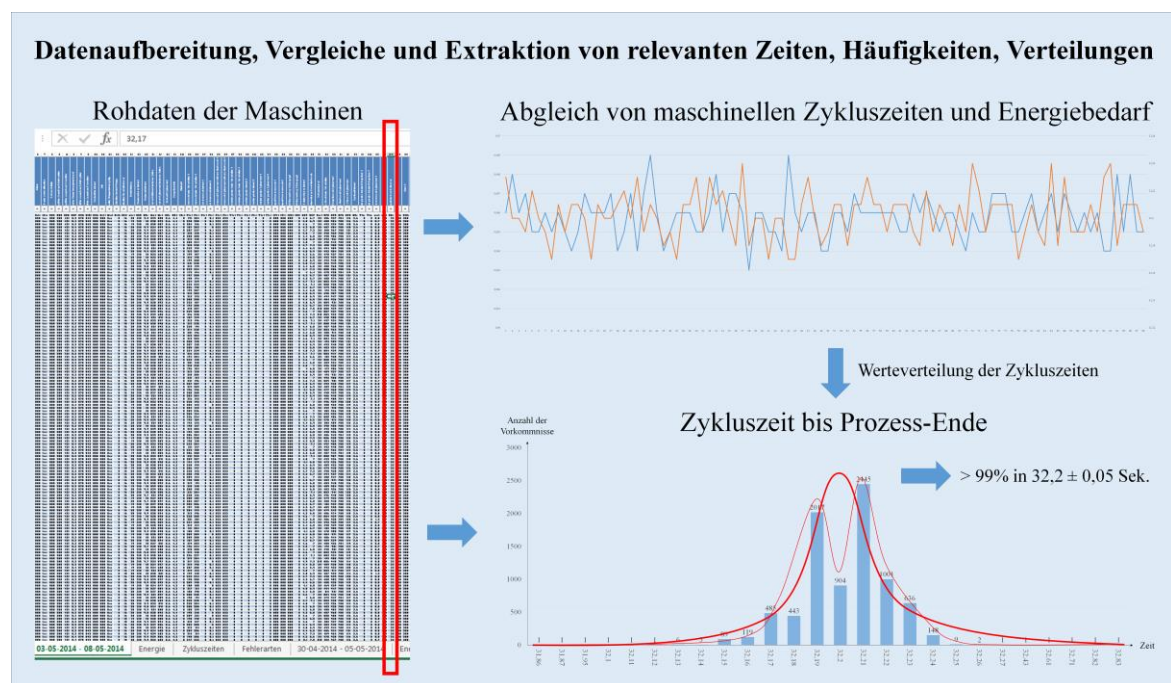


Abbildung 85: Datenaufbereitung und Ableitung von Parametern für die Simulationsmodelle

³⁷⁵ Diesbezüglich ist anzumerken, dass hier ein klarer Anwendungsfall der Software besteht, wenn man entsprechende Eigenschaften in den Prototypen eingebaut hätte. Erläuterungen warum dies nicht geschah, sind u.a. unter Punkt 8.2.6 zusammengefasst.

³⁷⁶ Siehe <http://www.geerms.com/>

7.1.2.2 Modelleigenschaften und untersuchungsrelevante Aspekte der Produktion

Um einen Überblick über die entstandenen Modelle zu geben, kann in Abb. 86 das Ausgangsmodell für die erste ökonomische und ökologische Analyse einer einzelnen Maschine gesehen werden. Hier ist zu erklären, dass an einer Maschine eine Reihe unterschiedlicher Produkte, unter Nutzung verschiedener Spritzgussformen (Werkzeuge genannt), erstellt werden können. Dies erläutert die Produkte auf den rechten unteren Seite der Abbildung und die verschiedenen Ressourcen, die im Ressourcenpool (Werkzeuge) zur Verfügung stehen. Dabei nutzt die Arbeitsstation (Formpresse) die verschiedenen Gussformen zur Erstellung der unterschiedlichen Produkte, wobei der Produkt- und Formwechsel entweder anhand der Anzahl an produzierten Gütern und/oder in Abhängigkeit des (Wartungs-)Zustands der Werkzeuge erfolgen kann.

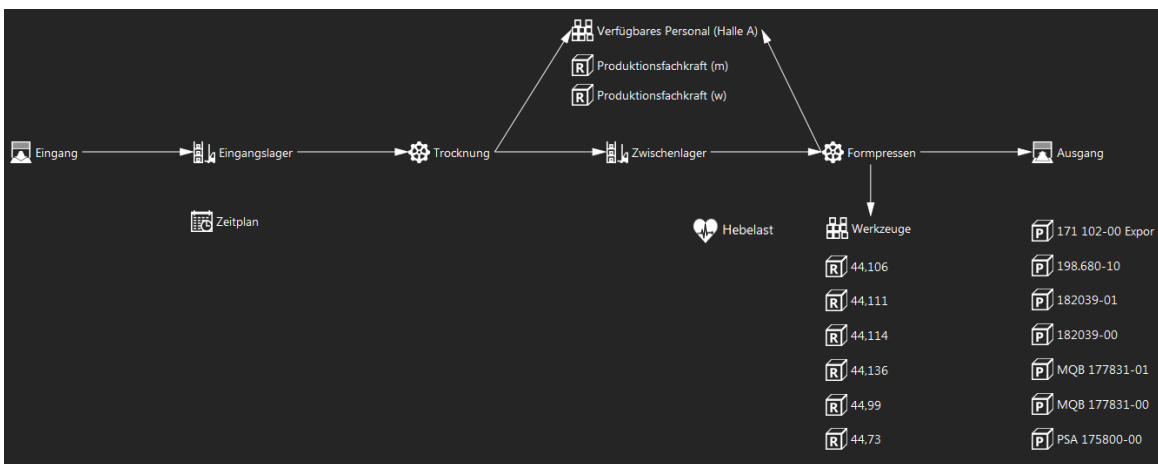


Abbildung 86: Herstellung unterschiedlicher Produkte an einer Maschine

Grundsätzlich hätten für die Herstellungsprozesse der unterschiedlichen Produkte einzelne Modelle erstellt werden können, da die Maschinenkonfigurationen jedoch für alle obig angezeigte Produktionen gleich blieben, und da dieselbe Maschine in der Realität auch alternierend verschiedene Produkte anfertigte, war diese Modellierungsart notwendig. Ferner hätte eine mehrfache Modellierung Redundanzen hinsichtlich der Eingänge, Ausgänge, Lager, etc. bedeutet, was nicht im Sinn der Modellierung und Untersuchung der Produktion war. Um die Alternierung bei der Herstellung unterschiedlicher Produkte an einer Maschine zu erläutern, ist zu beachten, dass die Spritzgussformen (Werkzeuge) nach unterschiedlich langen Phasen gewartet (gesäubert und gerichtet) werden mussten, und dass diese Wartungsprozesse mitunter zu längeren Wartezeiten an den Maschinen führen konnten. Die betriebliche Praxis diesbezüglich war, dass es entweder mehrere Formen des gleichen Typs griffbereit zum Austausch gab, und/oder dass es beim Werkzeugwechsel auch zum Wechsel der mit der Maschine erstellten Produkte kam. Diese Wechsel führten zu einer erhöhten Systemdynamik. Für die sozialen Aspekte waren sie nur bei sich verändernden Hebege- wichtungen (unterschiedliche Granulatsäcke/Füllstände) relevant, was selten war (meistens wurde an einer Maschine durchgängig dasselbe Granulat für alle Produkte verwendet). Bei Untersuchungen im Hinblick auf einen Produkttyp wurde davon ausgegangen, dass die Maschinen durchgängig den gleichen Produkttyp produzieren konnten, und dass der Werkzeugwechsel immer einen Austausch von Werkzeugen des gleichen Typs implizierte.

Hinsichtlich der Analyse von ökonomischen Kennzahlen ist zu notieren, dass manche Maschinen über interne Routinen zur Überprüfung von Kennzahlen verfügten, so bspw. ihrer internen Prozesszeiten oder der Ausschussrate. Dies implizierte auch, dass Maschinen selbstständig die Häufigkeit und den Grund von Fehlproduktionen, Produktionsabbrüchen und erhöhtem Ausschuss speicherten. Siehe dazu Abb. 87 am unteren Rand und Abb. 88 für eine Übersicht mit begrenzter, aber schon aussagekräftiger Schusszahl (ein Schuss ist ein Spritzgussfertigungsvorgang). In der oberen Grafik sind auch die internen Zeiten für einzelne Bearbeitungsschritte der Maschine zu sehen, welche sich am Ende zur erwähnten Zykluszeit summieren.

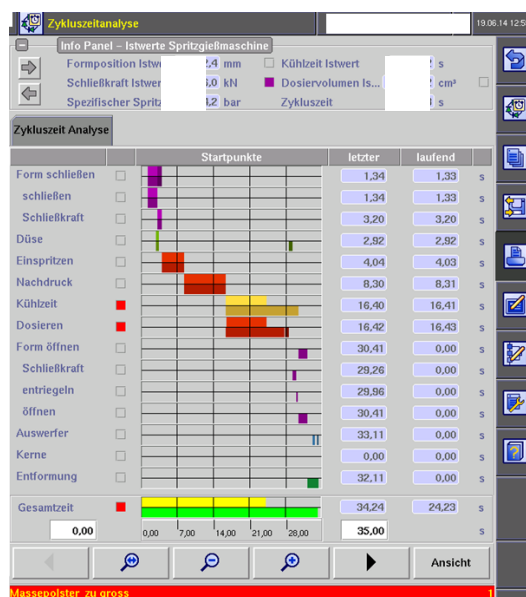


Abbildung 87: Screenshot des Infopanel einer genutzten Maschine in der Novapax GmbH

Zu dem Ausschuss, der durch die Einfahrphase verursacht wurde (s. Abb. 88) ist festzuhalten, dass dieser oft bei Phasen des Werkzeugwechsels ausgelöst wird. Es ist zu bedenken, dass die Ausschussrate ein wesentlicher Indikator der ökonomischen Leistung sein kann, da mehr Fehlproduktionen (Materialverbrauch) und Zeit, in der keine fertigen Produkte erstellt werden, logischerweise die Rendite der Fertigung mindern. An dieser Stelle war es relevant zu eruiieren, ob u.a. Hinweise auf die Ausschussrate beeinflussenden Aspekte, anhand der Simulationsergebnisse gegeben werden konnten.

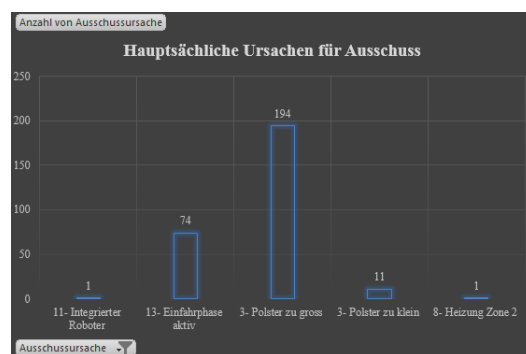


Abbildung 88: Ursachen für Ausschuss (281 Vorkommnisse auf 8779 Schuss, ca. 3,2%)

Die ökologische Perspektive korrelierte stark mit der ökonomischen, da die hauptsächlichen Treiber für die ökologische Bewertung in der Materialnutzung und dem Energieverbrauch (auch hinsichtlich der Trocknung) zu verorten waren (keine wesentliche Nutzung von Gefahrstoffen, keine substanzielle zusätzliche Schadstoffentwicklung). Der Wasserverbrauch (zur Kühlung) konnte in den Beispielen aufgrund der Datenlage nicht eruiert werden.

Um einen Überblick über den Umfang der Simulationen zu erhalten, wurden für das eingangs gezeigte (simple) Model (Abb. 86) und eine Simulationszeit von 807 Stunden (~33 Tage) ca. 127.000 Ereignisse/Events erzeugt. Dabei ist zu erläutern, dass mit nur einer Maschine, aber mit Werkzeugwechsel und der Produktion unterschiedlicher Produkte gearbeitet wurde. Von den Events kann ein Großteil für sog. ProductReceivedEvents und ProductsTransmittedEvents, also die Annahme und Weitergabe von Teilprodukten veranschlagt werden. Zudem kann, je nach Modellierungsart, eine Reihe von unterschiedlichen Ressourcenbezogenen Events einen beträchtlichen in manchen Fällen den Großteil der Ereignisse ausmachen. Im angezeigten Fall hängt dies bspw. an den vielfachen Anfragen nach Ressourcen,

die durch die Alternierung der Produktionen verursacht werden. Exemplarisch können die Anfrage (ResourceRequestedEvent), Annahme (ResourceReceivedEvent) und diverse Variationen hinsichtlich der unterschiedlichen Stadien, in denen sich die Maschine befindet (bspw. SetupResourceRequestedEvent) genannt werden, zudem kommt es zu der entsprechenden Logik hinsichtlich des Personalbedarfs für die Bearbeitungsschritte. Einen Überblick über die Ressourcen-relevanten Ereignisse kann in Abb. 89 gesehen werden:

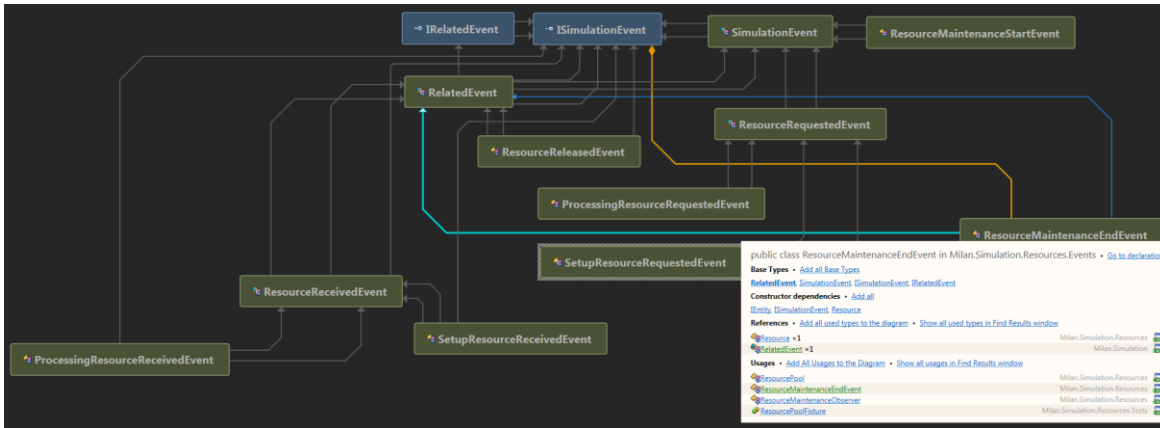


Abbildung 89: Simulationsevents mit Ressourcenbezug

An dieser Stelle sind zwei Aspekte zu notieren. Einerseits kann der Eindruck erweckt werden, dass Events redundant sind. Hier ist zu bedenken, dass es Gründe für Spezialfälle gibt (Komplexität des Produktionsablaufes). Zudem entstand aufgrund der Vererbungsmöglichkeiten hier wenig zusätzliche Arbeit bei der Codeerstellung. Andererseits ist darauf hinzuweisen, dass durch die Anforderung der Alternierung von Produktherstellung an einer Maschine und die damit verbundene Werkzeugwartung ein Spezialfall eintrat, der vorher nicht im System abgebildet werden konnte, und für den folglich zusätzliche Implementierungen notwendig wurden. Hintergrund war die Modellierung der Wartbarkeit von Ressourcen und der unterschiedlichen Wartungszeiten von eben diesen. Entsprechend wurden neue Ereignisse implementiert, die sich auf die Wartung von Ressourcen bezogen, s. Abb. 90.

```

91 public class ResourceMaintenanceStartEvent : SimulationEvent
92 {
93     private const string EventName = "Resource Maintenance Start";
94
95     public ResourceMaintenanceStartEvent(IEntity sender, Resource resource)
96         : base(sender, EventName)
97     {
98         Resource = resource;
99     }
100
101     public Resource Resource { get; set; }
102 }
103
104 public class ResourceMaintenanceEndEvent : RelatedEvent
105 {
106     private const string EventName = "Resource Maintenance End";
107
108     public ResourceMaintenanceEndEvent(IEntity sender, ISimulationEvent relatedStartEvent, Resource resource)
109         : base(sender, EventName, relatedStartEvent)
110     {
111         Resource = resource;
112     }
113
114     public Resource Resource { get; set; }
115 }

```

Abbildung 90: Events mit Bezug zu der Wartung von Ereignissen

An diesem Punkt ist besonders interessant, dass die unterschiedlichen Wartungs-/Ausfallzeiten von Werkzeugen technisch vergleichbar sind mit den unterschiedlichen Ausfallzeiten von Humanressourcen, die bspw. durch Krankheit oder Überbelastung ausgelöst werden

können und für die es ähnliche Notwendigkeiten hinsichtlich einer variablen, durch Verteilungen beschriebenen, Ausfalldauer geben musste.

Bzgl. der Personalnotwendigkeiten der Maschinen ist noch klarzustellen, dass die Maschine(n) hauptsächlich selbstständig arbeiteten und so Ereignisse in Relation zum Personal nur erzeugt wurden, wenn ein Problem bestand und/oder es gewechselt wurde und/oder es zur Befüllung oder Wartungen kam.

Wie in Abb. 89 zu sehen, kamen zu den erwähnten Ereignissen noch Ereignisse zur Determinierung von Zwischen- und Wartezeiten und Ereignisse hinsichtlich der Schichten (Start/Ende), die in der Anzahl aber zu vernachlässigen sind. Die beschriebene Simulation über 807 Stunden (33 Tage, d.h. ca. ein Monat inkl. Aufwärmzeiten) Simulationszeit, dauerte ca. 12 Minuten in Realzeit mit einem handelsüblichen PC mittlerer Performance. Die Simulationen der folgenden, größeren Modelle waren entsprechend umfangreicher.

7.1.2.3 Grundlagen für die Eruiierung der sozialen Perspektive der Produktion

Zur Eruiierung der sozialen Aspekte der Produktion wurde hauptsächlich das Modell genutzt, wie in Abb. 91 angezeigt. Im Anhang ist darüber hinaus das Modell zu finden, welches die gesamte Halle abbildete (16 Maschinen statt 10 wie unten). Dabei wurden für die Eruiierung der eingangs formulierten Fragestellungen beide Modelle genutzt, was in den Ergebnissen noch erläutert wird und mit der Dopplung von Maschinen zusammenhängt.

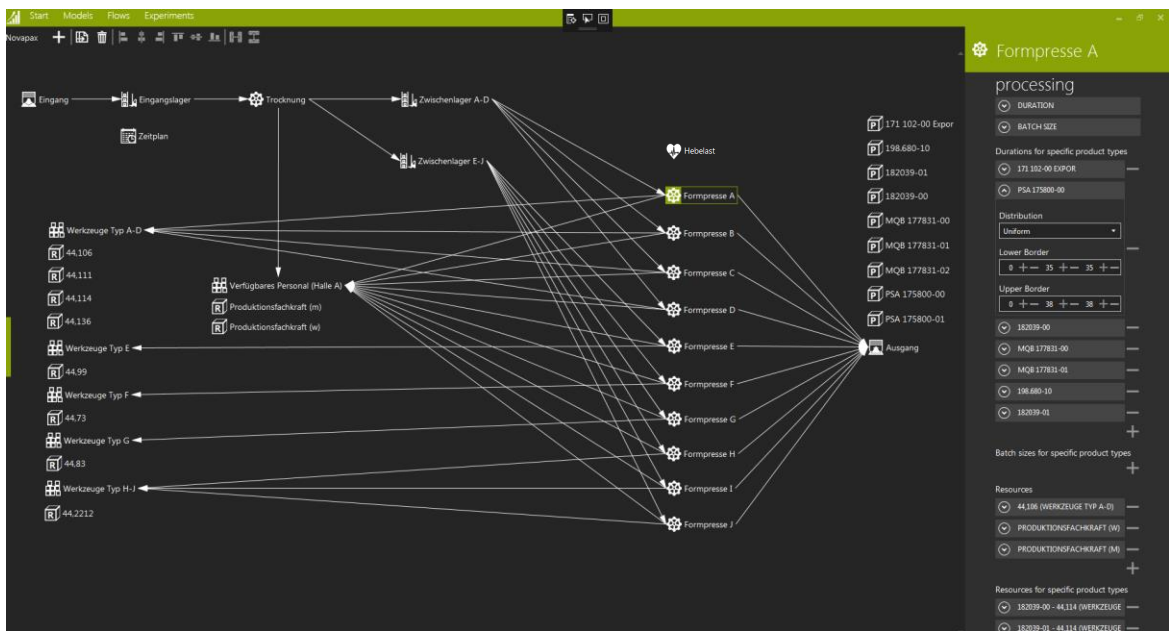


Abbildung 91: Produktionsmodell zur Eruiierung physischer Belastungen an Mitarbeiter

Wie an obiger Grafik, auf der rechten Seite, zu sehen ist, wurden die Verteilungen der Verarbeitungszeiten der Maschinen in Entsprechung der Maschinendaten-Auswertungen (vgl. Abb. 85) und nicht global für alle Maschinen gleich bestimmt. Zudem kam es zu Rücksprachen mit dem Fachpersonal bzgl. der getroffenen Auswahl. Es wurden hauptsächlich Normalverteilungen eingesetzt, allerdings kam es auch, bei nur minimalen bzw. unwesentlichen Abweichungen, zur Nutzung anderer passgenauer Verteilungen, bzw. zur Nutzung von

Konstanten. Einen Überblick über mögliche Parametrisierungen kann unter Abschnitt 7.2.2.2 gefunden werden. Dort ist in Abb. 101 eine Auswahlbox der Bearbeitungszeiten (engl.: „processing“) geöffnet zu sehen und die möglichen Verteilungen somit einsehbar.

Hinsichtlich der sozialen Wirkungen mussten noch die möglichen Ressourcen-/Personal-Blockierungen durch die Lager und Trocknungstätigkeiten bedacht werden. Diese konnten teilweise zusammengefasst werden und wurden im Bezug zu den Untersuchungsfragestellungen später so ausgegrenzt, dass zusätzliche(s) Ressourcen/Personal, welches nur für die Lager- und Trocknungsprozesse zuständig war, in den Personal-Ressourcenpool aufgenommen wurde, während die Produktionsfachkräfte sich im Modell nur um die Befüllungstätigkeiten kümmerten. Dies entsprach nicht ganz der Realität, war aber für die Untersuchungsfragestellung der maximalen Belastbarkeit angemessen. In die aufbereiteten Ergebnisse flossen beide Möglichkeiten ein.

Zu erwähnen ist noch, dass die ersten Versuche mit dem Produktionsmodell Schwachstellen hinsichtlich der Implementation ergaben, die sich insofern äußert, dass es keine Implementation von verbrauchbaren Ressourcen gab. Durch diese Abwesenheit konnten keine Events durch den vollständigen Verbrauch von Granulat ausgelöst werden, die wiederum Aktionen/Events von Mitarbeitern auslösen hätten können und an denen man somit die Häufigkeit der Hebevorgänge hätte festmachen können. Grundsätzlich war die Bestimmung der Belastungs- und Erholungsrate davon nicht betroffen, da hier eine andere Konzeption gewählt wurde, dennoch war dies generell störend. Als ersten „Workaround“ wurde zum Prozessbeginn der Fertigung eines neuen Produktes überprüft und „ausgewürfelt“, ob eine Hebetätigkeit notwendig wurde (bzw. ein Event ausgelöst wurde). Dabei bezog sich die Auswürfelung auf den Abgleich, ob die maximale Füllmenge der Maschine (in g) minus der Masse an erzeugtem Produkt (in g und seit dem letzten Auffüllen/der letzten Hebetätigkeit) bei unter 15% plus/minus einen ausgewürfelten Prozentwert (randomizer) der zwischen 0% und 15% bestimmt wurde, lag. Dies impliziert, dass geprüft wurde, ob die Maschinenbefüllung unter einem Füllstand von variablen 0-30% war und falls dies so war, eine Befüllung/ein Event ausgelöst wurde. Dieser Workaround wurde in späteren Implementationen der Software ersetzt, erfüllte initial allerdings ebenso den Zweck der Untersuchung.

Was anfänglich in diesem Zusammenhang ungeklärt blieb, war die Wertbestimmung der konzipierten Belastungs- und Erholungsraten. Die grundsätzlichen Fragen hierzu wurden bereits in der Konzeption ausgiebig und unter Abschnitt 7.1.1.2 weiterführend erläutert, der tatsächliche Wert musste allerdings selbst bestimmt werden. Hier bestand das grundsätzliche Problem, dass es keine Laboruntersuchung der physischen Krafteinwirkung auf das biomechanische System gab, wie es bspw. in der Laborstudie in Mühlstedt der Fall war, s. [Mühlstedt, 2012, S. 118]. Anstelle dessen wurden mithilfe der Leitmerkmalermittelwerte abgeleitet, welche zur Nutzung als Belastungs- und Erholungsraten adaptiert wurden. Dabei hatte diese Vorgehensweise Vor- und Nachteile. Einer der Vorteile (gegenüber eine Laborstudie mit einer/wenigen Person/en) ist, dass es nicht die Gefahr der Interpretation einer Allgemeingültigkeit gibt, d.h., dass man sich dessen bewusst ist, dass ein Mittelwert genutzt wird, der individueller Streuung unterliegt. Die Nachteile sind im Bezug zu den Schwachstellen der Leitmerkmalermittelwerte zu sehen, welche folgend erläutert werden.

7.1.3 Simulationsergebnisse und Validierung

7.1.3.1 Ergebnisse der Untersuchungsfragestellung zu den Hebevorgängen

In der Folge werden die Simulationsergebnisse präsentiert und im Anschluss anhand der Leitmerkalmethode diskutiert. Dabei ist anzumerken, dass die Belastungs- und Erholungsraten bereits auf Basis dieser Methode entstanden und sich somit die Werte, bei validem Simulationsablauf, nicht wesentlich unterscheiden sollten.

Die Simulationen ohne Ausfallmöglichkeiten der Ressourcen ergaben einen durchschnittlichen Input von 9.491.040 g Rohmaterial in ca. 33 Tagen pro Maschine. Dies entspricht ungefähr 282 Kilo Input pro Tag pro Maschine. Aus diesem Ergebnis allein ließ sich die Dimension schließen, welche sich hinsichtlich der Befüllungsanforderungen der Maschinen ergab. Aufgrund der großen Streuung der Risikowerte wurden im Prototyp erstmal nur Durchschnittswerte gebildet. Zur Vereinfachung der Berechnung wurden die Säcke zum Befüllen auf 10 Kilo gesetzt³⁷⁷.

Getestet wurde zuerst jeweils auf die Ausfallhäufigkeit von einer Ressource bei der Hinzunahme von einer Maschine (je 100 Durchläufe) und den gleichbleibenden 33 Tagen, beginnend mit dem Ausgangsmodell (die Trocknung und Lagertätigkeiten wurden ausgeblendet). Der Ausfallwert wurde auf einen Risikowert von 35 determiniert (s. Abb. 38, S. 151).

Anschließend wurde die Halle mit 16 Maschinen simuliert, beginnend mit 16 Mitarbeitern und diese wurden in der Folge reduziert, wiederum mit 100 Durchläufen und der gleichbleibenden Simulationszeit. Der Ausfallwert wurde auf einen Risikowert von 35 determiniert.

Das deutliche erste Resultat war, dass es, bei einem Ausfallwert von 35, zu keinen Ausfällen kam. Weitaus niedrigere Ausfallwerte (15-25) verursachten allerdings viele Ausfälle und zeigten so ein potentielles Gefährdungspotential ab einer Zuständigkeit von >10 Maschinen auf (was die Auswahl des zweiten Modells erklärt, welches genau 10 Maschinen hat).

Nach einer Analyse der Daten konnte dies an folgenden Kriterien festgemacht werden. Da keine konkreten physikalischen Belastungen gemessen wurden, wurde die Belastungsrate und Erholungsrate in Anlehnung an die in Kapitel 5 beschriebene Vorgehensweise, erste Tests mit dem Prototyp und Beispielrechnungen mit der Leitmerkalmethode festgelegt. Zur Ermittlung dieser Raten wurden in ersten Versuchen die ergonomischen Belastungen relativ niedrig angesetzt. So wurden die Werte für die Haltungsgewichtung und die Ausführungsbedingungen auf leichte Einschränkungen gesetzt, später wurden diese, aufgrund der möglichen Notwendigkeit zu tiefem Beugen, zur Aufnahme von Säcken, erhöht. In Verbindung mit der Lastgewichtung ergab sich so eine variierende Einflussstärke von 3 bis 7 (die Streuung ergibt u.a. sich aus der Lastgewichtung, die für volle Säcke bei 10 kg auf 2 zu setzen ist und für halbvollere Säcke somit unter 10 kg anzusetzen ist und sich folgend 1 beträgt) sowie auf die unterschiedlichen Möglichkeiten zur Festlegung der Einschränkungen während der Hebetätigkeiten. In der folgenden Beispielrechnung wird dies verdeutlicht.

³⁷⁷ In der Praxis bestanden unterschiedliche Gewichtungen bis 25 kg, in der Anlieferung auch schwerere, wobei diese weniger manuell bewegt werden und für die Untersuchungsfragestellungen daher unerheblich waren.

In der Beispielrechnungen in Abb. 92 ist die mögliche Bandbreite der Bewertung der beschriebenen Produktion anhand der Leitmerkmalmethode angezeigt:

Abstrahierte Einflussstärke:		Abstrahierter Risikowert/Arbeitstag:	
$AE(x)$	$= L(x) + H(x) + A(x)$	$AR(x)$	$= L(x) + H(x) + A(x) * Z(x)$
	$= (1 \text{ bis } 2) + (2 \text{ bis } 4) + (0 \text{ bis } 1) = (3 \text{ bis } 7)$		$= AE(x) * Z(x)$
		$AR(x)_{gesamt}$	$= (3 \text{ bis } 7) * (2 \text{ bis } 6) = (6 \text{ bis } 42)$
		$AR(x)_{1-2 \text{ Maschinen}}$	$= (3 \text{ bis } 7) * 2 = (6 \text{ bis } 14)$
		$AR(x)_{3-11 \text{ Maschinen}}$	$= (3 \text{ bis } 7) * 4 = (12 \text{ bis } 28)$
		$AR(x)_{>11 \text{ Maschinen}}$	$= (3 \text{ bis } 7) * 6 = (18 \text{ bis } 42)$

Abbildung 92: Berechnung der möglichen abstrahierten Risikowerte anhand der Leitmerkmalmethode

Wie erwähnt wurde bei der Bestimmung der Belastungsrate anfänglich die ergonomische Belastung bestehend aus $H(x)$ (Haltungsgewichtung) und $A(x)$ (Ausführbedingungen) niedrig angesetzt. Bei der Ansicht obiger Grafik sollte daher deutlich werden, warum der maximale Ausfallwert in den Simulationen nicht erreicht wurde. So ist selbst bei Extremwerten für alle anderen Parameter nur ein abstrahierter Risikowert von 24 möglich. Die Simulation spiegelte dieses Ergebnis wieder und tatsächlich blieb es trotz Streuung immer unter dem Wert. Dies lag auch daran, dass hinsichtlich der Bestimmung der Einflussstärke bereits darauf Rücksicht genommen wurde, dass der Wert für die Lastgewichtung eigentlich zwischen 1 und 2 liegen müsste (da es jeweils alternierend zum Heben von 10 kg schweren Säcken kommt und unter 10 kg schweren, da nur bis oben zum Füllstand aufgefüllt werden kann). Da dies anhand der Leitmerkmalmethode nicht berücksichtigt werden konnte, wurde der Wert für die Belastungsrate ein wenig nach unten korrigiert, was zusätzlich erklärt, warum die Maximalbelastung nicht erreicht wurde. An dieser Erläuterung und obigen Rechnungen kann man zudem die Schwachstelle der Leitmerkmalmethode erkennen, s. Abb. 93:

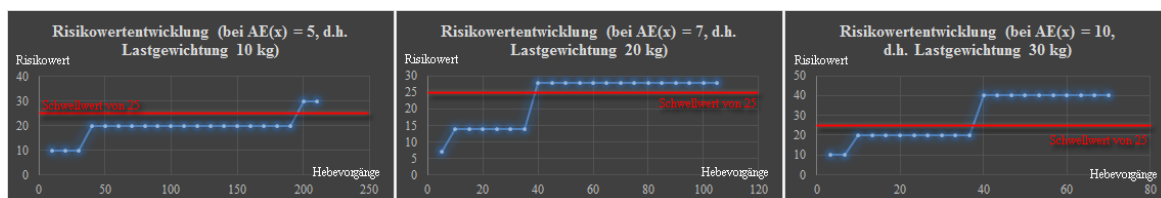


Abbildung 93: Rechnungen mit der Leitmerkmalmethode zur Veranschaulichung der Schwachstellen

Da der Ansatz der BAuA, eine schnelle Beurteilung von Gefährdungen erlauben soll und eine einfach auszufüllende Checkliste zur Berechnung impliziert, sind die möglichen Abstufungen zwangsläufig grob. Dies wird besonders deutlich wenn man die Lastgewichtung erhöht, wie in obiger Darstellung (links 10 kg, mittig 20 kg, rechts 30 kg). Wie deutlich zu sehen ist, bleibt der Risikowert, trotz großer Belastungsunterschiede in Abhängigkeit der Berechnungsmöglichkeiten, oft auf demselben Niveau. Dies ist in der Realität grundsätzlich nicht der Fall und so bietet die Simulation im Prototyp mittlerweile die Möglichkeit, die Steigung der Belastungsintensität über den Zeitverlauf deutlicher zu betrachten.

Um die obige Streuung der Zeitgewichtung noch zu erklären, wurde zu ihrer Einschätzung auch die Simulation genutzt, als erste Läufe zur Überprüfung der Häufigkeit von Hebetätigkeiten durchgeführt wurden. Aus diesen Überprüfungen ergab sich ein durchschnittlicher Wert von um die 21 für die täglichen Auffüllnotwendigkeiten (hinsichtlich der Schwankung

einer Auffüllung bei 0-30% Füllmenge und 15 kg Füllvolumen). Für eine Schicht bedeutete dies wahlweise die Anforderung an 6-8 bzw. 13-17 Hebevorgängen pro Schicht pro Maschine. Die Verdopplung sollte deshalb genutzt werden, da das Füllvolumen der Maschine das Volumen der Füllsäcke übersteigt und somit zwei Hebevorgänge notwendig werden, da die Säcke auch zu Teilen aufgebraucht werden (und jeweils einmal mit reduziertem Gewicht, d.h. nur einmal die vollen 10 kg). Bei einer Maximalbelastung eines Mitarbeiters (Zuständigkeit für alle Maschinen) und dem Extremwert 17 käme es so zu 289 Hebevorgängen in einer Schicht. An diesem Maximalwert wird auch die Ergebnisbewertung deutlich. So wird selbst bei Minimalwerten für alle anderen Parameter ein Risikowert von 24 erreicht, der gefährlich nahe an der Grenze zur möglichen Beeinträchtigung ist. Dies in Verbindung mit höheren ergonomischen Anforderungen führte zwangsläufig in weiteren Simulationen zu sich häufenden Ausfällen.

Das Endresultat der Simulationen hinsichtlich der Untersuchungsfragen zeigte dabei auf, dass mindestens zwei, eher drei Mitarbeiter für die bestehenden 16 Maschinen zum Auffüllen eingesetzt werden sollten, da es ab über 10 Maschinen zu häufigeren Ausfällen aufgrund der Belastung kam, wenn nur eine einzelne Human-Ressource eingesetzt wurden. Dies deckt sich größtenteils mit der Leitmerkmalmethode (vgl. Abb. 92), wobei die Nutzung der Simulation eine genauere Aussage erlaubt. Grundsätzlich ist zu sagen, dass die Beschäftigungspraxis hinsichtlich der Aufteilung der Befüllung auf mehrere Mitarbeiter, die gleichzeitig andere Aufgaben erfüllen, einer Reduktion auf Mitarbeiter, die hauptsächlich auffüllen, aufgrund der entstehenden Belastung, vorzuziehen ist. Diesbezüglich sind zusätzlich noch die mögliche Verschleppung von Belastungen zu bedenken und die individuelle Bandbreite der Belastungsresistenz, wie sie in Kapitel 5 beschrieben wurden.

7.1.3.2 Ergebnisse zu den Unterschieden zwischen Männer und Frauen

Die Fragestellung zu den Unterschieden zwischen Männern und Frauen hatte nur geringe Priorität, da es grundsätzlich keine neuen Erkenntnisse fördert, dass die physische Leistungsfähigkeit eine andere ist. Da in den beschriebenen Simulationen jeweils mit 10 Kg Säcken gerechnet wurde, kam es bei einer Produktion ohne männliche Fachkräfte, trotz kleiner Streuwerte, relativ schnell zu Ausfällen, die letztendlich auch die Produktionsmenge deutlich verringerten (wenn es keinen Ersatz gab, was bei den Versuchen mit nur einer Human-Ressource der Fall war). Im Hinblick auf Hebetätigkeiten bestehen, zumindest bei schwereren Lasten, deutliche Unterschiede, was an Abb. 94 einfach abzulesen ist.

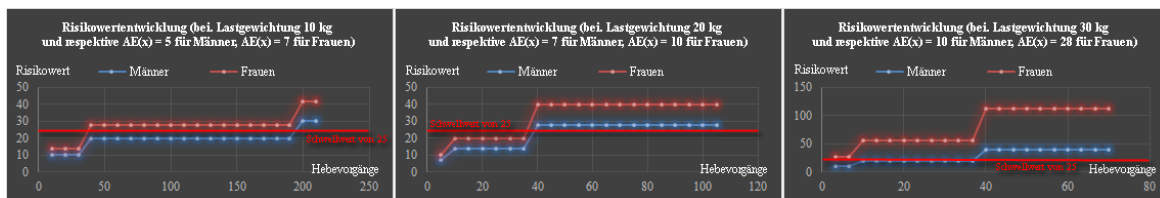


Abbildung 94: Unterschiede von Männern und Frauen hinsichtlich der Hebetätigkeiten

Als Resultate der Simulationen konnten bei 4-7 Maschinen (pro Mitarbeiterin) starke Sprünge hinsichtlich der Ausfallhäufigkeit festgestellt werden. Alle Werte darüber führten, trotz Streuung, zu sich wiederholenden Ausfällen (bei mittlerer Ergonomie, d.h. $AE(x) = 7$).

7.1.3.3 Adaption der Ergebnisse hinsichtlich einer Nachhaltigkeitsbetrachtung

Da es in den beschriebenen Untersuchungsfällen keinen wirklichen Vergleichsprozess gab, war eine vergleichende Analyse zweier Prozesse nicht möglich. Anstelle dessen soll in der Folge der Vergleich des gleichen Prozesses, jeweils mit einem Mitarbeiter, aber einmal mit 10 und einmal mit 16 Maschinen gemittelt dargestellt werden. Dies erfolgt im Bestreben, die grundsätzliche Berechnungs- und Darstellungsmöglichkeit von Nachhaltigkeitsprozessen aufzuzeigen.

Einleitend dazu, muss auf die Schwierigkeit dieser Analysen als auch auf die Aufbereitung der bestehenden Ergebnisse hinsichtlich der Nachhaltigkeitsbetrachtung hingewiesen werden. Dazu kann in Abb. 95 zweimal der Vergleich zweier Prozesse gesehen werden, links nach ökonomischen und ökologischen Kennzahlen zusammengefasst und rechts in zwei Prozessabbildungen nach ökonomischen, ökologischen und sozialen Kennzahlen:

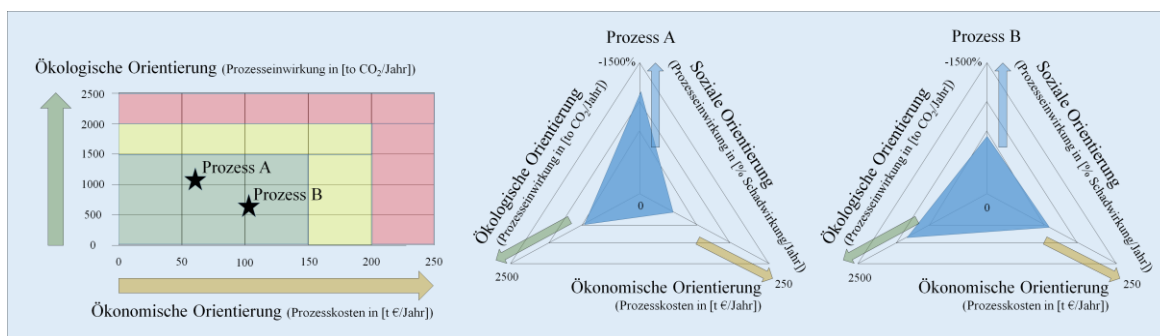


Abbildung 95: Schwierigkeiten beim Nachhaltigkeitsvergleich von Produktionsprozessen

Bei diesem Beispiel ist darauf hinzuweisen, dass es bis dato keine allgemein akzeptierte Herangehensweise gibt, die links gezeigten Prozesse A und B hinsichtlich ihrer Gesamtqualität zu qualifizieren (s. exemplarisch den Versuch in Odeh zur Aufrechnung aller drei Perspektiven [Odeh, 2013, S. 134 ff.] oder Kleine [vgl. Kleine, 2009, S. 83]). Anders formuliert, Prozess A ist ökologisch schlechter, aber ökonomisch besser als B. Da sich beide in tolerantanten Margen befinden (d.h. keine zu hohen Kosten und keine zu hohe ökologische Folgewirkung) obliegt es den betrieblichen Entscheidern die Auswahl zu treffen, welcher Prozess als „besser“ qualifiziert wird. Anhand dieses Beispiels sollte die Wichtigkeit der Werte- und Normenbildung deutlich hervorgehen. Es ist anzunehmen, dass sich der Großteil der betrieblichen Entscheider für den ökonomisch besseren Prozess entscheiden würde³⁷⁸. Ähnlich sieht es mit dem Vergleich auf der rechten Seite aus, wo die Wirkung der Prozesse anhand der Nachhaltigkeitsdreiecke in drei Dimensionen zu sehen ist. An dieser Darstellung orientiert sich folgend auch die Bewertung obig formulierter Prozessvarianten.

³⁷⁸ In diesem Sinne könnte die Einführung zusätzlicher sozialer Kennzahlen dabei helfen die Gewichtung ein wenig zu verschieben, gegeben den Fall, Prozesse wären sowohl ökologisch und sozial verbessert gegenüber dem wirtschaftlicheren Prozess. Gleichzeitig kann man sich aber auch gegenteilige Effekte vorstellen, in denen umweltverträglichere Prozesse und sozialere Prozesse gegeneinander ausgespielt würden, um am Ende wiederum ökonomischere durchzusetzen. Hier besteht die Hoffnung, dass durch die Verbindung ökologischer Notwendigkeiten mit positiven sozialen Folgewirkungen eben dies nicht geschieht. Die Problematik in diesem Fall ist, dass die Nachbetrachtung der Systemübergreifenden Folgewirkungen (ganzheitliches Denken) in diesem Fall nicht in die Betrachtung eingehen und somit die soziale Bedeutung ökologischer Kennzahlen nicht in die Berechnung eingeht.

Als Grundlage für die Berechnungen der sozialen Gesamtleistung wurde für beide Prozesse ein durchschnittlicher Risikowert ermittelt. Dazu wurde der Risikowert in der Simulation kontinuierlich aufaddiert und am Ende gemittelt und dies jeweils für die beiden beschriebenen Szenarien. Daraufhin wurde jeweils die Abweichungsrate von einem Schwellwert ermittelt, der mit 25 angesetzt wurde (bis 25 gelten Prozesse als „praktisch sicher“ [BAuA, 2001, S. 1]). In der grafischen Darstellung wurde auf die Nutzung der Abweichungsrate verzichtet und als Kenngröße der gemittelte Risikowert genommen. Die Abweichungsrate hat den Sinn verschiedene soziale Einflüsse vor einem Vergleich zu integrieren, da dies für diesen Fall nicht gegeben ist, wurde darauf verzichtet.

Die ökonomischen und ökologischen Kennzahlen wurden auf Basis der Produktionssimulation ermittelt, wobei marginale Aufbereitung hinsichtlich der Vergleichbarkeit notwendig war. Einflussfaktoren der ökonomischen Kennzahl waren die Materialkosten, die Produktkosten, Kosten für die Energie der Maschinen und der Trocknung, sowie die verschiedenen Personalkosten. Von den hier nicht genannten Einnahmen pro Produkt wurden anschließend die Materialkosten, Stromkosten, ein selbst gewählter Fixbetrag für Verwaltungskosten (der für beide Varianten gleich war) und die im Szenario veranschlagten variablen Personalkosten abgezogen. Anschließend wurde die ökonomische Kennzahl dadurch gebildet, dass der Gewinn pro Produkt ermittelt wurde. Für die ökologische Kennzahl fehlten Datensätze zu den spezifischen Kunststoffen, hinsichtlich der E-LCA. Eine exakte Entsprechung konnte nicht in der Datenbank gefunden werden. Folglich wurde auf default-Datensätze zurückgegriffen, was die Bewertung möglicherweise verzerrte. Da die ökologische Kennzahl sich aber auch pro Produkt errechnete und die Herstellungsprozesse identisch waren, blieb die Kennzahl für beide Varianten identisch, sodass sich letztlich folgende Vergleichsmuster für die beiden Prozesse ergaben:

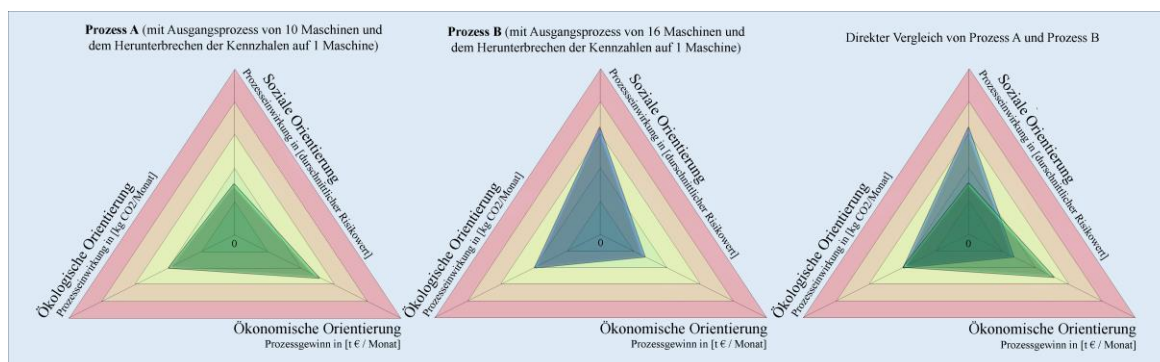


Abbildung 96: Vergleichende Analyse sozialer, ökonomischer und ökologischer Prozesskennzahlen

Eine Vorgehensweise zur Handlungsempfehlung ist nun die Berechnung der prozentualen Distanz der Prozesskennzahlen zu ihren als kritisch gewerteten Ausprägungen. Dadurch würde ein relatives Muster entstehen, welches eine wissenschaftliche Basis hätte und dem Prinzip nach vorgehen würde, sich der gefährdetsten Dimension als erstes anzunehmen. Im Lichte der drei kritischen Aspekte der wirtschaftlichen Überlebensfähigkeit des Unternehmens, der körperlichen Unversehrtheit von Individuen und dem Schutz der Umwelt scheint diese Vorgehensweise als grundsätzlicher Ansatz zum Schutze bestehenden Kapitals und demnach der Kernidee von Nachhaltigkeit entsprechend.

7.2 Fallbeispiel ERK EckRohrKessel GmbH

7.2.1 Einleitung und Anwendungsfallbeschreibung

7.2.1.1 Firmenprofil und Ausgangssituation

Die ERK EckRohrKessel GmbH bearbeitet Rohre aus metallischen und nichtmetallischen Werkstoffen, in der Form, dass durch das mechanische Einfügen von Einbuchtungen an der Rohrstruktur (sog. Nebenformen) verbesserte Leistungen im Bereich der Wärme und Stoffübertragung der Rohre erreicht werden. Durch die Veränderung der Form der Rohre wird eine Beeinflussung der thermischen und hydrodynamischen Grenzschicht der Rohre erreicht, was ihre Leitfähigkeit von Wärme und Stoffübertragung stark beeinflusst³⁷⁹.

In dem erwähnten Forschungsprojekt SimSu, in dem auch die Novapax GmbH eingebunden war, wurde eine kleine Rohrbearbeitungsanlage besucht und Daten für den Einsatz des Prototyps erhoben. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass die Anlage nur aus einer Maschine (s. Abb. 97, oben links) und Vor- und Nachbearbeitungsprozessen bestand. Zudem handelte es sich um die Bearbeitung von Einzelaufträgen, was multiple Auswirkungen auf den Modellierungs- und Simulationshergang hatte. Dies lag einerseits an den geringen Stückzahlen der Fertigung und andererseits daran, dass produktionsrelevante Daten hinsichtlich der Bearbeitungszeiten kaum zur Verfügung standen und hauptsächlich manuell aufgenommen werden mussten (was auch für die Verbräuche von Strom galt, die an der dargestellten Anzeige unten in Abb. 97 abgelesen werden mussten). Diese zum Teil schwierige Datenerhebung führte zu Einschränkungen an den Untersuchungen, wie in der Folge erläutert wird.

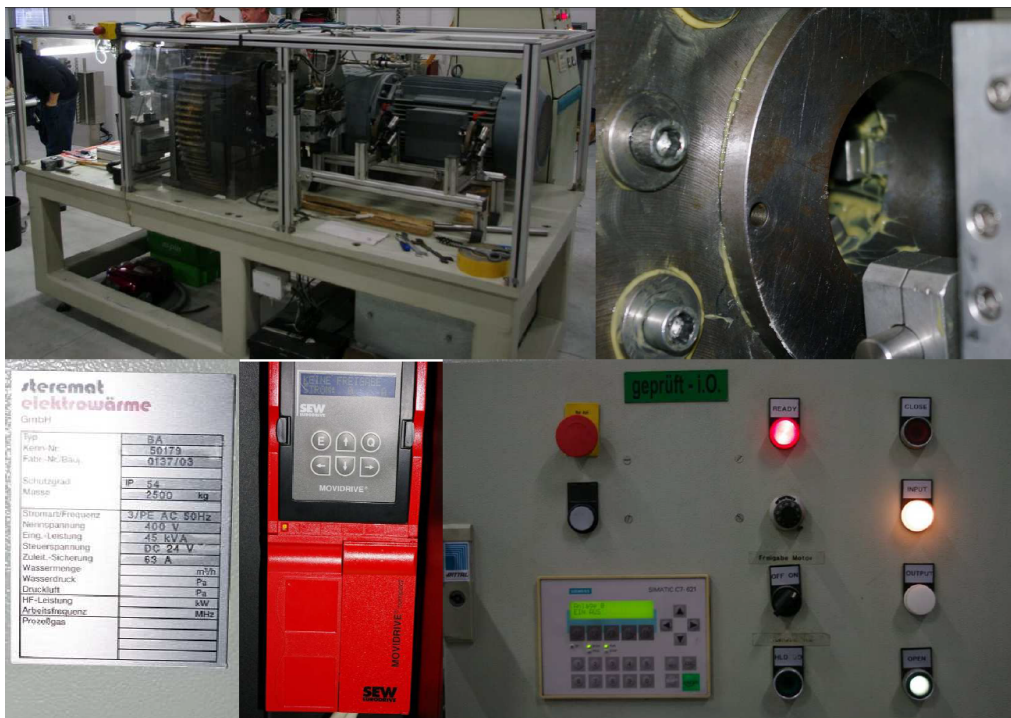


Abbildung 97: Nebenformstrukturierungsanlage der EckRohrkessel GmbH

³⁷⁹ Siehe <https://www.eckrohrkessel.com/de/hauptnavigation/forschung-und-entwicklung/ip-tube-technologie.html> für weitere Details.

7.2.1.2 Untersuchungsfallbeschreibung und Fragestellungen

In der Produktionsstätte konnten zwei untersuchungsrelevante menschliche Tätigkeiten festgestellt werden, einerseits bestand die Notwendigkeit von teils lang andauernden Rohrführungen (s. Abb. 98), da die mechanische Führung der Rohre (ca. 5-8 Meter lang) teils zu unerwünschten Abweichungen an der Rohrstruktur führten. Diese Abweichungen mussten durch aufwendige Richtprozesse, d.h. händische Nachbearbeitung unter teilweise großer Krafteinwirkung, korrigiert werden, weshalb das Fachpersonal, trotz bestehender mechanischen Führung, die manuelle Führung bevorzugte.

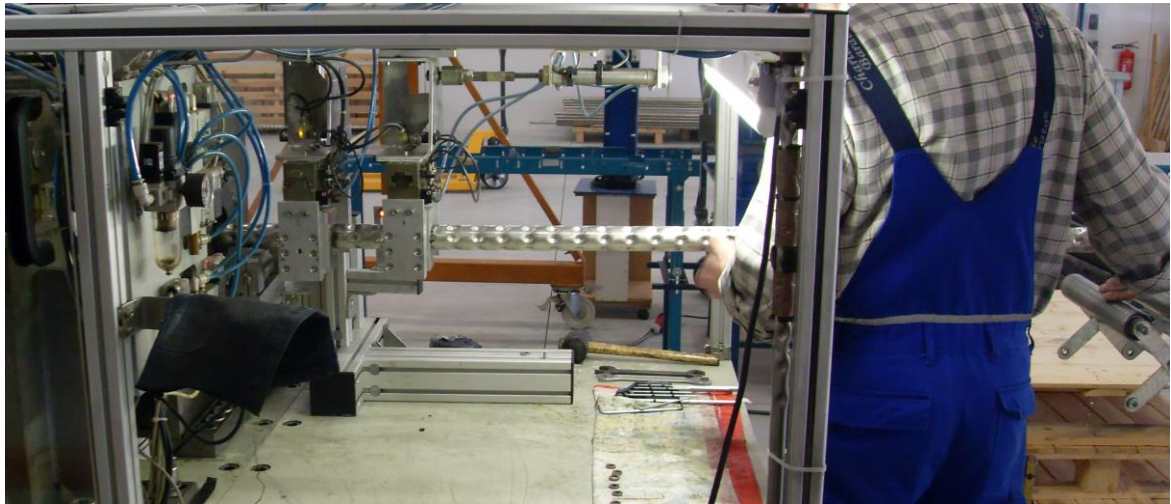


Abbildung 98: Manuelle Rohrführung in die Nebenformstrukturierungsanlage

Die Nachbearbeitung stellte auch den zweiten Teil der untersuchungsrelevanten Tätigkeiten dar, da auch bei passgenauer Führung noch manuelle Nachformungen der Rohrstruktur notwendig waren. Diese zusätzliche Bearbeitung oblag jedoch einer sehr großen zeitlichen Streuung, so wurden an einem Arbeitstag Werte gemessen, die von unter einer Minute bis zu 12 Minuten reichten. Das Fachpersonal bestätigte zudem, dass es mitunter auch länger dauern könnte. Hingegen waren die Zeiten für die Rohrbearbeitung von der Maschine für die unterschiedlichen Produkttypen konstant. Zu den Produkttypen ist noch anzuführen, dass verschiedene Umformungen, auf Basis der genutzten Materialien (C-Stahl, Kupfer, Tantal, Titan), der Rohrdicke und der Beschaffenheit der Einbuchtung möglich waren. Daraus leitete sich eine große Bandbreite der möglichen Endprodukte ab, die von der gleichen Maschine erstellt werden konnten.

Hinsichtlich der geringen Krafteinwirkung, die während der Halteprozesse auf die Mitarbeiter wirkte, wurde sich dazu entschlossen, trotz der großen Streuung, Simulationen hinsichtlich der Nachbearbeitung zu prüfen. Ausgangsbasis für die Ermittlung der Belastungs- und Erholungsraten war wieder die Leitmerkalmethode, diesmal allerdings im Bezug zur Erfassung von Belastungen bei manuellen Arbeitsprozessen, s. [BAuA, 2012, S. 1-3]. Die prinzipielle Untersuchungsfragestellung war, ob bei der manuellen Nachbearbeitung grundsätzlich Gefährdungspotentiale bestehen würden und falls ja, in welchem Rahmen/welcher Gefährdungsgrößenordnung man sich in Relation zur Dauer der Nachbearbeitungen bewegen würde.

7.2.2 Modellerstellung und Simulationsablauf

7.2.2.1 Einleitung und Datenaufbereitung

Hinsichtlich der Datenaufbereitung für die geplanten Vergleichsanalysen ist anzumerken, dass die manuelle Datenaufnahme grundsätzlich fehleranfälliger ist, als bspw. der Durchschnitt von Maschinendaten, wie es bei der Novapax GmbH der Fall war. Die Daten zum Stromverbrauch, welche sowohl für die ökologische als auch die ökonomische Evaluation notwendig waren, wurden durch das automatische Auslösen und die anschließende Auswertung von ca. 1500 Photos des Stromzählers umgesetzt. Die Nachbearbeitungszeiten wurden mitgeschrieben. Einen Überblick über die Zeiten der Nachbearbeitung kann in Abb. 99 gesehen werden. An dieser Stelle ist hinzuzufügen, dass es bei einem zweiten Besuch auch diverse Rohre gab, die keinerlei Nachbearbeitung bedurften, und dass sich die Zeiten teilweise auch nach den genutzten Materialien richteten.

Zu erwähnen ist zudem, dass es hinsichtlich der Modellierung in mehrfacher Weise um Spezialfälle handelte, so wurden bspw. die Endprodukte ebenso als Eingangsprodukte in das Simulationssystem modelliert. Dies musste so umgesetzt werden, da es nicht wirklich zu einer Konversion der Materialien kam, sondern „nur“ zu einer Bearbeitung der bestehenden Materialien und diese ihrerseits auch Anlieferungszeiten hatten.

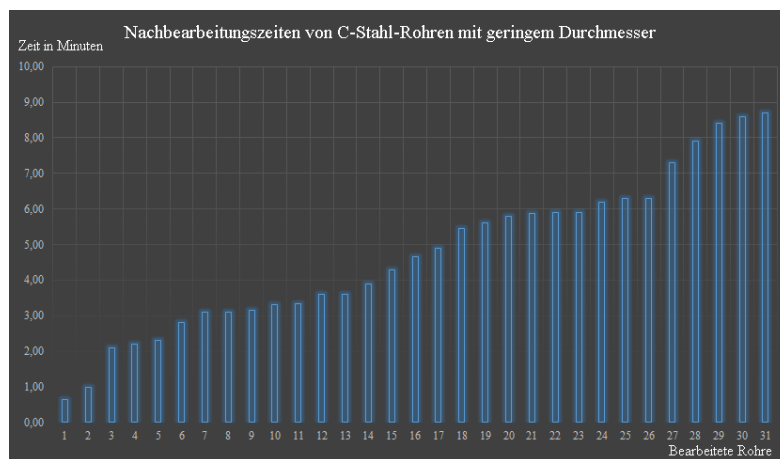


Abbildung 99: Nachbearbeitungszeiten von bearbeiteten Stahlrohren

7.2.2.2 Modelleigenschaften und Untersuchungsrelevante Fragestellungen

Ausgangsbasis für die Bearbeitung der Untersuchungsfragestellungen war die Überprüfung der generellen Simulierbarkeit der unterschiedlichen Bearbeitungsprozesse. Hierzu wurde eingangs ein kleines Modell hinsichtlich der Stahlbearbeitung erstellt. Dieses kann in Abb. 100 gesehen werden.

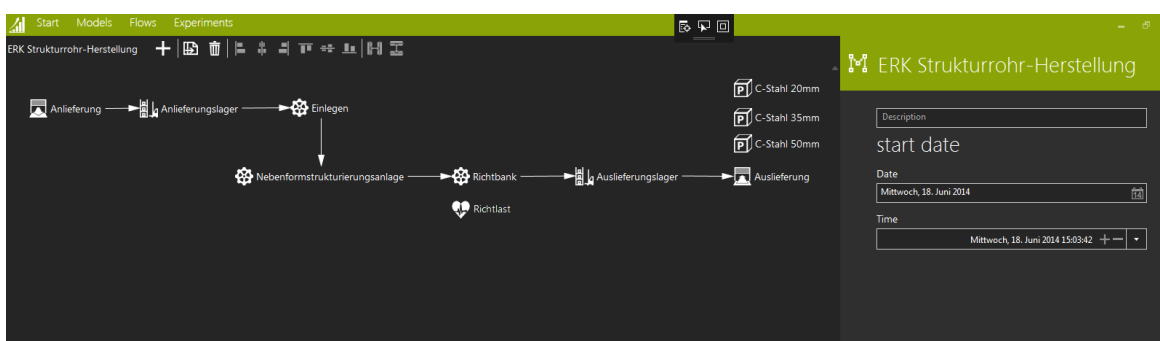


Abbildung 100: Ausgangsmodell zur Überprüfung der Simulierbarkeit der Bearbeitungsprozesse

Nachdem die grundsätzliche Simulierbarkeit der Modelle, trotz teilweise schwieriger Datenlage, festgestellt werden konnte, wurden die Daten für alle bekannten Produkte und die Bearbeitungszeiten eingepflegt. Dabei kann in Abb. 102 auch eine Übersicht über die nutzbaren Verteilungen in der Software Milan gesehen werden. Zudem wird an der Grafik erneut sichtbar, dass die Produkte, die auch in Abb. 101 zu sehen sind auch als Eingangsmaterialien definiert wurden, inklusive ihrer Anlieferungszeiten (bzw. Eintrittszeiten ins System).

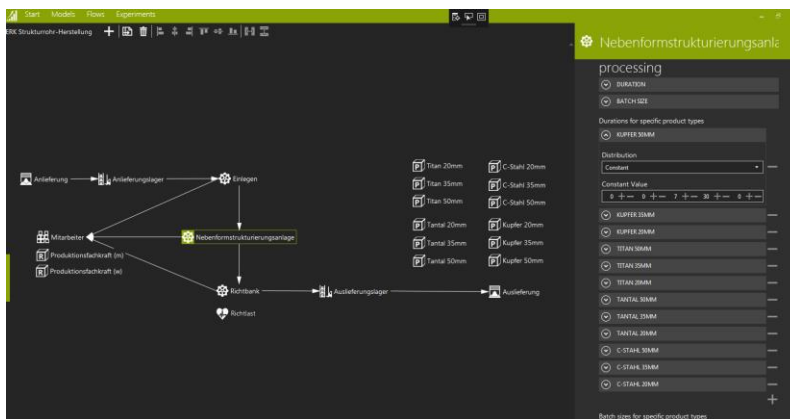


Abbildung 102: Simulationsmodell ERK mit allen Produkten

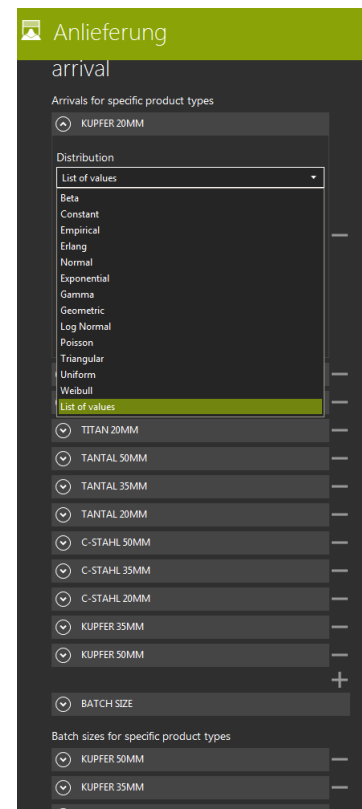


Abbildung 101: Verteilungen

Hinsichtlich der Untersuchungsfragestellungen ging es hauptsächlich darum, zu eruieren, ob die Summierung der Zeiten eine so starke Gewichtung der Zeitgewichtungskomponente implizieren würde, dass der Basiswert der Belastung zu möglichen Überbelastungen führen könnte. Zudem war noch unbekannt, wie mit der starken Streuung umzugehen sei. So wurden in den ersten Experimentdurchläufen mit Werten zwischen knapp 2 und gut 6 Minuten für die Nachbearbeitung gerechnet (s. Abb. 103). Diese Spanne musste auf Basis neuer Datenaufnahmen an Folgetagen noch deutlich verbreitert werden (was auch bereits anhand Abb. 99, bzw. dem zugrundeliegenden Datensatz einer Tagesmessung, dargestellt wurde).

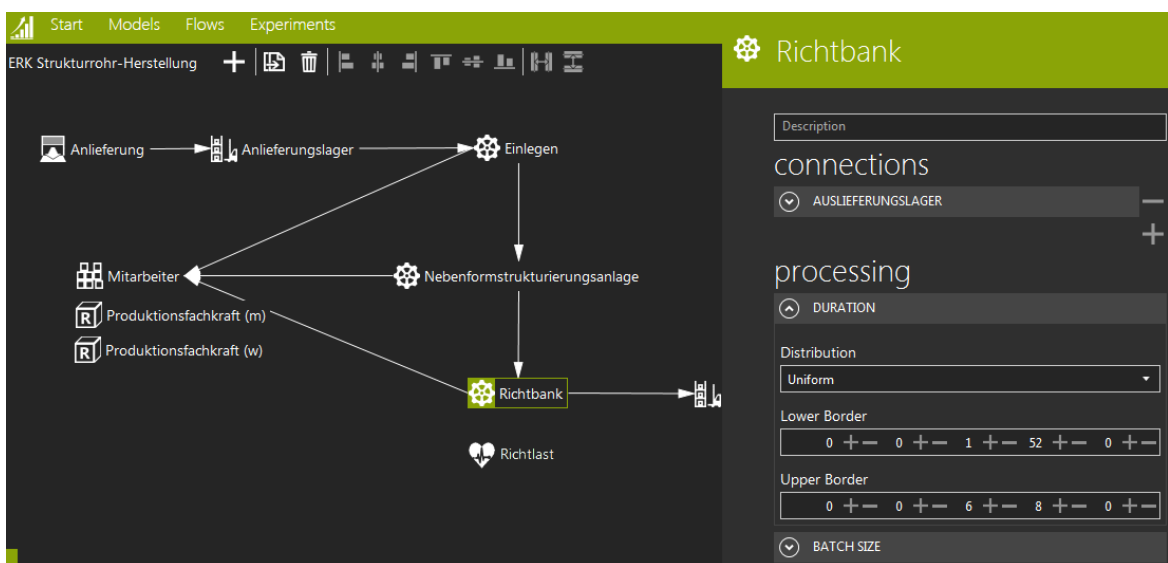


Abbildung 103: Parametrisierung der Nachbearbeitung

7.2.2.3 Bestimmung der Belastungsraten zur Modellierung der sozialen Aspekte

Die Herleitung der Belastungsrate(n) stellte sich für diesen Anwendungsfall sehr schwierig dar, da ein Grundverständnis für die Belastungsintensität bei den manuellen Arbeiten nur begrenzt vorhanden war. Aus diesem Grund wurde vielfach versucht, sich anhand von Simulation spielerisch an logische Werte anzunähern. Die Hinweise des Fachpersonals hinsichtlich ihrer gefühlten Belastung und bzgl. des Arbeitsaufwandes waren zudem nur bedingt eindeutig. Als Konsequenz ließen sowohl die Datenaufnahme als auch die Rücksprachen mit dem Fachpersonal eine ziemlich große Bandbreite an Eingabeparametern für die Grundevaluierung anhand der Leitmerkalmethode zu. In Abb. 104 sind dabei die Aufnahme und ausgewählten Parameter zu sehen, die schließlich als Basis für die Berechnung und Parametrisierung der Belastungsrate im Produktionssimulationsmodell dienen.

Leitmerkalmethode zur Erfassung von Belastungen bei manuellen Arbeitsprozessen
 Gibt es pro Arbeitstag mehrere unterschiedliche Arbeitsaufgaben, sind diese getrennt zu erfassen.
 Arbeitsaufgabe (links zu Firma / Abteilung / Gruppe) Version 2012

(Tätigkeitsbeschreibung)

1. Schritt: Bestimmung der Zeitchtung

Gesamtdauer dieser Tätigkeit pro Schicht (bis ... Stunden)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Zeitchtung	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5

2. Schritt: Bestimmung der Wichtungen von Art der Kraftausübung, Greifbedingungen, Arbeitsorganisation, Ausführungsbedingungen, Körperhaltung und Hand-/Armstellung und -bewegung

Art der Kraftausübung(en) im Finger-Handbereich		Halten				Bewegen				
		mittl. Haltezeit (Sek. pro Minute)				mittl. Bewegungshäufigkeiten (Anzahl pro Minute)				
		60-31	30-16	15-4	<4	1-4	5-15	16-30	31-60	>60
		Wichtung								
gering	Sehr geringe Kräfte z.B. / Isierenbedienung / Verschieben / Ordnen	2	1	0,5	0	0	0,5	1	2	3
	Geringe Kräfte z.B. Materialführung / Einlegen	3	1,5	1	0	0	1	1,5	3	5
	Mittlere Kräfte z.B. Greifen / Fügen von kleinen Werkstücken mit der Hand oder kleinen Werkzeugen	5	2	1	0	0,5	1	2	5	8
	Hohe Kräfte z.B. Drehen / Wickeln / Verpacken / Fassen / Halten oder Fügen von Teilen (Eindritze / schweißen) / Arbeiten mit kleineren angebrachten Handwerkzeugen	8	4	2	0,5	1	2	4	8	13
hoch	Sehr hohe Kräfte z.B. Kraftbeton schneiden / Arbeit mit kleinen Tackern / Bewegen oder Halten von Teilen oder Werkzeugen	12	6	3	1	1	3	6	12	21
	Spitzenkräfte z.B. Schrauben anziehen, lösen / Trennen / Einbringen / Schlagen mit Hammern, Handhämmer oder Faust	19	9	4	1	2	4	9	19	33

Der Arbeitszyklus ist zu beobachten und die Wichtungen für die Kraftkategorien zu markieren. Addiert (linke und rechte Hand getrennt) ergeben diese die Kraftwichtung. Für die Errechnung der Gesamtpunktzahl ist der höhere Wert zu verwenden.

Wichtungen der Kraftausübung:	Linke Hand: 6	Rechte Hand: 8
-------------------------------	---------------	----------------

Kraftübertragung / Greifbedingungen Einstufungshilfe Wichtung

Optimale Kraftübertragung/-einleitung / Arbeitsgegenstände gut greifbar (z.B. Stabform, Griffmulden) / gute ergonomische Griffgestaltung (Griffe, Tasten, Werkzeuge)	0
Eingeschränkte Kraftübertragung/-einleitung / erhöhte Haltekräfte erforderlich / keine gestalteten Griffe	2
Kraftübertragung/-einleitung erheblich behindert / Arbeitsgegenstände kaum greifbar (schmierig, weich, scharfkantig) / keine oder ungeeignete Griffe	4

Hand-/Armstellung und -bewegung Wichtung

Gut: Stellung oder Bewegungen der Gelenke im mittleren (entspannten) Bereich / nur selten Abweichungen	0
Eingeschränkt: gelegentliche Stellungen oder Bewegungen der Gelenke am Ende der Beweglichkeitsbereiche	2
Ungünstig: Häufige Stellungen oder Bewegungen der Gelenke am Ende der Beweglichkeitsbereiche	2
Schlecht: Ständige Stellungen oder Bewegungen der Gelenke am Ende der Beweglichkeitsbereiche / lang dauerndes statisches Halten der Arme ohne Hand-/Arm-Abstützung	3

* Es sind die typischen Körperhaltungen zu berücksichtigen. Seltene Abweichungen können vernachlässigt werden.

Arbeitsorganisation Wichtung

Häufig Belastungswechsel durch andere Tätigkeiten / mehrere Arbeitsgänge / ausreichende Erholungsmöglichkeit	0
Selten Belastungswechsel durch andere Tätigkeiten / wenige Arbeitsgänge / Erholzeiten ausreichend	1
Kein/kaum Belastungswechsel durch andere Tätigkeiten / wenige Einzelschritte pro Vorgang / hohes Arbeitstempo durch hohe Ausstattung und/oder hohe Akkordarbeitsteilung / ungleichmäßiger Arbeitsablauf mit zeitweiligen hohen Belastungsspitzen / zu wenig oder zu kurze Erholzeiten	2

In der Tabelle nicht genannte Merkmale sind sinngemäß zu berücksichtigen.

Ausführungsbedingungen	Wichtung
Gut: sichere Detaillierbarkeit/ keine Blendung / gute klimatische Bedingungen	0
Eingeschränkt: erschwerte Detaillierbarkeit durch Blendung oder zu kleine Details / Zugluft / Kälte / Nässe / Konzentrationstörungen durch Geräusche	1

In der Tabelle nicht genannte Merkmale sind sinngemäß zu berücksichtigen. Bei sehr ungünstigen Bedingungen kann die Wichtung 2 vergeben werden.

Körperhaltung	Wichtung
Gut: Wechsel von Sitzen und Stehen möglich / Wechsel von Stehen und Gehen / dynamisches Sitzen ist möglich / Hand-Arm-Auflage bei Bedarf möglich / keine Verdrehung / Kopfhaltung variabel / kein Greifen über Schulterhöhe	0
Eingeschränkt: Rumpf mit leichter Neigung des Körpers zum Handlungsbereich / überwiegend Sitzen mit gelegentlichem Stehen oder Gehen / gelegentliches Greifen über Schulterhöhe	1
Ungünstig: Rumpf deutlich vorgebeugt und/oder verdreht / Kopfhaltung zur Detaillierung vorgegeben / eingeschränkte Bewegungsfreiheit / ausschließlich Stehen ohne Gehen / häufiges Greifen über Schulterhöhe / häufiges körperfermes Greifen	3
Schlecht: Rumpf stärker verdreht und vorgebeugt / streng fixierte Körperhaltung / visuelle Kontrolle der Handlung über Lupen oder Mikroskope / starke Kopfneigung oder -verdrehung / häufiges Bücken / ständiges Greifen über Schulterhöhe / ständiges körperfermes Greifen	5

* Es sind die typischen Körperhaltungen zu berücksichtigen. Seltene Abweichungen können vernachlässigt werden.

3. Schritt: Bewertung
 Die für diese Tätigkeit zutreffenden Wichtungen sind in das Schema einzutragen und auszurechnen

Art der Kraftausübung(en) im Finger-Handbereich	8	(eigene Bemerkungen)
+ Kraftübertragung/Greifbedingungen	2	
+ Hand-/Armstellung und -bewegung	1	
+ Arbeitsorganisation	1	
+ Ausführungsbedingungen	0	
+ Körperhaltung	1	
=	Summe 13	x 2 Zeitchtung = 26

Anhand des errechneten Punktwertes und der folgenden Tabelle kann eine grobe Bewertung vorgenommen werden.

Risikobereich ****	Punktwert	Beschreibung
1	<10	Geringe Belastung, Gesundheitsgefährdung durch körperliche Überbeanspruchung ist unwahrscheinlich.
2	10 bis <25	Mittlere Belastung, eine körperliche Überbeanspruchung ist bei vermindert belastbaren Personen möglich. Für diesen Personenkreis sind Gestaltungsmaßnahmen sinnvoll.
3	25 bis <50	Erhöhte Belastung, körperliche Überbeanspruchung ist auch für normal belastbare Personen möglich. Gestaltungsmaßnahmen sind zu prüfen.
4	≥50	Hohe Belastung, körperliche Überbeanspruchung ist wahrscheinlich. Gestaltungsmaßnahmen sind erforderlich.

Die Grenzen zwischen den Risikobereichen sind aufgrund der individuellen Arbeitsschritten und Leistungsoraussetzungen fließend. Damit darf die Einstufung nur als Orientierungshilfe verwendet werden. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass mit steigenden Punktwerten die Belastung des Muskel-Skelett-Systems zunimmt.

Hrsg. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2012 www.baua.de

Abbildung 104: Evaluation des Risikowertes der Nachbearbeitung anhand der Leitmerkalmethode [vgl BAuA, 2012, S. 1-2]

Hier ist zu erwähnen, dass es zwischenzeitlich auch Risikobeurteilung von unter 10 und um die 40 gab. Die hohen Werte sind im Nachhinein auf Mißverständnisse mit dem Fachpersonal zurückzuführen. Die niedrigen Werte waren teilweise berechtigt, da es in Abhängigkeit der Materialgüte zu starken oder weniger starken Verformungen an den Rohren kommen konnte. Dies implizierte, dass es teilweise zu bspw. Stahllieferungen kam, bei denen sehr viel Nachbearbeitung notwendig war, da sich die Rohre durch den Einbuchtungsprozess deutlich verzogen, teilweise krümmten, während bei anderen Lieferungen so gut wie keine Nachbearbeitungen notwendig wurde. Diese Abhängigkeiten von der Materialgüte erklärten die großen Schwankungen hinsichtlich der notwendigen Zeiten für die Richtprozesse.

7.2.3 Ergebnisse und Beurteilung

7.2.3.1 Ergebnisse der Untersuchungsfragestellung

Tatsächlich muss für diesen Anwendungsfall eingeräumt werden, dass die Simulationsergebnisse nur bedingt aussagekräftig sind, was allerdings eher den Daten und der sehr speziellen Produktion zuzuordnen ist, als der Funktionalität des Prototyps. Bei einer Simulation über 60 Tage mit einer Belastungsrate von 0,16875 pro Minute für die Nachbearbeitungstätigkeiten kam es i.d.R. zu genügend Phasen mit milderer Belastung, sodass erhöhte Werte ausgeglichen werden konnten. Gleichzeitig gab es aber auch Experimente bei denen, auch aufgrund der Lastverschleppung, mehrfach starke Überbelastungen auftraten. Zum besseren Verständnis kann dabei angeführt werden, dass es mit der angegebenen Belastungsrate bis ungefähr 2½ Stunden Nachbearbeitungszeit pro Arbeitstag relativ überbelastungsfrei abläuft, allerdings gab es Tage, an denen sich die summierte Nachbearbeitungszeit auf 4 Stunden und mehr belief. Grundsätzlich sollten die Zeiten, die für manuelle Korrekturen an den Rohren notwendig sind, die Zeiten, die von der Nebenformstrukturierungsanlage für die Einbuchungen benötigt werden, nicht überschreiten, sodass es maximal zu einer Gleichverteilung zwischen Formung und Nachbearbeitung kommen würde. Für geringere ergonomische Belastungen, die wie auf der letzten Seite erwähnt, durchaus denkbar sind, wäre auch ein solches Gleichgewicht ein tolerables Niveau hinsichtlich der Belastungen. Allerdings ist auch diese Einschätzung aufgrund der großen Streuung und der unsicheren Daten nur bedingt zuverlässig.

7.2.3.2 Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbetrachtung

In dem Bestreben, für beide Fallbeispiele eine vergleichende Analyse zu präsentieren, wurde in diesem Anwendungsfall der Vergleich zwischen einem C-Stahl und einem Titanbearbeitungsprozess durchgeführt. Dabei sind die Ergebnisse, aufgrund der hohen Streuung, nicht eindeutig. Die Auswertung der Simulation ergab dabei verbesserte Werte für die ökonomische Kennzahl von Titan (trotz höherer Bearbeitungszeit), allerdings schlechtere in der ökologischen (stärkere Belastung auf Basis der Umwelteingriffe) und sozialen (höhere Wahrscheinlichkeit der Überbelastung) Dimension. Eine visuelle Repräsentation dieser Auswertung kann in Abb 105 gesehen werden:

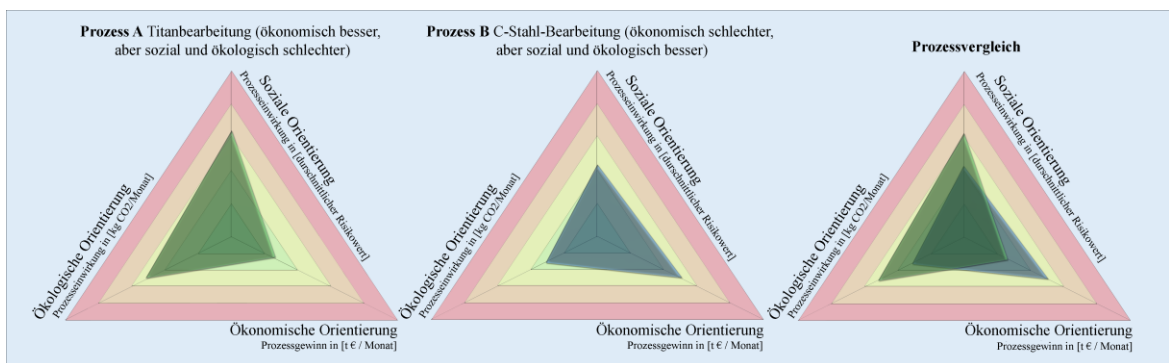


Abbildung 105: Vergleichende Analyse sozialer, ökologischer und ökonomischer Kennzahlen

8 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

8.1 Zusammenfassung der Dissertation

8.1.1 Themenschwerpunkte der Arbeit

Der folgende Abschnitt wird kurz die inhaltlichen Themenschwerpunkte der einzelnen Kapitel dieser Arbeit wiederholen und dadurch die kausale Abfolge der inhaltlichen Auseinandersetzung der gesamten Arbeit zusammenfassen.

Die verständnisbildenden Aspekte des Verfahrens der Modellbildung und Simulation wurden grundlegend in Kapitel 2 erklärt und anhand existierender Fachbegriffe und Definitionen ausgeführt (2.2). Im Hinblick auf die Produktionssimulation und den Anspruch einer Optimierung nach Nachhaltigkeitskriterien wurde darauf folgend ein verstärkter Fokus auf das Zusammenspiel zwischen Simulation und Optimierung gelegt (2.3) sowie die systemtheoretische Betrachtung von Betrieben und Produktionen (2.4) ausgeführt.

An diese systemtheoretische Wahrnehmung von betrieblicher Produktion anknüpfend, erläuterte Kapitel 3 die Bedeutung des Konzeptes der Nachhaltigkeit für die betriebliche Optimierung. Dementsprechend wurde zuerst eine Einführung in die Inhalte des Konzeptes und die Implikationen älterer und neuerer Modelle gegeben (3.1). Diese und die Anwendung komplementärer Verfahren wurden anschließend im betrieblichen und produktionsrelevanten Kontext konkretisiert (3.2) und das in dieser Arbeit genutzte Verständnis von Nachhaltigkeit und die Bedeutung für den Simulationsansatz abschließend spezifiziert (3.3).

Auf der Basis dieser Spezifikation wurde die Notwendigkeit einer genaueren Betrachtung der sozialen Säule der Nachhaltigkeit deutlich; diese wurde in Kapitel 4 bearbeitet. Diesbezüglich wurden einleitend die Schwierigkeiten der Definition und Messung sozialer Nachhaltigkeit beschrieben und wissenschaftlich aufbereitet (4.1), sodass für die Folge auch von einem grundlegenden Verständnis ausgegangen werden konnte. Die für die Produktion und ihre Modellierung relevanten sozialen Aspekte wurden folgend, anhand von verschiedenen Ansätzen (Kapitaltheorie, Nachhaltigkeitstheorie, Anspruchsgruppendefinition, etc.), konkretisiert und auch im Hinblick betrieblicher Aufnahme- und Analyseverfahren kategorisiert (4.2). Dabei wurde inhaltlich von einem Fokus auf Humankapital, Sozialkapital und Strukturkapital ausgegangen, was Rückwirkungen von Sozialkapital auf Humankapital und Strukturkapital explizit mit einschloss. Die resultierenden Abgrenzungen wurden zusammengefasst und ihre Bedeutung für die zu entwickelnde Software erläutert (4.3).

Auf der Basis der in den Kapiteln 3 und 4 erörterten Aspekte mit Relevanz für die Produktionssimulation beschrieb Kapitel 5 die Konzeption der prototypischen Implementierung. Dazu wurde auf Vorarbeiten an der Simulationssoftware verwiesen (5.1), um anschließend die methodische Konzeption zur Berechnung und Zuweisung sozialer Einflüsse zu erklären (5.2). Im Textteil dieser Arbeit wurde hier ein Fokus auf die verständnisbildenden Zusammenhänge gelegt, während im Anhang weitere Spezifikationen sowie Modelle beschrieben wurden. Bezugnehmend auf die prinzipiellen Anforderungen wurde zudem ein Abgleich

mit der bestehenden Software-Architektur vorgenommen, in dem der Ansatz auf seine generelle Machbarkeit geprüft und das Konzept softwaretechnisch ausgeführt wurde (5.3).

In Kapitel 6 wurde die prototypische Umsetzung vorgestellt. Dazu wurden zuerst softwaretechnische und entwicklungsspezifische Grundlagen des Vorgehens und der Softwarearchitektur erklärt (6.1). Anschließend wurde der Funktionalitätsumfang der Software, hinsichtlich der Modellierung von sozialen Einflüssen, ihrer Berechnung und den zu erwartenden Simulationsergebnissen dargelegt (6.2).

Um die so realisierte Softwarelösung auch in der Praxis zu testen und Simulationsergebnisse zu präsentieren, wurden zwei Fallbeispiele in Kapitel 7 erörtert. Dabei handelte es sich im ersten Beispiel um die Auswirkungen von physischen Belastungen, die durch das Nachschütten von Plastikgranulat an Produktionsmaschinen auftreten können (7.1) sowie um die Auswirkungen von repetierten Tätigkeiten und Nachbearbeitungen von Stahlrohren (7.2).

Schließlich fasst dieses Kapitel die Inhalte und Ergebnisse dieser Arbeit kurz zusammen (8.1). Zudem werden die Vorgehensweisen, Kombinationen von Verfahren und Ergebnisse kritisch diskutiert (8.2). Darüber hinaus wird auf die innovativen Beiträge dieser Arbeit verwiesen sowie ein Ausblick auf künftige Entwicklungen und Anknüpfungspunkte für weitere Forschungsansätze gegeben (8.3).

8.1.2 Zielabgleich der Arbeit

Rückblickend auf die in Kapitel 1 definierten Zielstellungen, kann grundsätzlich festgestellt werden, dass der soziale Bereich in seiner Relevanz für die Produktionssimulation exemplarisch erschlossen werden konnte. Ohne selbstreferenzierend den Grad der Zielerfüllung festzulegen, kann angemerkt werden, dass die verschiedenen Ziele sich in ihrem Erfüllungsgrad und der Detailreife der wissenschaftlichen Durchdringung unterscheiden.

Diesbezüglich hatte sich diese Arbeit als hauptsächliches Ziel gesetzt, die Relevanz der verschiedenen sozialen Aspekte für die Produktionssimulation herauszustellen und aufzuzeigen, welche Kriterien mess- und simulierbar sind. Zudem sollte diese Machbarkeit anhand eines Prototyps nachgewiesen werden. Dabei ist grundsätzlich zu trennen zwischen der prototypisch implementierten Lösung und dem umfassenderen Konzept der Eingliederung sozialer Faktoren in die Produktionssimulation sowie der Nachhaltigkeitsbetrachtung.

Das Soziale wurde im Bezug zur Nachhaltigkeit hinreichend im Kapitel 4 beschrieben. In Verbindung mit Kapitel 5 wurden ferner umfassende Konzepte zur Nutzung in der Produktionssimulation präsentiert. Die vorgestellte Umsetzung bezog sich, auf Basis der zugänglichen Datenlage aus den Fallbeispielen, nur auf ausgewählte Bereiche dieser Konzeption. Auch wenn es diesbezüglich noch viel Forschungsbedarf in den thematisierten Bereichen gibt, was teilweise auch eine Ergebnisvalidierung erschwert, konnten in Kapitel 7 zumindest Ansätze auf Basis des Prototyps präsentiert werden. In dem Sinne konnte ein Simulationsverfahren vorgestellt werden, das sowohl ökonomische, ökologische als auch soziale Aspekte in einem Produktionssimulationsmodell abbilden kann und Simulationsergebnisse ermöglicht, die für eine Nachhaltigkeitsbewertung von Prozessen genutzt werden können.

8.2 Diskussion und kritische Auseinandersetzung mit den Ergebnissen

8.2.1 Stilistische Hinterfragung von Kapitalansätzen zur Indikatordefinition

Diese Arbeit bediente sich, zur Aggregation von Nachhaltigkeitsindikatoren, u.a. sog. Kapitalansätzen. Es ist anzumerken, dass diese Ansätze aufgrund ihrer ökonomischen Konnotation und der teilweisen Reduzierung menschlicher Aspekte auf ökonomische Merkmale, zumindest in manchen Ausprägungen, kritisch zu sehen sind. Die Nutzung von Worten wie u.a. Humankapital, Humanressourcen für Menschen oder Sozialkapital kann im Diskurs bspw. mit Mitarbeitern, Betriebsräten oder Arbeitsschutzbeauftragten zu Akzeptanzproblemen führen und die Anwendung von Ansätzen erschweren. Dies wird deutlich an den mehrfachen Nominierungen und der Wahl des Begriffes „Humankapital“ zum Unwort des Jahres. Grundsätzlich wurden die Begriffe genutzt aufgrund der Theoriedichte und der Übernahme von diversen inhaltlichen Konzepten³⁸⁰. Hierzu ist anzumerken, dass Neologismen und/oder weniger vorbelastete Begriffe möglicherweise eine bessere Wahl gewesen wären.

Zudem sind Kapitalansätze inhaltlich im Bezug zu ihrer Beschreibungsfähigkeit des Sozialen zu hinterfragen. Dabei konnten die Schwierigkeiten, die von mehreren Autoren in Bezug auf die fehlende Trennschärfe von sozialen Ansätzen bemerkt wurden, zwar größtenteils überwunden werden, allerdings bleibt das Problem der Passgenauigkeit und vielfach zu ökonomischen Ausrichtung bestehen (bspw. bezugnehmend auf den transaktionsermöglichenden Charakter von Sozialkapital oder auf die Reduktion von Menschen als Ressourcen).

8.2.2 Validierung von Einflussauswirkungen und Interaktionseinflüssen

Auch wenn das Beispiel aus Badura, et al., von Baumanns und Münch (s. Kap. 4), grundsätzlich auf die Möglichkeit der Eruierung von Interaktionseinflüssen und Sozialkapital hinweist, stellt sich in der Praxis eine Überprüfung als schwierig, zumindest zeit- und kostenintensiv, dar. Eine Validierung von Auswirkungen kann höchstwahrscheinlich nur über einen längeren Zeitraum durchgeführt werden (wie es auch in der Studie zu sehen ist). Dies kann, bzgl. der Kosten, Fragen nach der Realisierung aufwerfen, da anzunehmen ist, dass sich Unternehmen, aufgrund des unsicheren ROI, weniger beteiligen. Ohne eine Validierung fehlt die wissenschaftliche Basis zur Entwicklung weiterführender Ansätze. Dementsprechend müsste in diesem Punkt voraussichtlich auf Forschungsprojekte und staatliche Zuschüsse bzgl. der Evaluation der Forschungsfragen zurückgegriffen werden.

Grundsätzlich ist zudem auf die schwierig zu evaluierende Anpassbarkeit von Menschen hinzuweisen. Diese kann mögliche Ergebnisse zusätzlich verzerren. Entsprechende Studien sollten demnach unbedingt Sozialwissenschaftler (möglicherweise Psychologen) und Arbeitsmediziner einbeziehen. Eine entsprechende multidisziplinäre Kombination an Wissenschaftlern stellt zusätzliche Anforderungen, welche die Weiterentwicklung des Ansatzes grundsätzlich erschwert, s. auch die Anknüpfungspunkte in Abschnitt 8.3.

³⁸⁰ Zudem ist auf die mögliche Verschneidung zwischen Sozialkapital, sozialem Verhalten und Umweltauswirkungen hinzuweisen, wie sie bspw. in Adger diskutiert werden („(...) *adaptation processes involve the interdependence of agents through their relationships with each other, with the institutions in which they reside, and with the resource base on which they depend.*“ [Adger, 2003, S. 388]).

8.2.3 Fehlende Integration von S-LCA-Daten und Berechnungen

Zu Beginn der Arbeit wurde fest davon ausgegangen, dass eine Integration von S-LCA-Daten auf Basis der bestehenden Schnittstellen gelingen könnte. Dies basierte auf der Hoffnung, dass die genutzte „ecoinvent“-Datenbank in einem folgenden Update auch soziale Aspekte integrieren würde und man die notwendigen Anpassungen an der Software folglich auf Basis des Updates umsetzen würde. Leider kam es zu einer entsprechenden Entwicklung im Laufe der Arbeit nicht. Zudem waren selbst akademische Lizenzen für andere soziale LCA-Datenbanken (wie bspw. die Social Hotspot Database oder PSILCA) sehr teuer³⁸¹.

Darüber hinaus ist an dieser Stelle festzuhalten, dass Folgeabschätzungen hinsichtlich der sozialen Auswirkungen von ökonomischen Gewinnen oder Verlusten (bspw. Implikationen für die Lebensqualität von Mitarbeitern oder Stärkung regionaler Ökonomien) ebenso, wie die sozialen Folgen von ökologischen Auswirkungen von Produktion (bspw. Krankheiten, wiederum die Lebensqualität oder Ressourcenzugang), nur äußerst schwer zu eruieren sind. Hierfür müssen i.d.R. regionale Daten mit verschiedenen Zeitperioden verglichen werden und die Wirkungszuweisung ist in den allermeisten Fällen, aufgrund der Komplexität, nicht eindeutig. Letztlich wurde sich aus diesen Gründen, auch aufgrund der Implikationen für den Umfang dieser Arbeit, dazu entschlossen, diese Aspekte nicht auszuführen und sich ganz auf die Ausarbeitung der produktionsinternen Elemente zu fokussieren³⁸².

8.2.4 Reduzierung der Fallbeispiele auf ergonomische Aspekte

Im Rahmen dieser Arbeit ist zudem kritisch zu hinterfragen, dass einleitend von der Notwendigkeit der Betrachtung komplexer nicht ergonomischer Stressoren gesprochen wurde, diese allerdings in den Fallbeispielen in Kapitel 7 kaum thematisiert wurden. Dazu ist anzumerken, dass die Fallbeispiele in Abhängigkeit der Daten von kooperierenden Unternehmen entstanden sind und im Rahmen eines Forschungsprojektes, das leider nur kurz ange-setzt war. Der Prototyp der Software war zudem erst zu einem späten Zeitpunkt einsetzbar, was sich gleichzeitig auf die Datenaufnahme und die Motivation der involvierten Partner auswirkte, weiche Aspekte der Produktionen zu untersuchen.

Es ist darauf hinzuweisen, dass diese Probleme vielleicht mit der richtigen Kommunikationsstrategie hätten überwunden werden können. Da allerdings die bestehenden Anpassungen an der Software und die zusätzlichen Arbeiten bereits viele Ressourcen benötigten, wurde dieser Aspekt möglicherweise vernachlässigt. Generell war in puncto der Aufnahme und informationstechnischen Bearbeitung von sozialen Aspekten noch ein gewisser Argwohn zu bemerken, welcher sich letztlich in den Ergebnissen der Fallbeispiele niederschlug. Prinzipiell sind mit dem existierenden Prototyp jedoch auch diverse nicht-ergonomische Stressoren untersuchbar. Die Abwesenheit von entsprechenden Fallbeispielen ist grundsätzlich der ungesicherten Datenlage und nicht der Funktionalität zuzuordnen.

³⁸¹ Für weiterführende Informationen zu Lizenzen und Preisen siehe bspw. <http://socialhotspot.org/licensing/>.

³⁸² An dieser Stelle sei noch auf die LABORSTA Datenbank verwiesen, die auch soziale Aspekte von Arbeit beleuchtet (wie bspw. Arbeitsstunden, Arbeitsunfälle, faire Bezahlung, etc.) für weiterführende Informationen siehe <http://laborsta.ilo.org/>. Ein kleiner Überblick über bestehende Datenbanken auch im S-LCA Bereich kann auf der Internet-Seite <http://www.greendelta.com/Datenbanken.119.0.html> gefunden werden.

8.2.5 Automatisierung von Grenzwerten stofflicher Interaktionen

In der Tradition des Ansatzes war angedacht die Interaktionsbeziehungen zwischen Menschen und Stoffen automatisch in die Einflussberechnung aufzunehmen. Diese Automatisierung wurde aus mehreren Gründen nicht umgesetzt. Einerseits sind die Stoffbezüge zurzeit über den Materialbrowser zugänglich. Dieser greift zurzeit auf eine Datenbank zu, welche nicht über Grenzwerte verfügt. Eine Kombination bspw. mit den Grenzwerttabellen der BAuA, in denen für sehr viele Stoffe eindeutige Konzentrationen und limitierende Werte angegeben sind, wäre prinzipiell möglich gewesen, gleichzeitig hätte es aber noch immer einer manuellen Parametrisierung der tatsächlichen Interaktion (Gasentwicklung, Kontakt, Konzentration, usw.) und entsprechenden physikalischen und chemischen Umrechnungen bedurft. Eine folgende Belastungsrate über die Zeit, hätte diesbezüglich, trotz aller Automatisierung, für den Einzelfall spezifiziert werden müssen und dies ist mit dem bestehenden Ansatz bereits möglich. Ein Einfluss kann jederzeit als stoffliche Interaktion im System deklariert, angelegt und die entsprechenden Parameter zur Entwicklung der Belastung eingestellt werden³⁸³. Die dafür erforderliche zusätzliche Arbeit für Modellierer, sich Grenzwerte herauszusuchen, wurde als vernachlässigbar eingestuft, im Vergleich zu dem Mehraufwand hinsichtlich einer automatischen Integrationen (Anlegen neuer Datenbanken oder Tabellen, Schreiben von Testverfahren, etc.). Anders formuliert, die Prioritätsstufe dieser Automation wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht hoch genug für eine Umsetzung eingeschätzt, da andere, offene Arbeitspakete für die Realisierung des Prototyps wichtiger waren.

8.2.6 Einbindung von menschenbezogenen Produktivitätskriterien

In den Kapiteln 5 und 6 (respektive Konzeption und Leistungsspektrum des Softwareprototyps) wurde angedeutet, dass die Einbindung von Eigenschaften für Humanressourcen mit Bezug zu Produktivitätskennzahlen und/oder der Qualität von Produkten sowohl in der Theorie als auch in der programmatischen Umsetzung relativ einfach zu realisieren ist. Diese Möglichkeiten wurden in dem Prototyp jedoch nicht implementiert. Dazu ist anzumerken, dass in Kapitel 3 bereits erwähnt wurde, dass Unternehmen Effizienzstrategien, aufgrund der erwarteten besseren wirtschaftlichen Entwicklung, grundsätzlich Suffizienzstrategien vorziehen. Ebenso werden auf staatlicher Ebene Suffizienzprinzipien i.d.R. mit einer Abkehr des „Wachstumsmantras“ verbunden und mit der vermuteten Gefahr von Arbeitsplatzabbau und negativen wirtschaftlichen Folgewirkungen³⁸⁴. Die resultierende bevorzugte Ausrichtung von betrieblicher Optimierung kann zu bedeutsamen Implikationen für arbeitende Menschen führen. So können Arbeitsplätze und folgend Ansprüche an Menschen

³⁸³ Hier ist anzumerken, dass die bestehende Einbindung von Belastungsszenarien, die komplexere Modelle benötigen würden (wie bspw. Lärmentwicklung, Ausbreitung von Gasen), nur sehr abstrahiert möglich ist, da entsprechende räumliche und biologische Modelle ihrerseits sehr hohe Daten- und softwaretechnische Anforderungen an ein System stellen würden, dessen Ausarbeitung nicht der Fokus dieser Arbeit war.

³⁸⁴ Aus diesen Gründen werden u.a. andere Konzepte zur Messung von Wohlstand und Wohlbefinden auf staatlicher Ebene relativ untergeordnet betrachtet (zumindest in Deutschland, s. bspw. Pinzler [vgl. Pinzler, 2011, S. 138]). Sehr beachtlich in diesem Kontext sind auch die Resultate die in Acemoglu, et al. diskutiert werden, hinsichtlich des Kontrastes zwischen angenommener Produktivitätssteigerung und Arbeitsplatzabbau, die durch die Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologie angeblich zwangsläufig entsteht (in den USA und im Produktionssektor), s. Acemoglu, et al. [Acemoglu, et al., 2014, S. 6].

bspw. in globale Konkurrenz gesetzt werden und so Arbeitsschutz- und Umweltstandards in regionalem und internationalem Wettbewerb, aufgrund der ökonomischen Priorisierung, geopfert werden. Folgend kann es zu negativen Auswirkungen auf Psyche und Gesundheit kommen, ohne dass diesen in den volkswirtschaftlichen Betrachtungen bisher die gleichen Stellenwerte eingeräumt werden (oder sie überhaupt in Betracht gezogen werden). Zwar können Produktivitätseigenschaften im Hinblick auf die Förderung und Ausbildung von Menschen auch grundsätzlich positiv eingesetzt werden, aber es besteht die berechtigte Gefahr, dass sie zuerst als weitere Optimierungskennzahl zur ökonomischen Effizienzsteigerung genutzt werden würden. In der Diskussion mit möglichen Partnern zum Testen des Prototyps gab es entsprechende Formulierungen, welche auf diese gewünschte Nutzung hindeuteten. Um diese Anwendungsmöglichkeit im Vorfeld des Testens auszuschließen und im Bestreben die gesundheitsspezifischen Einflüsse auf den Menschen in den Vordergrund der Forschung zu stellen und erst später zusätzliche Effizienzkenzahlen einzuführen, wurden menschenbezogene Produktivitäts- und Qualifikationsparameter in dieser Arbeit nur theoretisch betrachtet. Anzumerken ist allerdings, dass eine Eruiierung des menschlichen Produktivitätsfaktors durch entsprechende Eigenschaften in den Simulationsmodellen und mit minimaler programmatischen Erweiterung des Prototyps auch praktisch möglich ist³⁸⁵.

8.2.7 Ergonomie am Produktionsstandort Deutschland

Im Hinblick auf die teils erschreckenden Arbeitnehmerbedingungen in verschiedenen Ländern dieser Welt³⁸⁶ kann es zu Argumentationslinien kommen, dass es in Deutschland diesbezüglich ja vergleichsweise wenig zu optimieren gibt. Auch aufgrund des prinzipiellen Outsourcens von Tätigkeiten, die auf billige Arbeitskräfte angewiesen sind, um in einem globalisierten Arbeitsmarkt wirtschaftlich konkurrenzfähig zu sein, kann es zu einer Verschiebung des Auftretens von ergonomischen Belastungen bei der Produktionsarbeit in andere Länder kommen. Dies wird u.a. dadurch gestützt, dass viele wissenschaftliche Studien zur Ergonomie an Arbeitsplätzen heute aus Ländern wie Malaysia, Bangladesch, Indien und China kommen, in die viele Handarbeitstätigkeiten, wie bspw. Textilverarbeitungen, outgesourct wurden³⁸⁷. Zudem ist die Beschäftigungsanzahl im Produktionssektor in Deutschland seit den 1960er Jahren eher abnehmend. Aus diesen Hintergründen könnte man den Schluss ziehen, dass der in dieser Arbeit vorgestellte Ansatz Trends zuwiderläuft (Abnahme der Bedeutung der Produktion für Deutschland und Sicherheit in Deutschland im Ländervergleich relativ gut), und dass es deshalb weniger Notwendigkeit für diesen Ansatz gibt. Dem ist aus multiplen Gründen zu widersprechen. So ist erstens der Ansatz nicht national beschränkt zu sehen, d.h. einer Anwendung des Ansatzes im Generellen und der Software im

³⁸⁵ So können bspw. unterschiedliche Faktoren für die Produktivitätsraten von Maschinen in Abhängigkeit der zugeordneten Humanressourcen festgelegt werden, ebenso können Ausschussraten und/oder Wartungszeiten/-häufigkeiten auf dem gleichen Wege angepasst werden. Die Talentförderung, bzw. Ausbildungsaspekte können zudem durch Steigerungswerte entsprechender Faktorraten auf Basis der Schulungsdauer, bzw. Arbeitsdauer von Menschen an den Maschinen festgelegt werden. Auf dieser Basis kann zudem eruiert werden wie sich ökonomische Aspekte der Talentförderung und der Ausbildung auf lange Sicht bezahlt machen. Siehe dazu auch den Ausblick und die Anknüpfungspunkte in den Abschnitten 8.3.2 und 8.3.3.

³⁸⁶ Siehe exemplarisch die Beispiele von Chan, et al. [Chan, et al., 2013, S. 108 ff.], Dubielzig [Dubielzig, 2008, S. 2 f.] und Amnesty International [Amnesty International, 2013, S. 31 ff.].

³⁸⁷ Siehe exemplarisch Suar und Khuntia [Suar & Khuntia, 2010, S. 443 ff.], Sharma [Sharma, 2012, S. 259 ff.], Chan, et al. [Chan, et al., 2013, S. 108 ff.] oder Makhbul et al. [Makhbul et al., 2013, S. 125 ff.].

Speziellen steht auch im internationalen Maßstab nichts im Weg (so ist die Benutzungsoberfläche auch in der Standardeinstellung in Englisch gehalten und prinzipiell sprachlich erweiterbar). Zweitens ist ein Arbeitnehmer in einem Land mit schlechteren Standards zwar gefährdeter, aber die in der Einführung bereits erwähnten Krankenstatistiken aus Deutschland lassen nicht den Schluss zu, dass es nicht auch in Deutschland, trotz hoher Standards, zu Über-/Fehlbelastungen mit gesundheitlich negativen Auswirkungen kommt. Drittens sind Gefährdungspotentiale prinzipiell nur theoretisch relativ zu sehen, praktisch sind sie zu vermeiden. Zwar kann man über die Ressourcenpriorisierung zur Vermeidung debattieren, dies berührt jedoch nicht Ansätze zur Erkennung von Gefährdungspotentialen. Viertens hat sich der Trend der Abnahme der Beschäftigungsanzahl des Produktionssektors in Deutschland stabilisiert, so sind im Jahr 2013 in Deutschland noch über 10 Millionen Menschen in der Produktionsbranche tätig [Statistisches Bundesamt, 2013]. Die Bedeutung ist auch für Deutschland noch entsprechend hoch. Schließlich sind mit dem vorgestellten Ansatz auch komplexere Zusammenhänge untersuchbar (bspw. Arbeitszeit- und Teilzeitmodelle, bzw. Ansätze zu verteilter Arbeit), die gerade im Kontext einer alternden Gesellschaft in Deutschland und in Bezug auf die sich verändernden Trends von Arbeit heutzutage neue Erkenntnisse ermöglichen können. Gerade in Bezug auf die nicht ergonomischen Kriterien kann es hier zu Erkenntnisgewinnen kommen, die von großer Relevanz sind, siehe dazu auch die Ausführungen in Abschnitt 8.3.1. Abschließend ist auf die Werte- und Normenbildung hinzuweisen, aufgrund der einleitend genannten Gründe können Auffassungen entstehen (bspw. bei Geschäftsleitungen), dass Anstrengungen zum Schutz von Arbeitnehmern doch sehr hoch sind (im Vergleich zu anderen Ländern), und dass es entsprechend keinerlei zusätzlicher Bemühungen bedarf. Dies kann gleichgesetzt werden mit einer Sozialkapitaltheoretischen Normenbildung, die zu widerlegen ist, bzw. gegen die, zum Schutz der Menschen, angegangen werden sollte.

8.2.8 Hinterfragung der Operationalisierbarkeit von Nachhaltigkeit

Die Frage nach der Operationalisierbarkeit von Nachhaltigkeit wird seit dem Aufkommen der Idee sowie der Ausarbeitung von Ansätzen kontrovers diskutiert. In dieser Arbeit wurde ein Ansatz vorgestellt, der ökonomische, ökologische und soziale Aspekte eines Produktionsprozesses bewerten kann. Allerdings fehlt für die Bestimmung der Nachhaltigkeit die Folgeabschätzung dessen, was bspw. die Veränderung der ökonomischen Leistung als zusätzliche Wirkungen im Sinne von Reinvestitionen implizieren würde. Dies bedeutet, dass bspw. eine Gewinnsteigerung auf Basis einer höheren Effizienzrate, durch den Einsatz einer Produktionssimulation per se nicht nur ökonomisch wirkt, sondern auch ökologische und/oder soziale Folgewirkungen, je nach Einsatz des Gewinnes, verursachen kann. Allerdings sind beide Veränderungen in der Zukunft anzusetzen und bei der Eruierung der Nachhaltigkeit des Systems/Prozesses nur in Ausnahmefällen bekannt. Daher ist eine Einbeziehung in die Nachhaltigkeitsbetrachtung i.d.R. ausgeschlossen. Gleichwohl ist anzumerken, dass für eine ganzheitliche Betrachtung eben dies geschehen müsste, entsprechend wurde in Kapitel 7 darauf hingewiesen, dass zur abschließenden Betrachtung zumindest zusätzliche Werte zu den Endergebnissen aufgerechnet werden sollten. Zur Verdeutlichung kann der Vergleich zweier Prozesse angeführt werden, in dem der erste sozial neutral, ökonomisch besser und ökologisch schlechter wäre als der zweite. Gleichzeitig soll der Gewinn des ersten Prozesses

in Maßnahmen investiert werden, deren zuzügliche Leistung sich sehr positiv auf die ökologische Performanz auswirken würde. Für eine Nachhaltigkeitsbewertung oder den Vergleich der Prozesse müsste man entsprechend die Wirkung der Prozesse mit der Folgewirkung der Reinvestition zusammenfassen. Eben dies wird in der Analyse von Produktionsprozessen allerdings nicht immer getan, da bspw. die Nutzung der Gewinne nicht zwingend im Vorfeld feststeht und/oder sich nicht im Kompetenzbereich der Fachkraft befindet.

Zusätzlich sind die Ausführungen von Paech und Weizsäcker im Hinblick auf sog. Rebound-Effekte besonders zu beachten. Paech bezieht sich auf Weizsäcker, als er erklärt, dass Effizienzsteigerungen in der Regel nicht zu weniger Umwelteinwirkungen führen, sondern, im schlimmsten Fall, sogar gegensätzliche Auswirkungen haben [Paech, 2013, S. 84 ff.]. Wie auch in Kap. 3 dargelegt ist die Unternehmensseite auch bei einer Effizienzsteigerung prinzipiell nicht an der Reduktion des Outputs interessiert, sondern vielmehr an der Kostenreduktion (bzw. Reduktion des Inputs). Folglich können Unternehmen bei gleichem Output Kostenreduktionen ihrer Produktionen in zusätzliche Einkäufe und folgend wiederum höheren Output und/oder für weitere Investitionen in neue Umweltbelastungen-verursachende Maßnahmen einsetzen. Genauso können Optimierungen von Systemen zu Preisreduktionen führen, die bei Kunden wiederum verstärkten Konsum auslösen können und in der Konsequenz eben nicht zu den gewünschten ökologischen Verbesserungen führen. Beides geschieht auch, sodass Weizsäcker Ausgleichssysteme vorschlägt, damit ökologisch verbesserte Prozesse auch eben zu verbesserten ökologischen Gesamtleistungen führen und nicht gegenteilige Effekte durch Effizienzsteigerungen ausgelöst werden.

Grundsätzlich ist zu bemerken, dass die Optimierung eines Systems per se erstmal nur das ist. Im Lichte gemachter Erfahrungen muss zur Nachhaltigkeitsbetrachtung jedoch ganzheitlich gedacht werden und somit nach der Analyse von Prozessen, die Analyse der Folgeprozesse und Folgewirkungen angestrebt werden. Hier ist wiederum auf Lebenszyklusanalysen hinzuweisen und im Fall der Realisierung auf die Möglichkeit der zusätzlichen Angabe von Werten für Folgewirkungen³⁸⁸.

8.3 Innovative Beiträge und Anknüpfungspunkte zukünftiger Forschung

8.3.1 Innovative Beiträge der Arbeit und grundsätzliche Anknüpfungspunkte

In Bezug auf die Innovationsbeiträge dieser Arbeit, können kategorisch verschiedene Bereiche thematisiert werden. Hinsichtlich der Verbindung der Modellbildung und Simulation mit dem Arbeitsschutz kann auf die Erfahrungen aus Luczak, et al. verwiesen werden, die als innovative Forschungsbereiche zur Vermeidung von Arbeitsrisiken die wissenschaftliche Vertiefung von:

³⁸⁸ Hier ist wiederum auf die Verbindung von LCA und Simulation hinzuweisen. So liefern bestehende Software Tools (bspw. das RSB-Tool zur Nachhaltigkeitsbewertung von Biokraftstoffen, s. <http://www.rsb.org/ghgcalc/> und [Widok, et al., 2011 (c), S. 11 ff.]) die Möglichkeiten vorangegangene Prozesse in ihren Kennzahlen in Folgeprozesse zu übernehmen und die Möglichkeit sich dadurch Lebenszyklusketten aus Prozessen zusammenzubauen (entsprechend der Lebenszyklusanalyse). Die Produktionssimulation kann hier genutzt werden, um die Blackbox der Produktion aufzulösen, braucht aber für eine Nachhaltigkeitsbewertung oder zumindest wenn es zu Nachhaltigkeits-Vergleichen zwischen verschiedenen Prozessen kommen soll, Daten aus den Vor- und Nachketten.

- der Relation zwischen Job, Arbeit, Erholungszeit und Gesundheit,
- der Relation zwischen Management, Organisationen und Gesundheit,
- der Relation zwischen Kultur, Produktivität und Gesundheit,
- der Relation zwischen neuen Arbeitszeitmodellen, Überstunden und Identifikation beschreiben.
- Zudem sehen sie die Notwendigkeit eines theoretischen multidisziplinären Konzeptes, welches die sehr verschiedenen Stressoren und entsprechenden menschlichen Anpassungen offensichtlich macht [vgl. Luczak, et al., 2002, S. 87].

Auch Westgaard und Winkel verweisen im Jahr 2011 noch auf ähnliche Punkte und betonen ihrerseits die Zielvorstellung der Förderung von ganzheitlicheren Ansätzen³⁸⁹. Die vergleichsweise lange Zeit zwischen der Veröffentlichung von Luczak, et al. und dieser Arbeit deutet auch darauf hin, dass zu obigen Punkten noch viel Forschungsbedarf besteht. Der in dieser Arbeit beschriebene Ansatz greift diese auf.

Durch die Nutzung und Zurückgabe von Humanressourcen an verschiedene Ressourcenpools, welche die Erholungsraten unterschiedlich anpassen, können diverse Relationen zwischen Arbeit, Erholung und Gesundheit untersucht werden.

Die Relation zu Organisationen und dem Management kann, entsprechend der Beispiele von Baumanns und Münch sowie Badura (Fokus auf Sozialkapital sowie Werte- und Normenbildung), durch die Eingliederung der Interaktionseinflüsse mit Ressourcenpool-Bezug und resultierenden Wirkungen auf verschiedene Humanressourcen/Pools eruiert werden.

Aspekte der Produktivität wurden thematisiert, eine Nutzung von Eigenschaften von Humanressourcen und ihrer Einwirkungen auf Output und Ausschussraten wurden angesprochen. Eine entsprechende Anpassung der Software ist relativ einfach möglich, wurde in dieser Arbeit, hinsichtlich des zusätzlichen ökonomischen Charakters, jedoch nicht umgesetzt.

Arbeitszeitmodelle können bereits hinsichtlich ihrer Einwirkung auf die Entwicklung von Risikowerten untersucht werden (ein stark abstrahiertes Beispiel der Möglichkeiten ist in der Konzeption bei der Diskussion der Belastungsraten zu finden, S. 173). Für eine konkretere wissenschaftliche Überprüfung ist eine Zusammenarbeit mit Sozialwissenschaftlern und Arbeitsmedizinern in der Zukunft angeraten, um die notwendige Datenlage wissenschaftlich zu legitimieren und Simulationsergebnisse entsprechend auswerten zu können.

Hinsichtlich der verschiedenen Stressoren wurden unterschiedliche Ansätze zur Integration und Aggregation in dieser Arbeit diskutiert. Das Aufzeigen dieser, auch im Hinblick auf menschliche Anpassungen, kann zudem durch den Abgleich von Simulationsergebnissen mit menschlichem Befinden und statistischen, medizinischen Daten evaluiert werden.

³⁸⁹ Wörtliche schreiben sie in ihrer Schlussfolgerung: *“What is the best use of research resources to minimize occupational musculoskeletal and mental disorders? A recent research agenda, presenting future directions in occupational musculoskeletal disorder research, argues for more research on tissue tolerance limits and improved quantification of risk factors and their interaction (Marras et al., 2009), representing a continuation of classic ergonomics research. Important insight may surface, but the track record of this research in terms of solving worker health problems is debatable; research supporting a more holistic intervention approach should be encouraged.”* [Westgaard & Winkel, 2011, S. 289].

Darüber hinaus ist auf verschiedene Ergebnisse der Studien der Agentur der Europäischen Union für Informationen über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit (EU-OSHA) hinzuweisen, welche verschiedene Szenario-Analysen hinsichtlich der Entwicklungen von Arbeit in verschiedenen Branchen durchgeführt hat. Für den Produktionssektor verortet sie dabei als ein Ergebnis: „*The manufacturing sector is also likely to undergo significant changes (...), possibly resulting in decentralised, local manufacturing. Increasingly, local manufacturing plants could mean widely distributed hazards in small units, with new groups of workers exposed to manufacturing risks. Mass customisation with batch sizes of one could also lead to product safety and OSH issues, where items are one-offs and OSH standards are difficult to define or enforce.*“ [EU-OSHA, 2013, S. 152]³⁹⁰. Der hier vorgestellte Simulationsansatz ist dabei in der Lage, Veränderungen relativ einfach in Modellen abzubilden und zu untersuchen, so waren die Anfertigungen in der ERK GmbH Aufträge mit geringer Stückzahl. Damit stellt dieser Ansatz einen innovativen Beitrag dar, sich abzeichnende und/oder mögliche Trends auf ihre Folgewirkungen besser einschätzen zu können.

Zusätzlich zu der Verbindung mit dem Arbeitsschutz konnte in puncto der Nachhaltigkeitsbewertung von Produktionen und Produktionsprozessen ein Ansatz vorgestellt werden, der Aspekte aller drei Nachhaltigkeitssäulen untersuchen, in einem Modell integrieren und entsprechende Ergebnisse liefern kann. Diverse Wissenschaftler und Autoren sehen hier eine der Kernherausforderungen der heutigen Zeit. Diese wird hauptsächlich mit der Ressourcenproduktivität in Verbindung gebracht, siehe bspw. folgend die Beschreibung von Innovationszyklen aus Weizsäcker, et al.:

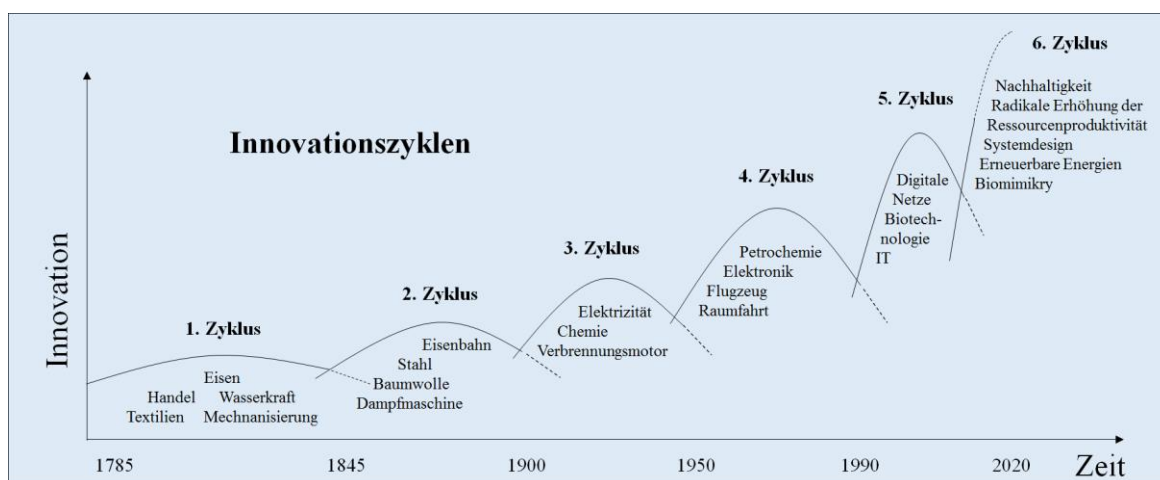


Abbildung 106: Innovationszyklen [vgl. Weizsäcker, et al., 2010, S. 26]

Darüber hinaus ist anzuführen, dass im Bezug zu den wahrscheinlich zunehmenden Interaktionsbeziehungen zwischen Menschen und Maschinen sowie verteilter Arbeit auch darauf zu fokussieren ist, wo Bedarf an zusätzlicher maschineller Unterstützung zur Entlastung von Arbeitnehmern besteht und wie sich die Interaktionen auf die Gesundheit von Menschen auswirken. Hier kann u.a. auf Abramovici und Filos verwiesen werden, die darauf hinweisen, dass aufkommende Technologien als Aufgabe haben, auch im Produktionsbereich, Innovationen zu ermöglichen. Ferner gehen sie ausdrücklich auf die zunehmende Bedeutung

³⁹⁰ Für weiterführende Informationen/Trends s. [EU-OSHA, 2012, S. 53-54], [EU-OSHA, 2010, S. 84-86].

der sozialen Perspektive ein [Abramovici & Filo, 2011, S. 719]³⁹¹. Spangenberg spricht im vergleichbaren Kontext von der Gestaltung der Arbeit mit Blick auf Zukunftstrend als ein zentrales Handlungsfeld von Nachhaltigkeit (Nachhaltigkeitspolitik) [vgl. Spangenberg, 2007, S. 18]. Diesbezüglich braucht es Systeme, die nicht nur ökologische und ökonomische Folgewirkungen abschätzen können, sondern ebenso Hinweise auf soziale Aspekte geben. Das in dieser Arbeit vorgestellte Konzept und die prototypische Umsetzung können diesbezüglich bereits erste Ergebnisse liefern.

Zudem sind weiterführende Überlegungen hinsichtlich der ökologischen und sozialen Dimension von Produktionen dringend notwendig. Auch wenn in der prototypischen Umsetzung die Einbindung von S-LCA-Daten nicht implementiert wurde, ist der Ansatz diese einzubeziehen, klar beschrieben worden (und mit der bestehenden Einbindung von E-LCA vergleichbar) und kann folglich in der Zukunft genutzt werden, um zusätzliche Analysen anzubieten, die auch im Sozialen, über die Produktionssystemgrenzen hinaus gehen. Diese können als Grundlage für etwaige Produktkategorisierungen dienen, welche wiederum mit Kundennachfragen wechselwirken und so zusätzliche Veränderungen hinsichtlich ökologischer und sozial verträglicherer Produkte stimulieren könnten.

Softwaretechnisch kann auf die Nutzung und Vorteile des MVVM-Patterns verwiesen werden, welches für die Bereitstellung und schnellere Programmierung ansehnlicher Parametrisierungsoberflächen unverzichtbar war. Die Wiederverwendbarkeit des Programmcodes ähnlicher Eingabemasken und der zugrundeliegenden softwaretechnischen Verknüpfungen in Form von ViewModels ermöglichte dabei die hauptsächliche Fokussierung auf die Bereitstellung von inhaltlicher Funktionalität. Dies wurde zudem durch die testgetriebene Entwicklung noch begünstigt, da die sonst oftmals wiederkehrende Nacharbeit an nicht fehlerfreiem Programmcode so gut wie beseitigt werden konnte.

Um einen Fingerzeig auf eine Utopie zu geben, welche technisch nicht weit entfernt ist, ist die Verbindung der Simulationssoftware mit den angesprochenen Belastungs-Datenloggern (bspw. das CUELA-Messsystem) zu erwähnen. Diese können die Datengrundlage für Simulationen verbessern und können Erkenntnisgewinne hinsichtlich der mittel- und langfristigen Belastungen ermöglichen. Die resultierenden Informationen können ihrerseits, nicht nur für anwendungsfallbezogene Risikoanalysen, sondern auch für umfassendere Konzepte, bspw. den passenden Freizeitausgleich für Tätigkeiten, genutzt werden und so weiterführende Maßnahmen zum Gesundheitsschutz bei der Arbeit erlauben. Der hier vorgestellte Ansatz ist dazu kompatibel, weshalb dieser Aspekt in der Folge noch aufgegriffen wird.

³⁹¹ Darüber hinaus spezifizieren sie: *„As sustainability assessment includes environmental as well as economic and social issues, classical Lifecycle Assessment (LCA) methods and tools may prove inadequate for a holistic lifecycle assessment which is based on a consistent set of information on products, components and energy. (...) In a global economy, companies are held increasingly responsible for the social impact of their economic activities.* [Abramovici & Filo, 2011, S. 723]. Diese Ausführungen können produktbezogen und unternehmensspezifisch eingeordnet werden, während Agyeman und Evans auch verstärkt die organisatorischen und gesellschaftlichen Wirkungen thematisieren. Dabei wird die Verknüpfung von sozialen, ökologischen und ökonomischen Aspekten besonders deutlich, da sie spezifisch „ökologische Gerechtigkeit“ herausstellen und somit ein soziales Prinzip mit ökologischen Wirkungen verknüpfen. Auch in ihren abschließenden Bewertungen stellen sie die elementare Rolle von Gerechtigkeitswahrnehmungen im Kontext nachhaltiger Strategien heraus, siehe [Agyeman und Evans, 2004, S. 155 ff.].

8.3.2 Ausblick auf anstehende Weiterentwicklungen des Prototyps

Hinsichtlich der Weiterentwicklungen des Prototyps ist festzuhalten, dass die Auswirkung von Belastung auf die Produktivität ein interessantes Forschungsfeld ist und daher eingebaut werden wird. Die zusätzlichen Eigenschaften von Humanressourcen ermöglichen zusätzliche Funktionalitäten. So können nicht nur verminderte Leistungsfähigkeiten auf Basis von Einflusseinwirkung, sondern auch Eignung und/oder Befähigungsgrad von Humanressourcen als einwirkende Funktion auf die Produktionsraten und/oder Ausschussraten von Arbeitsstationen verstanden und modelliert werden. Hinsichtlich einer zusätzlichen Möglichkeit, die Befähigungsrate anzupassen, könnten darüber hinaus bspw. Talentförderung und/oder Ausbildung von Lehrlingen eruiert werden. Entsprechend kann es theoretisch machbar sein, auch die ökonomischen Gewinne durch zusätzliche Ausbildung und Schulung aufzuzeigen, wenn eine statistische/stochastische Basis für die Entwicklung der Implikationen für die Mensch-Maschine-Kombinationen genutzt werden kann³⁹².

An dieser Stelle soll noch einmal auf die klassische Herausforderung der Modellbildung und Simulation verwiesen werden, einen Mittelweg zwischen Abstraktion („*hinreichend genau*“) und der Reduktion des Aufwands (der Modellierung) zu finden. Dabei ist zu bedenken, dass die Abbildung der Beanspruchung des biomechanischen Systems von Menschen im Prototyp in Zukunft weiter verfeinert werden soll, bspw. indem Körperteile bei der Einflussdefinition ausgewählt werden können und somit auch die Aggregation von Einflüssen automatisiert werden kann. Dies impliziert, dass Einfluss-Objekte, welche über vergleichbare Eigenschaften im Bereich der biomechanischen Wirkung verfügen, zugeordnet und die Einflussstärken in Entsprechung angegebener Formeln aggregiert werden können. Vergleichend können in Mühlstedts Dissertation Zusammenfassungen von Körperregionen gefunden werden, bzw. bei der Nutzung und Adaption der Ergonomiedatenbanken, siehe:

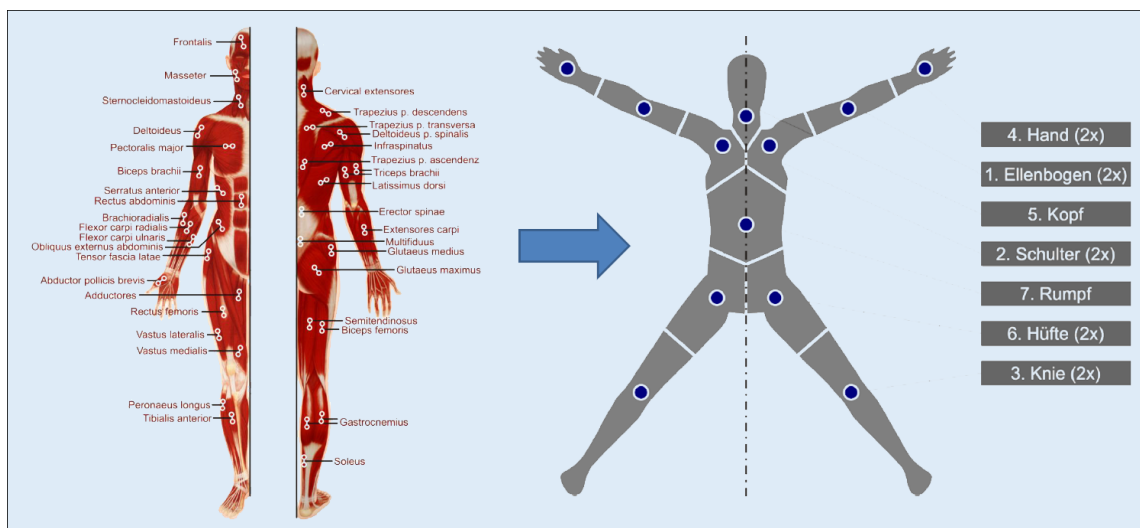


Abbildung 107: Überblick über mit Oberflächen-Elektromyografie gut erfassbaren Muskelgruppen und Ableitung von physiologischen Funktionseinheiten [vgl. Mühlstedt, 2012, S. 106 & 108]

³⁹² Zudem kommt es zu den sich ausweitenden Möglichkeiten der Eruiierung von gesundheitlichen Einwirkungen auf die Produktion, falls Einflussrisikowerte sich nicht nur auf den Ausfall von Ressourcen, sondern auch auf Produktionsraten auswirken. Fragen nach der Auswirkung von Überbelastungen und/oder spezifischeren Möglichkeiten der Gefährdungserkennung könnten, eine arbeitsmedizinische Analyse vorausgesetzt, entsprechend nachgegangen werden.

Diese Vorgehensweise käme einer sog. Win-Win-Situation gleich, da die Modellierung intuitiver gestaltet werden könnte, was i.d.R. auch zu einer schnelleren Modellierung führt. Darüber hinaus kann die Fehleranfälligkeit durch zusätzliche Automatisierung reduziert werden.

8.3.3 Weiterführende Anknüpfungspunkte für zukünftige Forschungen

Die in dieser Arbeit vorgestellten Fallbeispiele sind grundsätzlich nur als konzeptioneller Beweis zu verstehen. Mit einer Testreihengröße von ($n = 2$) ist eine Aussagekraft der Evaluation nur sehr eingeschränkt gegeben, sodass zukünftige Forschungen in erster Linie darauf ausgerichtet sein sollten, die Anwendung der Software und Ergebnisse auf ihren Mehrwert zu prüfen. Dabei stellt sich in erster Linie die Frage, ob die starke Abstraktion von Belastungswerten und –entwicklungen geeignet ist und wenn ja, für welche Fälle dies zutrifft und wo Grenzen des Ansatzes zu verorten sind.

Die in Abschnitt 8.3.1 bereits von Luczak, et al. erwähnten Forschungsfelder können grundsätzlich als nicht abschließend bearbeitet gelten, sodass sich in diesen Bereichen diverse Forschungsfragen auftun. Für die Zukunft stehen mit dem entwickelten Konzept und der Umsetzung Möglichkeiten bereit, diese Fragen mittels passgenauer Modellierungs- und Simulationssoftware zu vertiefen, was die Weiterentwicklung der Software einschließt.

Die Erweiterung des Ansatzes um soziale Lebenszyklusaspekte kann zusätzlich als Forschungsfeld beschrieben werden. Hier ist anzumerken, dass die prinzipielle Vorgehensweise sich nur marginal von der E-LCA, der ökologischen Ausprägung, unterscheidet, allerdings aufgrund der noch zu überkommenden Schwierigkeiten (Datenproblematik, unsichere ROI's, etc.) sich auch hier diverse Aspekte zur weiteren Forschung anbieten. Dabei ist eine verbesserte Datenlage zum Zusammenspiel an Interventionen und tatsächlichem Mehrwert von größter Bedeutung, da diese Unsicherheiten oft weitere unternehmerische Anstrengungen behindern. Ferner sollte die Verbindung von LCA und Simulation grundsätzlich weiter eruiert werden, so bieten sich Vergleiche zwischen unterschiedlichen Auflösungsgraden, ähnlich wie es in [Jain, et al. 2013, S. 1996 ff.] für den ökologischen Bereich realisiert wurde, auch für den sozialen Bereich an. Eine wechselseitige Überprüfung, einerseits von Simulationsergebnissen durch bekannte S-LCA-Datensets und eben dieser oder nicht abschließend bestätigter Datensets durch Simulationen von zugrundeliegenden Prozessen kann beiden Verfahren im Bezug zur wissenschaftlichen Evaluation helfen.

Im Bezug zu Sozialkapital und Sozialer Nachhaltigkeit kann, trotz der hohen Theoriedichte, auf die Notwendigkeit weiterer Grundlagenforschung verwiesen werden. Dies erschließt sich aus den noch immer kaum als universell geltenden Definitionen und unterschiedlichen Vorgehensweisen. Grundsätzlich haben alle technischen Verfahren zur Beurteilung sozialer Wirkungen noch Schwachstellen. Die Gründe dafür wurden in Kapitel 4 thematisiert; eine Verbreiterung der Datenbasis durch weitere Anwendungsbeispiele (wie bspw. die von Baumanns und Münch) könnten hier für Klarheiten in den Bezügen und Wechselwirkungen sorgen. Die Notwendigkeit einer sozialwissenschaftlichen Überprüfung, bspw. bei der Normenbildung, machen diese allerdings aufwendig und fehleranfällig, sodass überprüft werden sollte, inwieweit es hier zu zusätzlicher technischer Unterstützung kommen kann.

Wie zudem im Punkt 8.2.8 thematisiert wurde, besteht bei der Eruiierung der Folgeabschätzungen der Veränderung von Prozessen noch kein allgemeingültiges Konzept zur Vorgehensweise, für die Vergleiche zwischen Prozessen und die Abschätzung der Auswirkungen. Prinzipiell könnte man argumentieren, dass wenn Folgenutzungen (bspw. von durch Veränderungsmaßnahmen gewonnenes Kapital) im Vorfeld festgelegt wurden, die zusätzlichen Wirkungen in die Berechnungen eingehen sollten und falls diese unbekannt sind, dies einfach nicht geschehen sollte. Die Problematik hier ist, dass es definitiv zu Folgenutzungen kommt und das Prinzip der Nachhaltigkeit, durch den Ganzheitlichkeitsanspruch, grundsätzlich als Aufgabe hat, diese auch zu eruieren. Die in dieser Arbeit vorgestellte Variante der Möglichkeit einer Summierung von Folgewirkungen ist dabei nur eine hilfswise Möglichkeit (auch wenn es praktische Anwendungsfälle aus der LCA gibt, wo eben dies Praxis ist, bei Unbekanntheit der Wirkung von Folgeprozessen werden hier bspw. sog. default-Prozesse genutzt, um die Lebenszykluskette zu schließen). Für die Verbesserung dieses Ansatzes bietet sich die Nutzung statistisch/stochastischer Verfahren an, um etwaige Folgewirkungen zu quantifizieren (bzw. mit verschiedenen Wahrscheinlichkeiten zu versehen) und so eine Spannbreite der Wirkung von Veränderungsmaßnahmen zu geben, welche exakte Werte für die eigentliche Veränderung angibt und die weiteren Folgewirkungen als, durch Statistiken widergespiegelte, Bandbreiten aufrechnet.

8.3.4 Zur Utopie einer gesundheitsorientierten Arbeitswelt

Um den letzten Anknüpfungspunkt noch gesondert herauszustellen, soll abschließend für diese Arbeit noch einmal auf die Verbindung zwischen Sensormessungen von faktischen Belastungen an Arbeitsplätzen, der Simulation und weiterführenden Konzepten zum Belastungsausgleich und Gesundheitsschutz von Mitarbeitern verwiesen werden. Dazu ist mit Nachdruck darauf hinzuweisen, dass nach bestehendem Kenntnisstand alle der folgenden Ausführungen bereits technisch und praktisch möglich sind, die Kombination der verschiedenen Verfahren allerdings oft fehlt und flächendeckend kaum zum Tragen kommt. Die beschriebenen Datenlogger für physische Belastungen, wie bspw. das CUELA Messsystem, sind bis dato noch keine Massenprodukte, könnten voraussichtlich in Zukunft allerdings in ihrer Herstellung, um ein Vielfaches billiger werden. Die Konsequenz dessen wäre, dass es selbst für KMU's ein einfaches Unterfangen wäre, übliche Tätigkeiten und/oder ganze Schichten von Mitarbeitern ausführlich auf deren Belastungsprofile hin zu untersuchen und die resultierenden Daten zu speichern. Die Durchführung von Tätigkeiten durch verschiedene Menschen, mit unterschiedlichen Eigenschaften, wie Größe, Körpergewicht, Flexibilität, etc. kann die Entstehung verschiedener Profile für die gleichen Tätigkeiten ermöglichen und so einen Großteil aller möglichen Einwirkungen für die Tätigkeiten bestimmen. Diese Daten könnten anschließend genutzt werden, um etwaige mittel- und langfristige Belastungen von Tätigkeiten mittels Simulationsverfahren zu untersuchen und so Folgewirkungen von so gut wie allen physischen Arbeitsaufgaben auf eine solidere wissenschaftliche Basis zu stellen. Dies schließt die Erstellung von gesicherten Durchschnittswerten für ganze Branchen und Tätigkeitsprofile ein. Auf Basis dieser Profile können wiederum Konzepte zum (Freizeit-)Ausgleich entwickelt werden, sodass die betriebliche Gesundheitsvorsorge und -politik eine stärkere Argumentationsbasis hätte. Man könnte sich dementsprechend

sogar staatliches Engagement vorstellen, um eine nationale Belastungsdatenbank und entsprechende Tätigkeitsprofile zu erstellen. Es wird davon ausgegangen, dass Entsprechungen bei den Unfallversicherungen und der Bundesanstalt für Arbeit bereits existieren, die statistische Basis allerdings bei obiger Ausführung eine andere wäre. Zwar ist zu bedenken, dass es für die Einflussbewertung noch immer die individuelle Anpassung braucht, aber auch diese bewegt sich in einem messbaren Rahmen, sodass zumindest für den Großteil der arbeitenden Bevölkerung von vergleichbaren Implikationen ausgegangen werden kann. Ethische Überlegungen hinsichtlich der Bedeutung für Menschen mit abweichenden Resistenzen müssen grundsätzlich eruiert werden, damit der angestrebte Schutz von Mitarbeitern nicht in deren Bevormundung und Ausschlüssen mündet, allerdings sollte der Schutz vor Unversehrtheit und Krankheit von Mitarbeitern hier im Fokus stehen.

Durch Nachhaltigkeitsbetrachtung kann es zudem zur Eruiierung der Fragen nach eingesetztem Kapital und Folgewirkungen von Schäden, Überlastungen, Ausfall, zu niedriger Personaldecken und auch der ökologischen Implikationen kommen. Ganzheitliche, nachhaltige Ansätze sind in diesen Bereichen möglich durch die stückweise Reduktion der Komplexität. Auf Basis der Aufnahme entsprechender physischer Belastungen und Vorgehensweisen zur Kompensation und Ausgleichssystemen könnten psychologische Aspekte zudem auf eine Grundstruktur bei der Eruiierung und dem Ausgleich zurückgreifen, mit der offenen Fragestellung, ob dies adäquat wäre.

Trotz der bestehenden Verbreitung der Nutzung von bspw. Lebenszyklusanalysen (zumindest bei großen Unternehmen) schwankt das Prinzip der Nachhaltigkeit heutzutage stark zwischen betrieblichem Greenwashing, ungenügender gesellschaftlicher Kommunikationsgrundlagen, dem Fehlen von Evaluationen aber auch der Hoffnung auf positive langfristige Entwicklungen. Dabei sind die verschiedenen Wirkungssphären, die sich auch zum großen Teil aus den sozialen Strukturen ergeben, und die ungenügende Austausch- und Schnittstellendefinitionen ein Problem hinsichtlich der Durchsetzung von Maßnahmen. Die Modellbildung und Simulation kann hier sowohl bei der Verdeutlichung von Input-, Outputrelationen helfen, wie auch eine Verdeutlichung der Bezüge zwischen den verschiedenen Wirkungssystemen anbieten. Die langfristige Durchsetzung nachhaltiger Strategien hängt zu großen Teilen an der Werte- und Normenbildung und somit auch am eruierten Sozialkapital, bzw. je nach Definition, an gesellschaftlichem Kapital (vergleichbar mit der Wahrnehmung der „ökonomischen“ Leistungsentwicklung von Systemen wie bei Fukuyama [Fukuyama, 2001, S. 7 ff.]). Dies impliziert, dass soziale Aspekte bei Veränderungsmaßnahmen von entscheidender Bedeutung sind, und dass der hauptsächliche Hinderungsgrund - unsicherer Investitionsrückvergütung - verstärkt aufgelöst werden muss. Dazu braucht es wissenschaftlich etabliertere Analysewerkzeuge, welche in der Lage sind, die Komplexität der Wirkungsbeziehungen stückweise zu reduzieren und entsprechend der Simulation hinreichend genaue Ergebnisse liefern. Der hier vorgestellte Ansatz sollte eben dies in einer ersten prototypischen Ausprägung bereitstellen.

Anhang A – Funktionale Anforderungen

Für eine Übersicht der in der Spalte „Beschrieben in“ referenzierten Anwendungsfälle (AW) siehe Abschnitt 5.3.1.2, bzw. Seite 175 ff. Die Beschreibung der Anforderungen und Spezifikationen in der Folge könnte noch weiter detailliert werden, worauf aufgrund der Länge an dieser Stelle verzichtet wurde. Es ist diesbezüglich zu bedenken, dass viele Anforderungen aufeinander aufbauen, sodass das Verständnis „späterer“ Anforderungen ohne die Familiarität mit vorangegangenen sich schwieriger darstellen kann.

Anwendungsfall 1					
Nr.	Beschrieben in	Priorität	erfordert	Anforderung	Spezifikation
1	AW 1	1		Ein Mensch muss angelegt werden können.	Das Anlegen impliziert eine grafische Oberfläche, welche die Administration von Mensch-bezogenen Eigenschaften erlaubt.
1.1	AW 1	1	1	Ein Mensch muss parametrisiert werden können.	Auf der grafischen Oberfläche besteht ein Knopf, welcher bei Betätigung, zwei ausfüllbare und speicherbare Felder dem Menschen hinzufügt, welche Eigenschaften des Menschen abrufen und veränderbar machen. Die zwei Felder sind mit "Name" und "Wert" benannt und beziehen sich auf einem string und einem double Wert. Durch das Hinzufügen dieser zwei Felder erscheint zusätzlich ein Löschen Knopf der eben diese Felder wieder löschen kann. Es können beliebig viele Eigenschaften hinzugefügt werden.
2	AW 1	1	1	Ein Mensch muss einer Tätigkeit zugeordnet werden können.	An bestehenden Arbeitsstationen muss die Möglichkeit bestehen angelegte Menschen auszuwählen und diese somit der Tätigkeit zuzuweisen. Sowohl Menschen als auch Arbeitsstationen müssen "wissen", dass sie einander zugewiesen wurden.
3	AW 1	1		Ein Einfluss muss angelegt werden können.	Das Anlegen impliziert eine grafische Oberfläche, welche die Administration von Einfluss-bezogenen Eigenschaften erlaubt.
3.1	AW 1	1	3	Ein Einfluss muss parametrisiert werden können.	Auf der grafischen Oberfläche muss ein Knopf hinzugefügt werden, welcher bei Betätigung vier ausfüllbare und speicherbare Felder dem Einfluss hinzufügt und welche Eigenschaften des Einflusses verändern. Die Felder sind mit Ausgangswert, Steigerungsrate, Minimalwert und Erholungsrate gekennzeichnet und die speicherbaren Inhalte respektive von den Datentypen string, double, double, double.
4	AW 1	1	3	Ein Einfluss muss einer Tätigkeit zugeordnet werden können.	An bestehenden Arbeitsstationen muss die Möglichkeit bestehen angelegte Einflüsse auszuwählen und diese somit der Tätigkeit zuzuweisen. Sowohl Einflüsse als auch Arbeitsstationen müssen "wissen", dass sie einander zugewiesen wurden.
5	AW 1	1	1-4	Der Einflusswert muss berechnet werden.	Dem System muss logisch bekannt sein, dass eine Tätigkeit an einer Arbeitsstation von einem Menschen ausgeführt wird. Wenn das geschieht muss der Einflusswert in Entsprechung der definierten Steigerungsrate und ausgehend vom Ausgangswert ansteigen. Bei Beendigung der Tätigkeit oder dem Aufheben des Bezuges zwischen Mensch und Tätigkeit muss die Erholungsrate den Einflusswert wiederum reduzieren, bis die Tätigkeit wieder aufgenommen wird oder der Minimalwert erreicht wird.
6	AW 1	1	1-5	Der Einflusswert muss nach Beendigung eines Experiments auswertbar sein.	Das System muss den Einflusswert zu definierten Zeitschritten speichern/loggen und nach der Beendigung eines/mehrerer Experiments/e, in einer nachvollziehbaren Art und Weise, auswertbar zur Verfügung stellen.

Anwendungsfall 2					
Nr.	Beschrieben in	Priorität	erfordert	Anforderung	Spezifikation
7	AW 2	1		Ressourcenpools müssen angelegt werden können.	Das Anlegen impliziert eine grafische Oberfläche, welche die Administration von Pool-bezogenen Eigenschaften erlaubt.
8	AW 2	1	7	Ressourcenpools müssen parametrisiert werden können.	Die Parametrisierung erlaubt in erster Instanz die Benennung des Pools, welche durch entsprechende Eigenschaften der Poolklasse und in der grafischen Benutzeroberfläche durch ein Feld zur Benennung ermöglicht wird (welches sich auf die Eigenschaft bezieht).
8.1	AW 2	1	1-7	Humanressourcen müssen Ressourcenpools zugewiesen werden können.	Dies impliziert in der grafischen Benutzeroberfläche die Auswahlmöglichkeit von existierenden Ressourcen, welche durch Hinzufügen- und Löschen-Felder dem Pool zugewiesen oder entfernt werden können. Bei einer Auswahl einer Ressource kommt es zudem zu einer Anzahlspezifikation, welche definiert wie viele Ressourcen des Ressourcentyps im Ressourcenpool verfügbar sind.
9	AW 2	2	1-6	Im System muss nach Tätigkeits- und Interaktionseinflüssen unterschieden werden können.	Im System wird nach Sozialem Einfluss, Tätigkeitseinfluss und Interaktionseinfluss getrennt, wobei die Klassen für Tätigkeitseinflüsse und Interaktionseinflüsse von sozialen Einflüssen erben.
10	AW 2	2	9	Im System muss parametrisiert werden können, ob es sich bei einem Einfluss um einen Interaktionseinfluss oder einen Tätigkeitseinfluss handelt.	Beim Anlegen eines neuen Einflusses muss eine boolean'sche Auswahl determinieren, ob es sich um einen Tätigkeitseinfluss oder einen Interaktionseinfluss handelt. Die Auswahl muss erfolgen, bevor die anderen Parameter eingestellt werden können.
11	AW 2	2	9	Einem Interaktionseinfluss muss ein Sender und ein Adressat zugewiesen werden können.	Im System müssen sich, nach der Qualifizierung eines Einflusses als Interaktionseinfluss, zwei neue Felder in der grafischen Oberfläche der Einflussparametrisierung öffnen, welche jeweils eine Auswahl von 1. den angelegten Humanressourcen für die Sender und 2. den angelegten Humanressourcen und Ressourcenpools für den Adressaten festlegen. Die ausgewählten Humanressourcen, bzw. Ressourcenpools werden als Wertebelegung der entsprechend notwendigen Eigenschaften von Interaktionseinflüssen, bei Auswahl, gespeichert.

Anwendungsfall 3

Nr.	Beschrieben in	Priorität	erfordert	Anforderung	Spezifikation
12	AW 3	1	1	Humanressourcen müssen veränderbare Eigenschaften zugewiesen werden, welche deren Verfügbarkeit kennzeichnen.	In den Humanressourcen-Klasse muss eine Eigenschaft angelegt werden, die die Verfügbarkeit der Ressource kennzeichnet. Die manuelle Parametrisierung dieser Eigenschaft wird nicht ermöglicht, d.h. Ressourcen können nur aufgrund von Ausfall oder Schichten nicht verfügbar sein, nicht wegen manuellen Voreinstellungen.
13	AW 3	4	11	An einem Interaktionseinfluss muss die Art der Auswirkung (Immer/Verfügbarkeit/lokaler Bezug) ausgewählt werden können.	Bei der Definition eines Interaktionseinfluss muss eine zusätzliche Auswahl nach der Auswirkungsart bspw. in Form von einer Combobox ermöglicht werden. Die Auswahl bezieht sich wiederum auf eine anzulegende Eigenschaft von Interaktionseinflüssen.
14	AW 3	4	13	Bei der Auswahl eines Interaktionseinflusses an einer Tätigkeit muss zur Simulationszeit überprüft werden, ob sowohl Sender als auch Adressat an der Tätigkeit zeitgleich beteiligt sind.	Beim Simulationsablauf muss zur Feststellung der Auswirkung von zugewiesenen Interaktionseinflüssen, welche über eine Eigenschaft verfügen, die sich auf lokale Bezüge zwischen zwei Humanressourcen bezieht, überprüft werden, ob beide Ressourcen zeitgleich von der Arbeitsstation angefordert sind (d.h. der Tätigkeit zu diesem Zeitpunkt zugewiesen sind). Dazu wird die entsprechende Eigenschaft an der Arbeitsstation abgefragt hinsichtlich der ihr zugewiesenen Ressourcen.
15	AW 3	3	14	Die Einflusssteigerungsrate und Erholungsrate von Interaktionseinflüssen muss sich entsprechend der am Interaktionseinfluss eingestellten Auswirkungsart auswirken.	Bei der Abfrage der Auswirkung des Interaktionseinflusses muss im Vorfeld die Auswirkungsart überprüft werden. Je nach dieser Einstellung muss nach 14 geprüft werden, bzw. grundsätzlich eruiert welche Raten wirken, wie diese verrechnet werden und wie lange und die Risikowerte entsprechend angepasst werden.

Anwendungsfall 4

Nr.	Beschrie- ben in	Prio- rität	erfor- dert	Anforderung	Spezifikation
16	AW 4	5	5	An einem Einfluss muss parametrisierbar sein, ob es eine Korrelation zu anderen Einflüssen gibt.	Die Parametrisierung impliziert, dass an Einflüssen Bezüge zu anderen Einflüssen gespeichert werden können. Dazu braucht es eine entsprechende Eigenschaft der Einflüsse - bspw. Korrelationsbezüge, welche sowohl die korrelierenden Einflüsse, als auch entsprechende Bezüge (siehe 16.1) speichert. In der grafischen Benutzeroberfläche impliziert die Parametrisierung die Möglichkeiten Einflusskorrelationen durch Hinzufügen- und Entfernenfelder zuzuweisen oder zu entfernen. Beim Klick auf ein solches Feld wird ein Auswahlfeld geöffnet, das alle existierenden Einflüsse (bis auf den im Moment parametrisierten Einfluss) anzeigt und diese auswählbar macht. Durch die Auswahl wird die Einflusseigenschaft mit dem entsprechenden Wert für den Einfluss belegt. Zudem muss es die Möglichkeit geben, dass sich Einflüsse beidseitig beeinflussen, d.h., dass dies nicht vom System ausgeschlossen werden sollte.
16.1	AW 4	5	16	Die Korrelationsparametrisierung muss durch ein Formelfeld ermöglicht werden.	Nachdem die Bezüge zwischen den Einflüssen durch Auswahl (s. 16) hergestellt wurden, wird ein weiteres Feld angezeigt in welches eine simple Python-Formel eingetragen werden kann. Diese wird zur Einflusskorrelationsbestimmung genutzt und entspricht dem zweiten Wert der Korrelationseigenschaft (neben dem korrelierenden Einfluss, s. 16).
17	AW 4	6	16.1	Es muss eine logische Überprüfung der Formelgüte geben.	Die Formelgüte/-funktionalität muss bei der Speicherung des Formelfeldes überprüft werden und bei nicht funktionaler Umrechnung muss dem Nutzer Rückmeldung gegeben werden. Die Überprüfung kann mit der Python-Formelüberprüfung durchgeführt werden, die bereits im System implementiert ist. Bei Akzeptanz der Formel wird sie wie in 16.1 beschrieben als zweiter Wert der Eigenschaft gespeichert.
18	AW 4	5	16.1	Während des Simulationsablaufs muss es zur Verrechnung der Einfluss-Korrelationen kommen.	Im Simulationsablauf muss es zum Zeitpunkt der Anwendung des Einflusses zur Überprüfung der Korrelation kommen, indem die Werte für den korrelierenden Einfluss abgerufen werden und diese mit der angegebenen Formel und dem bestehenden Einflusswert verrechnet werden.

Anwendungsfall 5

Nr.	Beschrie- ben in	Prio- rität	erfor- dert	Anforderung	Spezifikation
19	AW 5	4		An einer Humanressource muss es die Möglichkeit geben neuen Eigenschaften von Humanressourcen Einflüsse zuzuweisen.	Bisher wurden beim Hinzufügen von Eigenschaften zu Humanressourcen auf der grafischen Benutzeroberfläche zwei Felder erzeugt, die ihrerseits für Namen der Eigenschaft und Wert der Eigenschaft standen. Nun soll es die Möglichkeit geben jedweder so angelegter Eigenschaft zusätzlich noch den Verweis auf einen Einfluss mitzugeben. Dazu müssen einerseits die Ressourcen-Klassen angepasst werden und andererseits in der grafischen Benutzeroberfläche die Möglichkeit geschaffen werden, dass beim Hinzufügen neuer Eigenschafts-Wert und -Namenfelder auch noch bestehende Einflüsse auszuwählen, welche dann mit entsprechender Eigenschaft korrelieren können.
20	AW 5	4		Die Einflusszuweisung zu Eigenschaften impliziert die Parametrisierung der Korrelation zwischen Eigenschaft und Einfluss.	Nach dem gleichen Prinzip wie bei der Einstellung von Korrelationen zwischen Einflüssen untereinander, muss es die Möglichkeit geben Korrelationen zwischen Humanressourcen-Eigenschaften und Einflüssen festzulegen (vereinfacht kann das auch durch simple numerische Werte geschehen, bevorzugt wird die Lösung wie in 20.1 und 20.2 beschrieben).
20.1	AW 5	6		Die Auswahl eines Einflusses an einer Humanressourcen-Eigenschaft muss die Möglichkeit der Parametrisierung von Resistenzen ermöglichen (die sich auf die Steigungsrate und zur Erholungsrate auswirken).	In Verbindung mit 20.2 muss so die Möglichkeit eingeräumt werden, sowohl für die Steigungsrate, als auch die Erholungsrate Eigenschafts-Werte festzulegen, die mit den Raten korrelieren. Dabei entspricht die Funktionsweise der Korrelation der Funktionsweise der Einflusskorrelation untereinander, nur dass sich diesmal spezifisch auf die Einflussteilungsraten und Erholungsraten bezogen wird.
20.2	AW 5	6		Die Auswahl eines Einflusses an einer Humanressourcen-Eigenschaft muss ein weiteres Feld zur Festlegung einer Formel ermöglichen, welches die Eingabe einer Formel erlaubt.	Die Definition von Formeln für sowohl die Korrelation zwischen Eigenschaftswert und Einflussteilungsraten als auch Eigenschaftswert und Erholungsrate entspricht der Funktionsweise der Definition von Formeln für die Einflusskorrelationen untereinander (s. 16.1 und 16.2) - die Formelüberprüfung und Adaption der Berechnungsroutine für die Risikowertveränderung während des Simulationsablaufes wird hier eingeschlossen.
21	AW 5	3		An einem Einfluss müssen Schwellwerte parametrisierbar sein.	An Einflüssen braucht es, hinsichtlich der Definition von Schwellwerten, die für jegliche in Verbindung gebrachte Ressourcen gelten sollen, neue Eigenschaften der Einflussklassen und die grafische Adaption. Dies erfolgt in Analogie zum Hinzufügen von Eigenschaftsfeldern, durch klickbare Hinzufügen-Felder, welche bei Ausführung wiederum Name- und Wertfelder für den/die Schwellwert/e erzeugen.
22	AW 5	3	21	Die Auswahl eines Einflusses an einer Humanressourcen-Eigenschaft muss die Möglichkeit der Parametrisierung der Schwellwerte des Einflusses ermöglichen.	Zusätzlich zu den Korrelationen zur Einflussteilungsraten und Erholungsrate soll auch eine Korrelation zwischen Humanressourcen-Eigenschaften und Schwellwerten des Einflusses bestehen. Dies erfolgt in Analogie zum Hinzufügen von Korrelationen zu der Einflussteilungsraten und Erholungsrate durch klickbare Hinzufügen-Felder (von Korrelationen), welche bei Ausführung wiederum Korrelationsfelder für den/die ausgewählte/n Schwellwert/e erzeugen und so bei der Verrechnung (Formelbezug beim Simulationsablauf) auf diese einwirken können. Eine entsprechende Adaption der Schwellwerte für die entsprechende Ressource, bzw. den Ressourcentyp wird implizit verstanden.
23	AW 5	3		Die Auswertung muss die Übertretungen von Schwellwerten der Risikowerte von Einflüssen beinhalten	Beim Aufaddieren der Einflussteilungsraten und/oder Erholungsrate zu dem Risikowertes eines Einflusses muss eine systeminterne Überprüfung angelegt werden, welche den Risikowert mit den Schwellwerten abgleicht und bei möglicher Übertretung/Unterschreitung (je nach Definition), das Auftreten und den Zeitpunkt speichern, damit dieser später bei der Auswertung abrufbar sein kann (Observer + Excel Auswertung).

Anwendungsfall 6

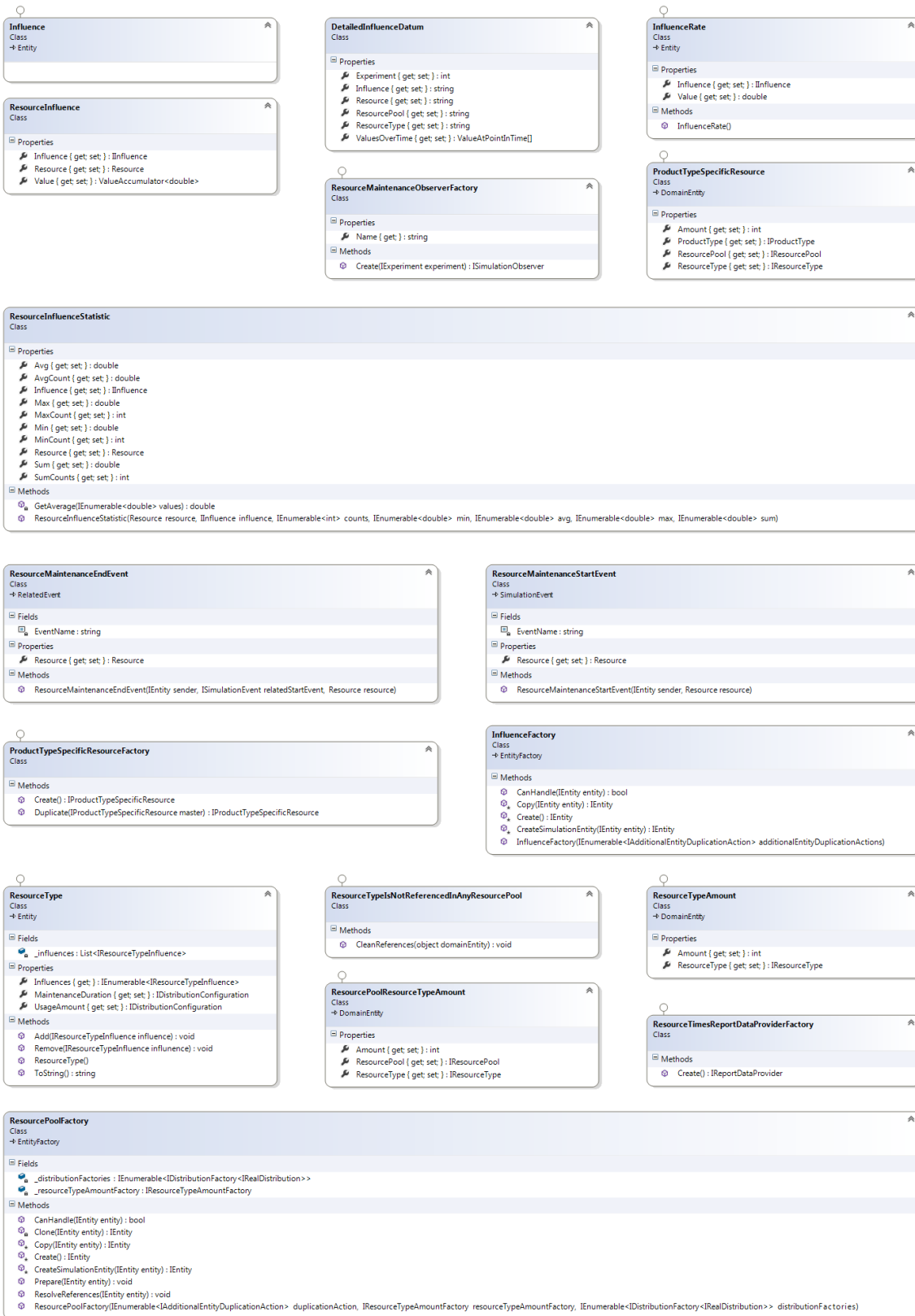
Nr.	Beschrieben in	Priorität	erfordert	Anforderung	Spezifikation
24	AW 6	2	8	Eine Humanressource muss eine Eigenschaft besitzen, welche ihre Verfügbarkeit in Ressourcenpools/für die Nutzung in der Simulation als Ressource regelt.	Ressourcenklassen müssen boolean'sche Eigenschaften zugewiesen werden, welche die Verfügbarkeit der Ressourcen darstellt. Zudem braucht es Entscheidungsrouinen beim Anfragen von bspw. Tätigkeiten an Ressourcenpools, je nachdem ob Ressourcen verfügbar sind.
25	AW 6	5	22	Nach der Schwellwertdefinition eines Einflusses muss zusätzlich ausgewählt werden können, ob und wann es bei einer Über- oder Unterschreitung zu Ausfällen von Humanressourcen kommt.	Bei der Definition eines Schwellwertes muss es die Möglichkeit geben zu bestimmen, ob es durch entweder Überschreitung, Unterschreitung oder mehrmaliges Auftreten zusätzlich zu definierender Wert zu einem Ausfall kommt. Wenn diese Wahl getroffen wird, wird der Schwellwert als Ausfallwert kategorisiert. In der grafischen Benutzeroberfläche kann es bei der Schwellwertdefinition eine entsprechende Checkbox für die Deklaration als Ausfallwert geben und/oder (je nachdem was design-technisch mehr Sinn macht) es gibt nur eine Combobox/Auswahl, welche die Entscheidung zwischen den drei Möglichkeiten und der Nicht-Auswahl (d.h. es kommt durch den Schwellwert nicht zum Ausfall) erlaubt. In Entsprechung der Auswahl braucht es logischerweise Eigenschaften des Einflusses, die sich auf die Schwellwerte/Ausfallwerte beziehen.
25.1	AW 6	5	25	Bei der Entscheidung, dass es sich um einen Ausfallwert handelt, muss zudem die Art der Wirkung ausgewählt werden (Überschreitung, Unterschreitung, mehrmalige Überschreitung, mehrmalige Unterschreitung) und parametrisierbar sein.	Bei der Definition eines Schwellwertes muss es die Möglichkeit geben zu bestimmen, ob es durch entweder Überschreitung, Unterschreitung oder mehrmaliges Auftreten zusätzlich zu definierender Wert zu einem Ausfall kommt.
25.2	AW 6	5	25	Nach der Auswahl der Überschreitungsart muss bei mehrmaligem Auftreten, zusätzlich zum Ausfallwert selbst noch die Anzahl der Überschreitungen festgelegt werden, die für die Zustandsveränderung notwendig ist.	Die Wahl eines mehrfachen Über-/Unterschreitens eines Schwellwertes bedingt zudem die Angabe eines integer-Wertes, damit klar ist, wie oft der Wert über-/ oder unterschritten werden kann, bevor es zum Ausfall kommt.
26	AW 6	2	24	Bei einem Ausfall einer Humanressource muss zum Zeitpunkt der Anfrage im Simulationsablauf bekannt sein, dass die betreffende Ressource zurzeit nicht zur Verfügung steht.	Hierzu muss bei der Abfrage der Ressource auch ihre Verfügbarkeit abgefragt werden. Die Zustandsveränderung der Humanressource kann so zu Rückwirkungen auf das Produktionssystem führen, in dem Sinne, dass Tätigkeiten, die nur unter Verfügbarkeit des Menschen ausgeführt werden können, nicht mehr ausgeführt werden (aufgrund des Ausfalls der Humanressource).
27	AW 6	2	24	Die Ausfälle von Ressourcen müssen in der Auswertung explizit gekennzeichnet werden.	Zusätzlich zu der Kennzeichnung, dass Schwellwerte über-/unterschritten wurden, muss in der Auswertung nun auch klar gekennzeichnet werden, ob und wann es dadurch zum Ausfall von Ressourcen kam. Entsprechend muss es entweder zu einem Abgleich der Zustände der Verfügbarkeitseigenschaften der Ressourcen zu verschiedenen Zeitpunkten kommen und/oder im Moment der Verfügbarkeitsänderung wird ein event ausgelöst, welches von Observern beobachtet werden kann.

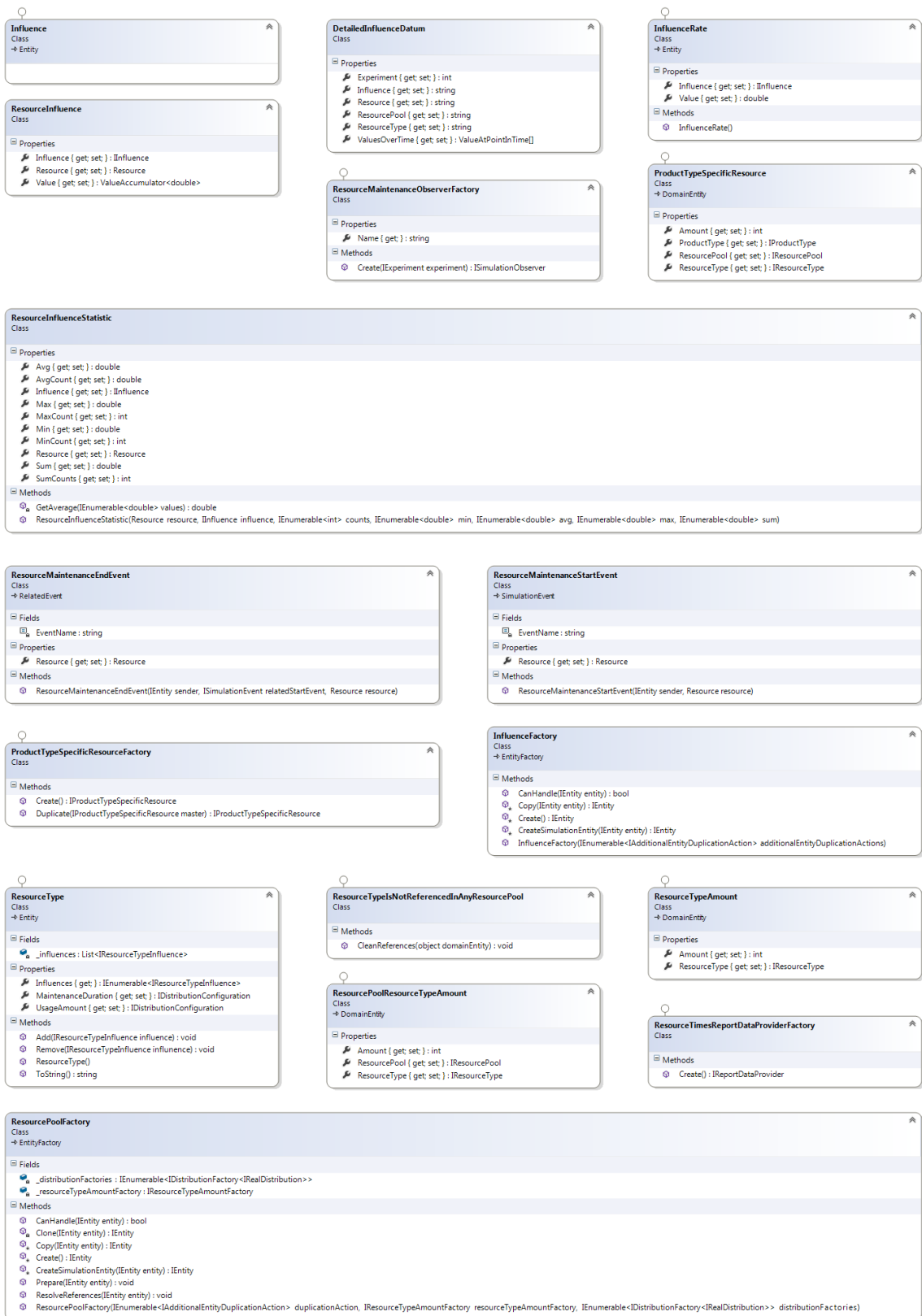
Anwendungsfall 7

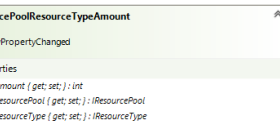
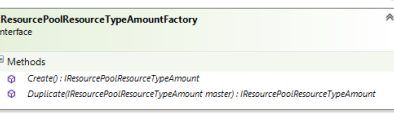
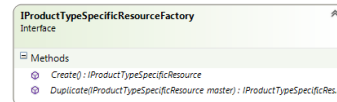
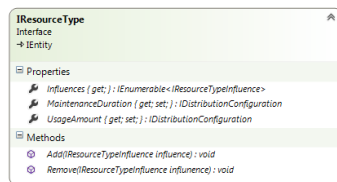
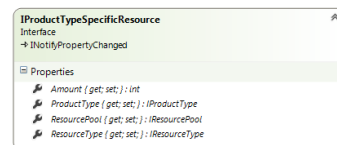
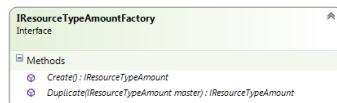
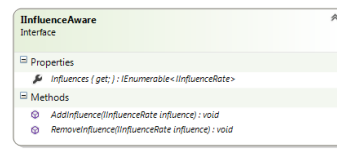
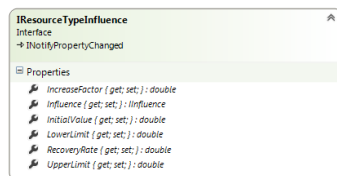
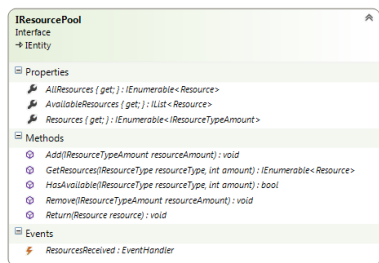
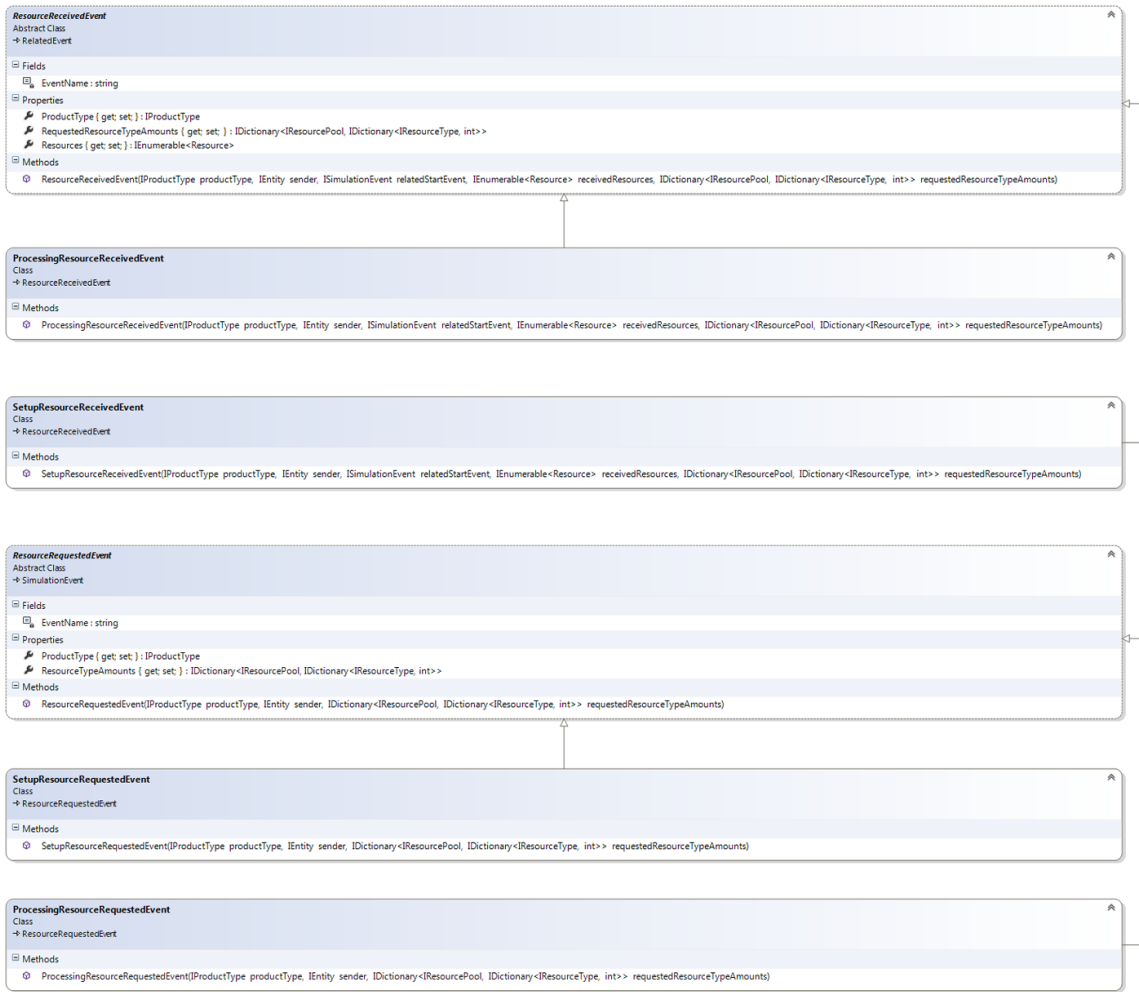
Nr.	Beschrie-ben in	Prio-rität	erfor-dert	Anforderung	Spezifikation
28	AW 7	6	8	An einer Tätigkeit muss es möglich sein nur Ressourcenpools als Ressourcenzugang anzugeben (anstelle von direkten Ressourcen(typen)-Bezügen).	Dies impliziert, dass Ressourcen teilweise gleich behandelt werden (solange sie im selben Pool liegen). In der grafischen Oberfläche sind die Bezugsbildungen zwischen Tätigkeit und Ressourcenpool bereits gegeben, neu ist, dass nicht zusätzlich ein Ressourcentyp definiert werden muss. Dazu müssen entsprechende Überladungen der Methoden programmiert werden, welche die Ressourcenzuweisung zu den Tätigkeiten steuern und die Möglichkeit gegeben werden Ressourcen, unabhängig von deren Typ, aus Ressourcenpools anzufragen (bei Notwendigkeit an der Arbeitsstation).
29	AW 7	6	28	Es muss mindestens eine Ablaufroutine geben, welche den Zugriff von Ressourcen aus einem Ressourcenpool regelt.	Hinsichtlich der Anfragen von Tätigkeiten nach Ressourcen kann es zu bekannten Problemen der Ressourcenverknappung, Deadlock-Szenarien, etc. kommen, hinsichtlich dieser zusätzlichen Komplexität braucht es mindestens eine Steuerungsroutine, welche den Ablauf der Anfrage und erneuten Freigabe von Ressourcen regelt.
30	AW 7	6	29	Bei einem Ausfall von Ressourcen und/oder der Kennzeichnung, dass diese nicht verfügbar sind, dürfen diese nicht "weitergegeben" werden, d.h. der Zugriff auf nicht verfügbare Ressourcen eines Ressourcenpools darf nicht möglich sein.	Ist in Entsprechung zu 24 zu sehen und bedarf nur der Anpassung der Methoden, welche die Weitergabe regeln. Hier braucht es die bereits angesprochene Abfrage nach der Verfügbarkeit der Ressource.
31	AW 7	6	30	Es muss eine Steuerungslogik geben, welche für den Fall, dass keine Ressourcen eines Ressourcenpools verfügbar sind, sich am Pool anmeldet und darauf wartet, dass wieder eine Ressource verfügbar ist. Bei mehrfachen Anmeldungen, von unterschiedlichen Tätigkeiten wird die erste Anmeldung, nach erneuter Freigabe von Ressourcen, zuerst bedient.	Bei der Notwendigkeit von Ressourcen für die Funktionsweise von Maschinen braucht es im Falle der Nicht-Verfügbarkeit von Ressourcen die Anmeldung eines Listeners, der auf ein event wartet, dass die Rückmeldung gibt, dass die notwendige Ressource wieder verfügbar ist. Gleichzeitig muss sichergestellt werden, dass die Tätigkeit bzw. die ihr zugrundliegende Maschine in der Wartezeit in einen anderen Zustand versetzt wird, namentlich wartend.
32	AW 7	7	28	An einer Tätigkeit muss zudem parametrisiert werden können, dass es zu einer zusätzlichen Zeitverzögerung kommt, falls zu einem Zeitpunkt keine Ressourcen verfügbar sind.	Bei einer Arbeitsstation sollte es ein zusätzliches Auswahlfeld geben, welches die Möglichkeit der Eintragung zusätzlicher Wartezeiten (ähnlich der Aufwärmzeiten) ermöglicht. Bei einer entsprechenden Entscheidung für eine zusätzliche Wartezeit muss wiederum ein Auswahlfeld für die Zeitart/Verteilung ermöglicht werden. Entsprechende Routinen und ViewModels existieren bereits und können übernommen werden.
32.1	AW 7	7	32	Die Parametrisierung der Zeitverzögerung muss die Auswahl einer Zeitverteilung und die entsprechende Parametrisierung erlauben.	Bei einer entsprechenden Entscheidung für eine zusätzliche Wartezeit muss wiederum ein Auswahlfeld für die Zeitart/Verteilung ermöglicht werden. Entsprechende Routinen und ViewModels existieren bereits und können übernommen werden.
33	AW 7	7	32	Die zusätzliche Zeit muss bei einer Anfrage von einer Tätigkeit an einen Ressourcenpool, die keine verfügbare Ressource besitzt, auf die Wartezeit hinzuaddiert werden.	Entsprechend muss eine Logik der Summierung der Zeiten in der Ablaufroutine, bzw. beim Auslösen der entsprechenden events ausgelöst werden.

Anwendungsfall 8					
Nr.	Beschrie- ben in	Prio- rität	erfor- dert	Anforderung	Spezifikation
34	AW 8	8		Die sozialen Wirkungen aus den S-LCA-Datensätzen müssen nach der Auswahl von Materialien/Stoffen vom System ausgelesen werden.	Die bestehenden Abfragen der E-LCA Daten bei der Material/Stoff-Auswahl müssen um die entsprechenden Abfragen zu den sozialen Tabellenspalten ergänzt werden. Die resultierenden Daten müssen in logisch sinnvollen Bezügen gespeichert werden.
35	AW 8	8	34	Aus dem Simulationsablauf muss hervorgehen welche der ausgewählten Materialien/Stoffe in welcher Quantität genutzt wurden und die respektiven sozialen Wirkungen, die sich aus den S-LCA-Datensätzen ergeben müssen aufgerechnet werden.	In Anlehnung an die bestehende E-LCA Implementation muss es bei den Stoffbuchungen nicht nur zur ökologischen Bilanzierung kommen, sondern ebenso zu einer sozialen in Abhängigkeit der Datenlage.
36	AW 8	8	34	Die aufgerechneten Wirkungen, die sich aus der Nutzung von Materialien/Stoffen und ihren S-LCA-Datensätzen ergeben, müssen nach der Simulation in den Simulationsergebnissen abrufbar sein.	In Anlehnung an die Speicherung der E-LCA Ergebnisse (d.h. respektive zur LCI) müssen auch die S-LCA Ergebnisse gespeichert und kategorisiert werden. Soziale Einwirkungen, die sich aus S-LCA-Bezügen ergeben, müssen in den Simulationsergebnissen hinsichtlich ihrer S-LCA Kategorisierung gegliedert sein und diese müssen in den LCA Berichten auftauchen (d.h. Excel Export der Ergebnisse).

Anhang B – Datenmodelle des Prototyps







ResourceTypeViewModel
Class
→ PropertyChangedBase

- Fields
 - _resourceType
- Properties
 - Model
 - Name
- Methods
 - ReactToModelChange
 - ResourceTypeViewModel

ResourceTypeEditViewModelFactory
Class

- Fields
 - _distributionViewModelFactory
- Methods
 - CanHandle
 - CreateEditViewModel
 - ResourceTypeEditViewModelFactory

AddResourceTypeCommand
Class
→ PropertyChangedBase

- Fields
 - _addResource
 - _model
- Properties
 - DisplayText
 - ValuesForFirstParameter
- Methods
 - AddResourceTypeCommand
 - Refresh

InfluenceRateEditorViewModel
Class
→ PropertyChangedBase

- Fields
 - _model
- Properties
 - Influence
 - Model
 - Value
- Methods
 - InfluenceRateEditorViewModel
 - ReactToModelChange

ProductTypeSpecificResourceEditorViewModel
Class
→ PropertyChangedBase

- Fields
 - _model
- Properties
 - Amount
 - Description
 - DisplayName
 - Model
 - ProductType
 - ResourcePool
 - ResourceType
- Methods
 - ProductTypeSpecificResourceEditorViewModel
 - ReactToModelChange

ResourceTypeAmountEditorViewModel
Class
→ PropertyChangedBase

- Fields
 - _model
- Properties
 - Amount
 - Description
 - Model
 - ResourceType
- Methods
 - ReactToModelChange
 - ResourceTypeAmountEditorViewModel

ResourceTypeEditViewModel
Class
→ EntityEditViewModel

- Fields
 - _availableInfluences
 - _distributionConfigurationViewModelFactory
 - _resourceType
- Properties
 - AddInfluenceCommand
 - Influences
 - MaintenanceDuration
 - RemoveCommand
 - ResourceType
 - UsageAmount
- Methods
 - AddInfluence (+ 1 overload)
 - CreateAddInfluenceCommand
 - RemoveInfluence
 - ResourceTypeEditViewModel
 - WrapDistribution

AddResourceCommand
Class
→ PropertyChangedBase

- Fields
 - _addResource
 - _chosenResourcePool
 - _chosenResourceType
 - _model
- Properties
 - DisplayText
 - ValuesForFirstParameter
- Methods
 - AddResourceCommand
 - ChooseResourcePool
 - ChooseResourceType
 - Refresh

ResourcePoolEditViewModel
Class
→ EntityEditViewModel

- Fields
 - _resourcePool
 - _resourceTypeAmountFactory
- Properties
 - AddResourceAmountCommand
 - RemoveCommand
 - ResourceTypeAmounts
- Methods
 - AddResource
 - InitializeResourceTypeAmounts
 - Remove
 - ResourcePoolEditViewModel

InfluenceEditViewModel
Class
→ EntityEditViewModel

- Methods
 - InfluenceEditViewModel

ResourcePoolResourceTypeAmountEditorView...
Class
→ PropertyChangedBase

- Fields
 - _model
- Properties
 - Amount
 - Description
 - DisplayName
 - Model
 - ResourcePool
 - ResourceType
- Methods
 - ReactToModelChange
 - ResourcePoolResourceTypeAmountEditorView...

InfluenceEditViewModelFactory
Class

- Methods
 - CanHandle
 - CreateEditViewModel

ResourceTypeInfluenceEditorViewModel
Class
→ PropertyChangedBase

- Fields
 - _model
- Properties
 - IncreaseFactor
 - Influence
 - InitialValue
 - LowerLimit
 - Model
 - RecoveryRate
 - UpperLimit
- Methods
 - ReactToModelChange
 - ResourceTypeInfluenceEditorViewModel

AddProductTypeSpecificResourceCommand
Class
→ PropertyChangedBase

- Fields
 - _addResource
 - _chosenProductType
 - _chosenResourcePool
 - _chosenResourceType
 - _model
- Properties
 - DisplayText
 - ValuesForFirstParameter
- Methods
 - AddProductTypeSpecificResourceCommand
 - ChooseProductType
 - ChooseResourcePool
 - ChooseResourceType
 - Refresh

InfluenceViewModel
Class
→ PropertyChangedBase

- Fields
 - _model
- Properties
 - Model
 - Name
- Methods
 - InfluenceViewModel
 - ReactToModelChange

ResourcePoolWorkstationViewModel
Class
→ ResourcePoolViewModel

- Fields
 - _selectedResourceTypeAmount
- Properties
 - SelectedResourceTypeAmount
 - UsageAmount
- Methods
 - ResourcePoolWorkstationViewModel

ResourcePoolViewModel
Class
→ Screen

- Fields
 - _resourcePool
- Properties
 - AvailableResourceTypeAmounts
 - DisplayName
 - Model
 - Name
- Methods
 - ResourcePoolViewModel

ResourcePoolEditViewModelFactory
Class

- Fields
 - _resourceTypeAmountFactory
- Methods
 - CanHandle
 - CreateEditViewModel
 - ResourcePoolEditViewModelFactory

Anhang D – Fallbeispiel-Modelle

Aufgrund der JSON-Struktur der Modelle würde eine vollständige Auflistung aller Modellelemente und ihrer Einstellungen sehr viele Seiten füllen, was deshalb an dieser Stelle in dieser Form nicht erfolgen soll. Als Erläuterung ist darauf zu verweisen, dass allein die Auflistung einer einzelnen mehrfach verbundenen Arbeitsstation aus einem der Modelle, aufgrund der vielen Einstellungen, wie z.B. Verweise auf Produkttypen, Ressourcenpools und diversen Objektreferenzen, bereits 700 Zeilen in Anspruch nehmen würde. Anstatt eine solche Auflistung hier zu übernehmen wird in der Folge ein Einblick in die Struktur der Modelle gegeben, in dem jeweils ein Beispiel der Definition einer, im Modell genutzten, Einheit und auf der folgenden Seite eines Observers aus einem Fallbeispiel-Modell wiedergegeben wird. Zudem werden die grafischen Repräsentationen der Modelle als Bilder angefügt und sind auf den folgenden Seiten zu finden. Für eine formale Beschreibung der Modelle und für weitere Detailinformationen, wird auf den digitalen Zusatz verwiesen.

Zum generellen Aufbau ist zu bemerken, dass es grundsätzlich in den Modellen zu einer hauptsächlichen Aufteilung auf die logischen Beschreibungen der Modellelemente, samt ihrer Parametrisierung, auf die visuellen Ausprägungen und auf die Definition zusätzlicher Aspekte kommt. Die logischen Beschreibungen machen dabei den größten Teil eines Modells aus (bei einem Beispielmodell mit 2 Arbeitsstationen, Ressourcen und 4 Produkttypen ist dies ca. ein Drittel, bei einem großen Modell mit vielen Arbeitsstationen kann es bis zu 60% ausmachen). Zusätzlich kommen die Definitionen der Observer (ca. 600 Zeilen) und die visuellen Beschreibungen der Entitäten (in Abhängigkeit von den logischen Beschreibungen, ungefähr die Hälfte der Zeilen, die für die logischen Elemente gebraucht werden). Letztlich kommt es zu Referenz- und Einheitenbeschreibungen, sowie Produkttypen und Schichtbeschreibungen, die den Rest der Modellbeschreibungen ausmachen.

Um ein Beispiel einer Einheitenbeschreibung zu geben, ist unten die im Modell notierte Beschreibung von Milligramm angezeigt. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass die Referenzen auf die Einheiten konsequent in den Modellen mit gespeichert werden. Zudem kann an der Definition, als auch an dem folgenden Beispiel des Observers die Verweise auf die noch im Emporer Projekt erstellten Einheiten-, Material- und Verteilungsklassen gesehen werden:

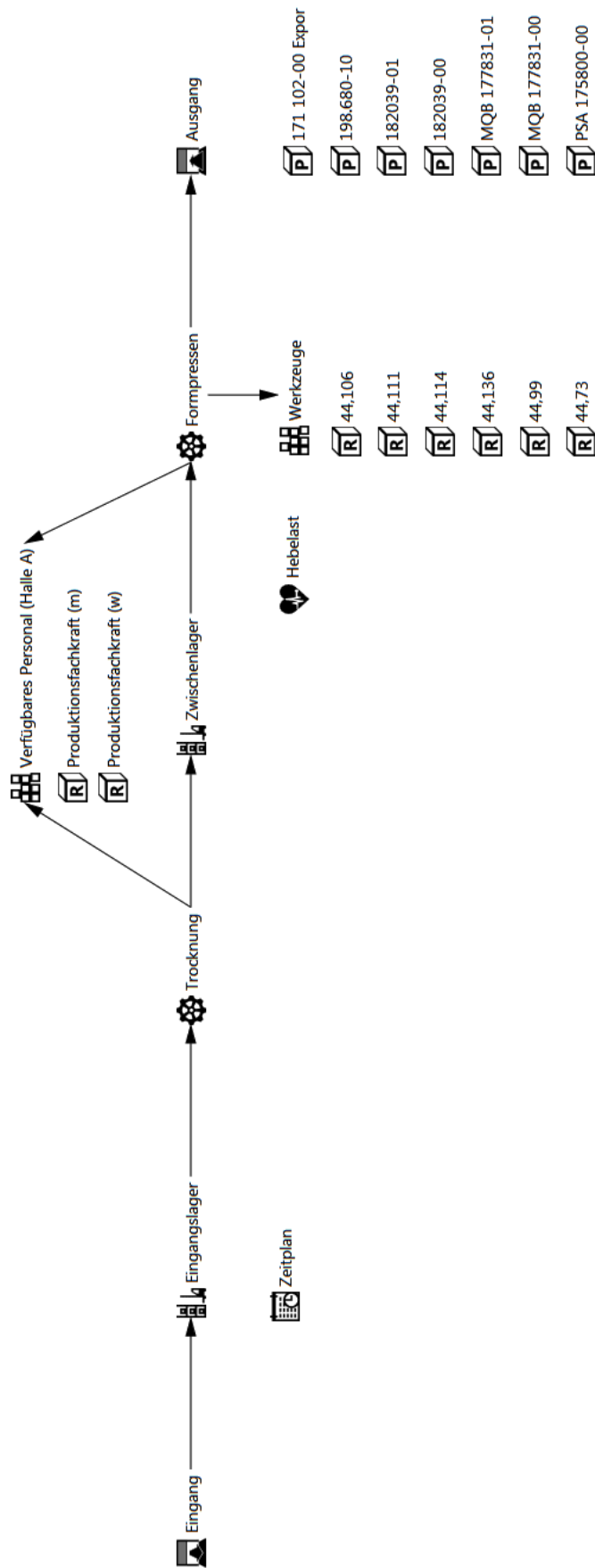
```
{
  "$id": "7",
  "$type": "Emporer.Unit.Unit, Emporer.Unit",
  "Coefficient": 0.1,
  "Name": "Milligramm",
  "Dimension": "Mass",
  "Symbol": "mg",
  "ReferencedUnit":
  {
    "$ref": "6"
  },
  "IsReadOnly": true
},
```

Grundstruktur eines Observers:

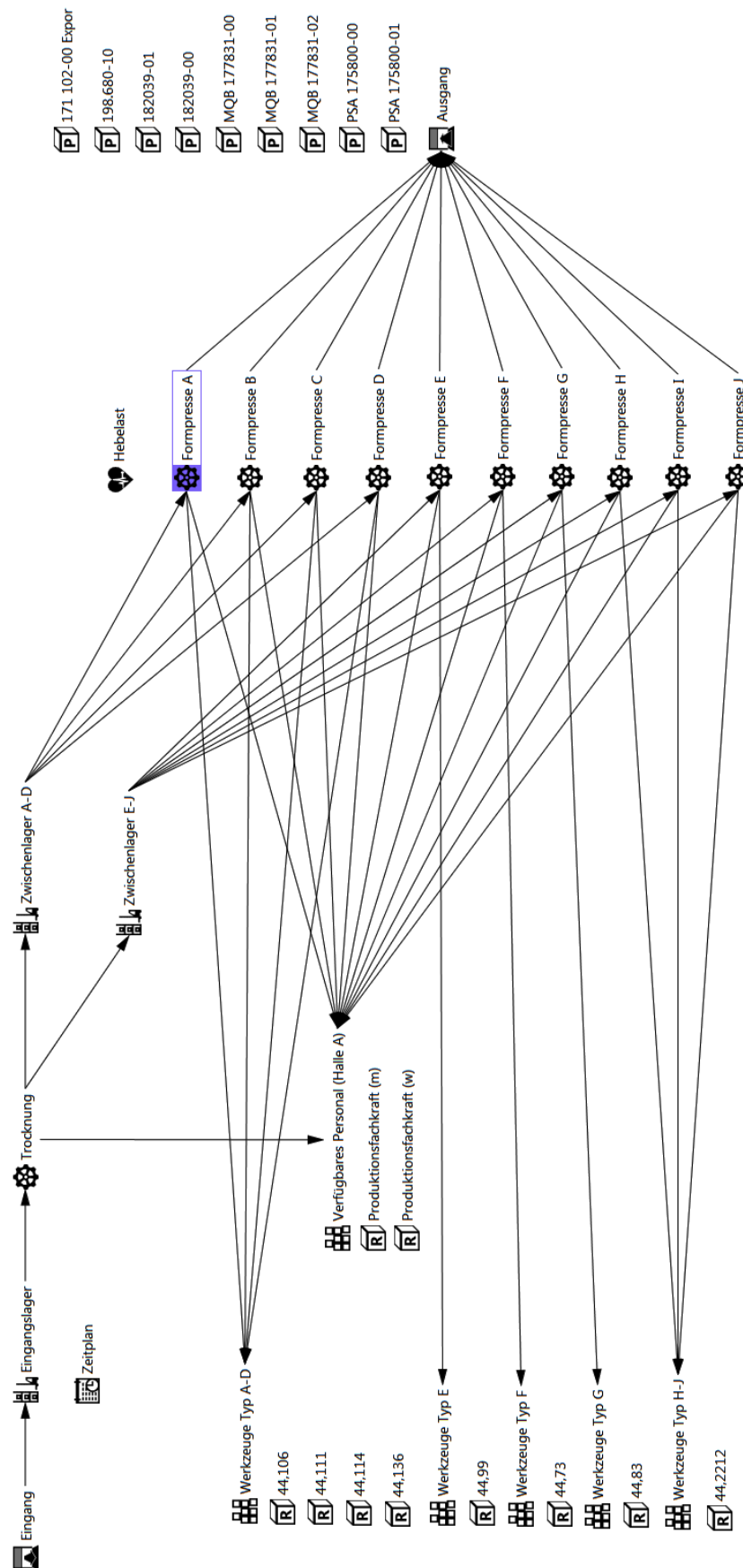
```
"_Observers": {
  "$id": "221",
  "$type": "System.Collections.Generic.List`1[[Milan.Simulation.Observers.ISimulationObserver, Milan.Simulation]], mscorlib",
  "$values": [
    {
      "$id": "222",
      "$type": "Milan.Components.MaterialObserverExtensions+Workstation+Processing, Milan.Components",
      "IsProductTypeSpecific": true,
      "ProductType": {
        "$ref": "52"
      },
      "QuantityReference": 0,
      "Amount": 97.76,
      "BalanceSide": 0,
      "Category": "",
      "Material": {
        "$id": "223",
        "$type": "Emporer.Material.Material, Emporer.Material",
        "Name": "Pom (90231004)",
        "Description": null,
        "OwnUnit": null,
        "DisplayUnit": {
          "$ref": "2"
        }
      },
      "Currency": {
        "$id": "224",
        "$type": "Emporer.Unit.Unit, Emporer.Unit",
        "Coefficient": 0.0,
        "Name": "Euro",
        "Dimension": "Currency",
        "Symbol": "â‚¬",
        "ReferencedUnit": null,
        "IsReadOnly": true
      },
      "Price": 0.0043,
      "Categories": {
        "$id": "225",
        "$type": "System.Collections.Generic.List`1[[Emporer.Material.ICategory, Emporer.Material]], mscorlib",
        "$values": []
      },
      "Properties": {
        "$id": "226",
        "$type": "System.Collections.Generic.List`1[[Emporer.Material.IMaterialProperty, Emporer.Material]], mscorlib",
        "$values": []
      },
      "ContainedMaterials": {
        "$id": "227",
        "$type": "System.Collections.Generic.List`1[[Emporer.Material.IContainedMaterial, Emporer.Material]], mscorlib",
        "$values": []
      },
      "IsReadOnly": false
    },
    {
      "Unit": {
        "$ref": "2"
      },
      "TimeReference": 0,
      "Entity": {
        "$ref": "158"
      },
      "IsEnabled": false,
      "Model": {
        "$ref": "50"
      },
      "IsReadOnly": false
    }
  ],
}
```

Folgend würde es zur Defintion des nächsten Observers kommen.

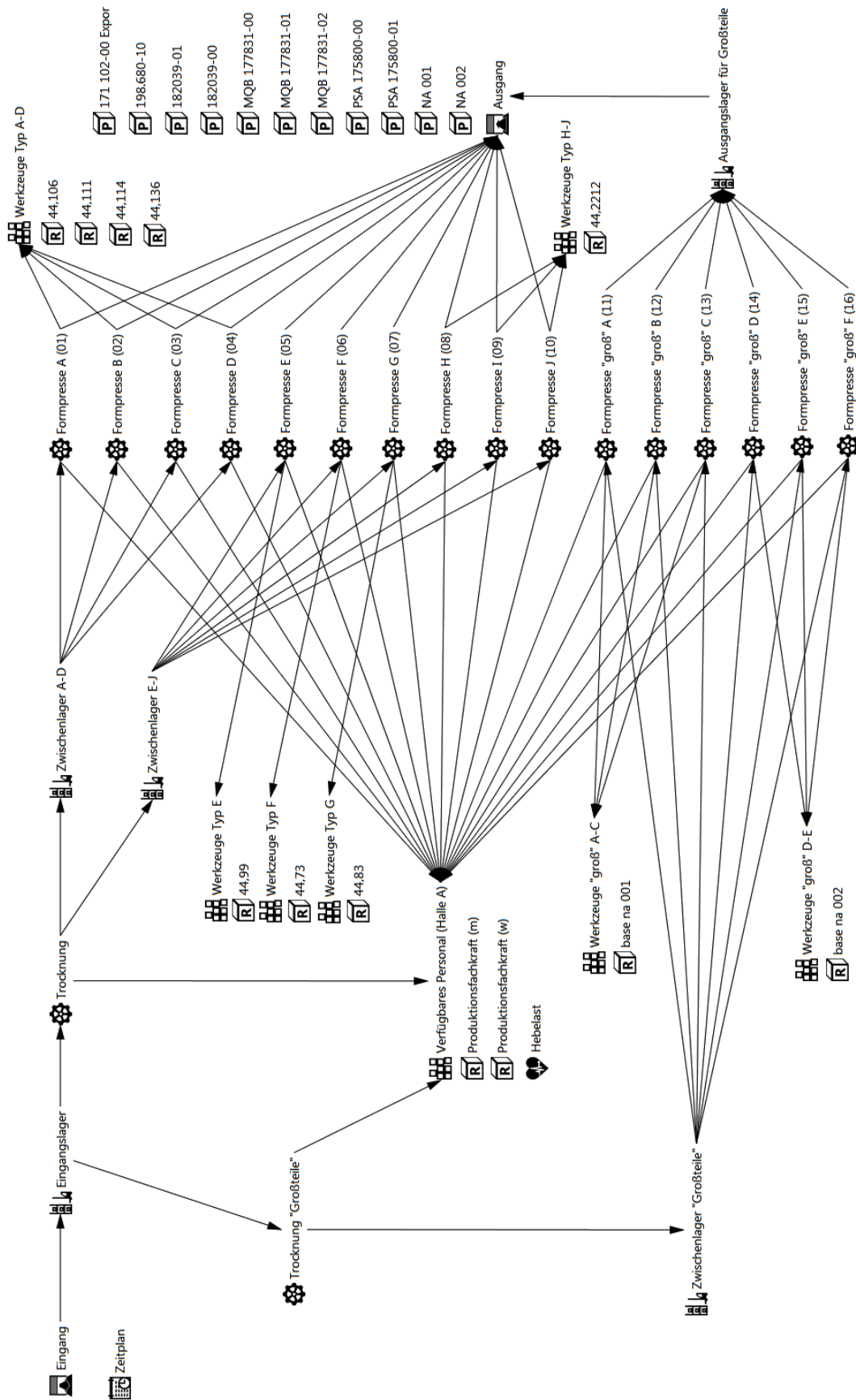
Einfaches Ausgangsmodell für Fallbeispiel 1 (Novapax):



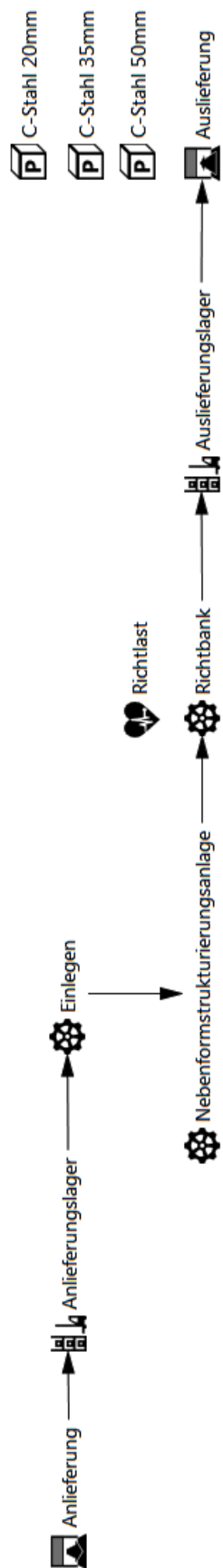
Adaption des Modells zur ersten Überprüfung von Überbelastungen von Mitarbeitern in Fallbeispiel 1 (Novapax):



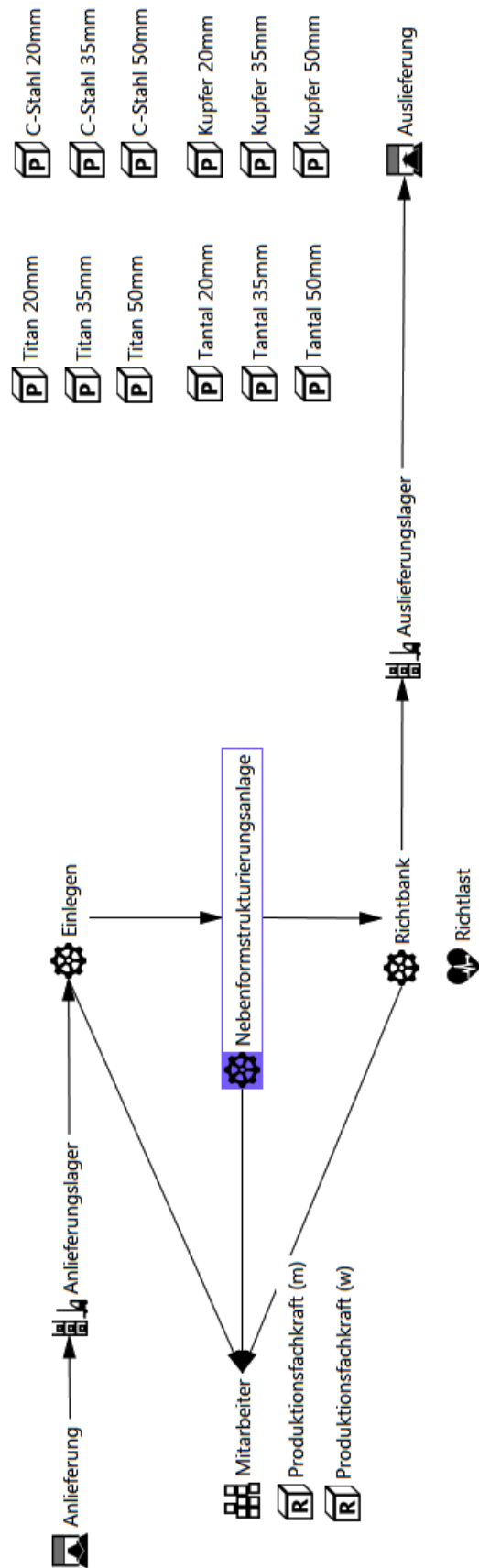
Modell zur Überprüfung des Personals in Halle A, d.h. Eruiierung physischer Belastungen gemäß den spezifizierten Untersuchungsfragen (s. Kap. 7) in Fallbeispiel 1 (Novapax):



Einfaches Ausgangsmodell für Fallbeispiel 2 (EckRohrkessel):



Modell zur Eruierung physischer Belastungen gemäß den spezifizierten Untersuchungsfragen (s. Kap. 7) in Fallbeispiel 2 (EckRohrkessel):



Anhang F – Vollständige Liste der aus der Dissertation hervorgegangenen Veröffentlichungen

- Widok, A. H.; Wohlgemuth, V. (2011): Simulation and Sustainability - Enhancing Event-Discrete-Simulation Software with Sustainability Criteria, in: Proceedings of the third International Conference on Advances in System Simulation (SIMUL 2011), Barcelona, pp. 182-187, 1st edition, IARA (International Academy, Research, and Industry Association), Barcelona, Spain, ISBN (print): 978-1-61208-169-4
- ★ Best Paper Award
- Widok, A. H.; Wohlgemuth, V.; Page, B. (2011): Combining Event Discrete Simulation with Sustainability Criteria, in: Proceedings of the Winter Simulation Conference (WSC) 2011, pp. 859-870, 1st edition, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Phoenix, United States of America, ISBN (print): 978-1-4577-2108-3, ISBN (online): 978-1-4577-2107-6, ISSN (print): 0891-7736, DOI: 10.1109/WSC.2011.6147812
- ★ Nominated for best Paper Award
- Widok, A. H.; Jahr, P.; Schiemann, L.; Wohlgemuth, V. (2012): Integration of Social Criteria in a Simulation Software for a more Sustainable Production. In: Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference, S. 112-113, Omnipress, Berlin, Berlin, Deutschland, 2012, ISBN 978-1-4673-4779-2, ISSN 0891-7736
- Widok, A. H.; Jahr, P.; Schiemann, L.; Wohlgemuth, V. (2012): Stoffstromsimulation für eine nachhaltige Produktions- und Fertigungsplanung, in: Konzepte, Anwendungen und Entwicklungstendenzen von betrieblichen Umweltinformationssystemen (BUIS), S. 55-67, 1. Auflage, Shaker Verlag, Berlin, Deutschland, ISBN (print): 978-3-8440-1180-7, ISBN (online): ISSN 1616-0886
- Widok, A., H.; Schiemann, L.; Jahr, P.; Wohlgemuth, V. (2012): Achieving Sustainability through the Combination of LCA and DES integrated in a Simulation Software for Production Processes, in: Laroque, C., Himmelpach, J., Pasupathy, R., Rose, O., Uhrmacher, A. M. (eds.) (2012): WSC' 12 - Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Berlin, Germany, pp. 264-276, Omnipress, Berlin, 9-12 Dec. 2012, ISBN (print): 978-1-4673-4779-2, ISBN (online): 978-1-4673-4781-5, ISSN (print): 0891-7736, DOI: 10.1109/WSC.2012.6465079
- Widok, A. H.; Schiemann, L.; Jahr, P.; Wohlgemuth, V. (2012): Nachhaltige Produktion durch Verbindung von LCA und Simulation, in: Wittman, J., Page, B. (Hrsg.) (2012): Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften - Tagungsband des ASIM Workshops Hamburg 2012 (Berichte aus der Umweltinformatik), S. 7-18, 1. Auflage, Shaker Verlag, Hamburg, Deutschland, ISBN (print): 978-3-8440-1062-6, ISBN (online): 1616-0886
- Wohlgemuth, V.; Widok, A., H. (2013): Konzeption und Entwicklung eines betrieblichen Umweltinformationssystems zur Simulation von Aspekten der Nachhaltigkeit bei Produktionssystemen. In: Mokosch, Matthias; Urban, Torsten, Umweltinformationssysteme: Definition, Bedeutung und Konzeption, S. 69-79, Shaker Verlag, Aachen, 2013, ISBN 978-3-8440-2300-8
- Widok, A., H.; Wohlgemuth, V. (2013): Simulating Sustainability, in: Page, B., Fleischer, A. G., Göbel, J., Wohlgemuth, V. (eds.) (2013): Proceedings of the 27 Conference on Environmental Informatics - Informatics for Environmental Protection, Sustainable Development and Risk Management (EnviroInfo), Sept. 2-4, 2013, pp. 514-522, 1st edition, Shaker Verlag, Hamburg, Germany, ISBN (print): 978-3-8440-1676-5, ISSN (print): 1616-0886
- Widok, A. H. (2014): Zur Perspektive einer ganzheitlichen Betrachtung durch die Umweltinformatik am Beispiel einer Simulationssoftware für produzierende Unternehmen. Herausgeber: Pillmann, Werner; Schreiber, Martin; Fachausschuss Umweltinformatik der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI). Sonderheft/Sonderband von: Informatik für Umweltschutz, Nachhaltige Entwicklung und Risikomanagement - 55. Rundbrief des Fachausschusses für Umweltinformatik der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI). Ausgabe: Juni 2014, Berlin, 2014
- Widok, A. H.; Wohlgemuth, V. (2014): Technical Concept of a Software Component for Social Sustainability in a Software for Sustainability Simulation of Manufacturing Companies, in: Proceedings of the International Workshop on Simulation for Energy, Sustainable Development & Environment 2014, S. 75-81, Dime Università di Genova, Genua, Italien, 2014, ISBN 978-88-97999-42-3
- ★ Best Paper Award
- Widok, A. H.; Wohlgemuth, V. (2014): Verbesserung der Nutzerfreundlichkeit einer Simulationssoftware für die integrierte Betrachtung verschiedener Nachhaltigkeitsperspektiven in Produktionssystemen, in: Proceedings of the 28th International Conference on Informatics for Environmental Protection, S. 801-808, BIS-Verlag, Oldenburg, 2014, ISBN 978-3-8142-2317-9
- Widok, A. H.; Wohlgemuth, V. (2014): Social Sustainability and Manufacturing Simulation, in: SIMUL 2014 - The Sixth International Conference on Advances in System Simulation, S. 213-220, IARIA, Nizza, Frankreich, 2014, ISBN 978-1-61208-371-1, ISSN 2308-4537
- Widok, A. H.; Wohlgemuth, V. (2015): Definition of social sustainability criteria for the simulation of OHS in manufacturing entities, in: EnviroInfo & ICT4S, Adjunct Proceedings (Part 2) - Building the knowledge base for environmental action and sustainability, S. 7-14, University of Copenhagen, 2015, ISBN 978-87-7903-712-0
- Widok, A. H., Wohlgemuth, V. (2016): Integration of a Social Domain in a Manufacturing Simulation Software, International Journal of Service and Computing Oriented Manufacturing, Vol. 2, No. 2, 2016, pp. 138-154

Anhang G – Kurzzusammenfassung der Ergebnisse in deutscher und englischer Sprache

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Konzept zur Abbildung von sozialen Aspekten in der Produktionssimulation entwickelt und prototypisch realisiert. Dabei war ein Hauptfokus die Machbarkeit nachzuweisen, dass alle drei Perspektiven der Nachhaltigkeit in einem Modellierungsansatz sinnvoll verbunden werden können. Als weiterer Kernbereich der Arbeit wurde die Messbarkeit und Simulierbarkeit von sozialen Aspekten wissenschaftlich aufgearbeitet und dies speziell in der Anwendungsdomäne der Produktionssimulation. Diesbezüglich wurde eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt und verschiedene Ansätze in der Arbeit diskutiert.

Zudem wurde im Zuge der Arbeit eine prinzipielle Vorgehensweise zur Nachhaltigkeitsoptimierung in Produktionsbetrieben diskutiert, in der die Simulation als ein Baustein genutzt werden kann. Es wurde eine Kennzahl zur Bestimmung einer aggregierten sozialen Wirkung vorgestellt und deren Erstellung diskutiert. Darüber hinaus wurden Softwarekomponenten, konzipiert, präsentiert, prototypisch realisiert und an Fallbeispielen auf ihre Funktionsweise hin getestet. Dabei erfüllten diese die Anforderungen der Definition, Parametrisierung und Simulation von sozialen Kriterien und ihre Integration in einem Simulationsmodell, welches bereits in der Lage war ökonomische und ökologische Perspektiven der Produktion zu beleuchten.

In this dissertation a concept was developed for the depiction of social criteria in the simulation of manufacturing entities. This concept was then realized in form of a prototype. One of the main challenges of this work was to discuss and demonstrate the feasibility of the integration of all three pillars of sustainability in one single model. Furthermore, the measurability and possibility to simulate social criteria was scientifically discussed with the main focus on the domain of the simulation of manufacturing entities. For this an intense literature review was conducted and different approaches discussed.

In addition a principal approach on how optimization of sustainability criteria in producing companies may be worthwhile was presented, with one of key elements being the modeling and simulation approach. Moreover a performance indicator for an aggregated social impact was presented and its validity and application discussed. Additionally software components for the modeling and simulation of social criteria in manufacturing entities were developed and tested using a prototype of the simulation software.

Literaturverzeichnis

Als zusätzliche Informationen zum Literaturverzeichnis ist zu notieren, dass sich die in Kapitel 2.4.3.2 erwähnte Analyse auf weitere ca. 400 Quellen, insgesamt ca. 750, bezieht, die hier nicht komplett aufgeführt werden, da diese nicht in der Dissertation zitiert wurden. Den Prüfern wurde eine entsprechende Liste und digitale Versionen zur Verfügung gestellt.

- Aaronson, N. K. (1988): Quantitative issues in health-related quality of life assessment, in: *Health Policy*, Vol. 10, Issue 3 (1988), pp. 217-230, Elsevier Science Publishers B.V. (Biomedica Division), Amsterdam, Netherlands, ISSN (print): 0168-8510, DOI: 10.1016/0168-8510(88)90058-9
- Abramovici, M., Filos, E. (2011): Industrial integration of ICT: opportunities for international research cooperation under the IMS scheme, in: *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 22 (2011), pp. 717-724, Springer Verlag, Bochum/Brussel, Germany/Belgium, DOI: 10.1007/s10845-009-0331-5, DOI retrieved on: 19.11.13
- Acemoglu, D., Autor, D., Dorn, D., Hanson, G. H. (2014): Return of the Solow Paradox? IT, Productivity, and Employment in U.S. Manufacturing, in: NBER Working Paper, No. 19837, Cambridge, MA, United States of America
- Adger, W. N. (2003): Social Capital, Collective Action, and Adaptation to Climate Change, in: *Economic Geography*, Vol. 79, Issue 4 (2003), pp. 387-404, Clark University. <http://www.clarku.edu/econgeography>, Norwich, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, ISSN (print): 0013-0095, DOI: 10.1111/j.1944-8287.2003.tb00220.x
- Adler, P. S., Kwon, S.-W. (2002): Social Capital: Prospects for a new Concept, in: *Academy of Management Review*, Vol. 27 (2002), pp. 17-40, South California, United States of America
- Agyeman, J., Evans, B. (2004): Just Sustainability?: The Emerging Discourse of Environmental Justice in Britain?, in: *The Geographical Journal*, Vol. 170, Issue 2 (June 2004), pp. 155-164, Medford, MA/Newcastle upon Tyne, NE, USA
- Ahmadi, M. (2012): The application of system dynamics and discrete event simulation in supply chain management of Swedish manufacturing industries, Masterthesis at the Mälardalen University, School of Innovation, Design and Engineering, Masterthesis, Mälardalen University, School of Innovation, Design and Engineering, Västerås, Sweden
- Ai, X., Shufeng, G. (2013): A Game Model Between Governments and Enterprises in the Green Supply Chain of the Home Appliance Industry, in: *Journal on Innovation and Sustainability - RISUS*, Sao Paulo, Vol. 4, Issue 1 (2013), pp. 35-42, Dalian/Zhuhai, China, DOI retrieved on: 14.10.13
- Akashi, O., Hanaoka, T. (2012): Technological feasibility and costs of achieving a 50 % reduction of global GHG emissions by 2050: mid- and long-term perspectives, in: *Sustainability Science*, Vol. 7, Issue 2 (2012), pp. 139-156, Tokyo/Onogawa, Japan, DOI: 10.1007/s11625-012-0166-4, DOI retrieved on: 18.11.13
- Akesson, K., Fabian, M., Flordal, H., Malik, R. (2006): Supremica - an integrated environment for verification, synthesis and simulation of discrete event systems, in: *Proceedings of the Eighth International Workshop on Discrete Event Systems (WODES 2006)*, pp. 384-385, 1st edition, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Ann Arbor, Michigan, United States of America, DOI: 10.1109/WODES.2006.382401, DOI retrieved on: 14.10.13
- Altaf, A., Awan, M. A. (2011): Moderating Affect of Workplace Spirituality on the Relationship of Job Overload and Job Satisfaction, in: *Journal of Business Ethics*, Vol. 104 (2011), pp. 93-99, Springer Science + Business Media B.V., Islamabad, Pakistan, DOI: 10.1007/s10551-011-0891-0, DOI retrieved on: 25.11.13
- Al-Zuheri, A. (2013): Structural and Operational Complexity of Manual Assembly Systems, in: *Journal of Computer Science*, Vol. 9, Issue 12 (2013), pp. 1822-1829, Science Publications, Mawson Lakes/Baghdad, Australia/Iraq, ISSN (print): 1549-3636, DOI: 10.3844/jcssp.2013.1822.1829
- Amendola, K. L., Weisburd, D., Hamilton, E. E., Jones, G., Slipka, M. (2011): An experimental study of compressed work schedules in policing: advantages and disadvantages of various shift lengths, in: *Journal of Experimental Criminology*, Vol. 7, Issue 4 (2011), pp. 407-442, Springer Science + Business Media B.V., Washington, DC/Jerusalem/Fairfax, VA, United States of America/Israel, ISSN (print): 1573-3750, ISSN (online): 1572-8315, DOI: 10.1007/s11292-011-9135-7, DOI retrieved on: 25.11.13
- Amnesty International (2013): *The Dark Side of Migration - Spotlight on Qatar's Construction Sector ahead of the World Cup*, Amnesty International, London, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland
- Anderies, J. M., Folke, C., Walker, B., Ostrom, E. (2013): Aligning Key Concepts for Global Change Policy: Robustness, Resilience and Sustainability, in: *Ecology and Society*, Vol. 18, Issue 2 (2013), Published on the Ecology and Society Website under license by The Resilience Alliance, Tempe, AZ/Stockholm, United States of America/Sweden, ISSN (print): 1708-3087, DOI: 10.5751/ES-05178-180208, DOI retrieved on: 30.09.13

- Anderson, K., Lee, S. H. (2013): Modeling Occupant Energy Use Interventions in Evolving Social Networks, in: Pasupathy, R., Kim, S.-H., Tolk, A., Hill, R., Kuhl, M. E. (eds.) (2013): WSC' 13 - Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference, Washington, DC, USA, pp. 3051-3058, 1st edition, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Washington, DC, United States of America, ISBN (print): 978-1-4799-2076-1
- Andersson, J. (2014): Environmental Impact Assessment using Production Flow Simulation, Licentiate thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.
- Andersson, J., Skoogh, A., Johansson, B. (2011): Environmental Activity Based Cost using Discrete Event Simulation, in: Proceedings of the Winter Simulation Conference (WSC) 2011, pp. 891-902, 1st edition, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Phoenix, United States of America, ISBN (print): 978-1-4577-2108-3, ISBN (online): 978-1-4577-2107-6, ISSN (print): 0891-7736, DOI: 10.1109/WSC.2011.6147815, zu finden auch online unter: <http://www.informs-sim.org/wsc11papers/080.pdf>, heruntergeladen am: 13.02.2014
- Andersson, J., Skoogh, A., Johansson, B. (2012): Evaluation of Methods used for Life-Cycle Assessments in discrete event simulation, in: Laroque, C., Himmelspach, J., Pasupathy, R., Rose, O., Uhrmacher, A. M. (eds.) (2012): WSC' 12 - Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference, pp. 1761-1772, 1st edition, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Berlin, Germany, ISBN (print): 978-1-4673-4779-2, ISBN (online): 978-1-4673-4781-5, ISSN (print): 0891-7736, DOI: 10.1109/WSC.2012.6465094, zu finden auch online unter: <http://informs-sim.org/wsc12papers/includes/files/con394.pdf>
- Andrisano, A. O., Leali, F., Pellicciari, M., Pini, F., Vergnano, A. (2012): Hybrid Reconfigurable System design and optimization through virtual prototyping and digital manufacturing tools, in: International Journal for Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM), Vol. 6 (2012), pp. 17-27, Springer-Verlag, Modena, Italy, DOI: 10.1007/s12008-011-0133-9, DOI retrieved on: 18.11.13
- Angelstam, P., Andersson, K., Annerstedt, M., Axelsson, R., Elbakidze, M., Garrido, P., Grahn, P., 255 - Angelstam et al. - 2013 - Jönsson, K. I., Pedersen, S., Schlyter, P., Skärbäck, E., Smith, M., Stjernquist, I. (2013): Solving Problems in Social–Ecological Systems: Definition, Practice and Barriers of Transdisciplinary Research, in: *Ambio*, Vol. 42 (2013), pp. 254-264, The Author(s) ., Skinnskatteberg/Frederiksberg/Moscow/Fredriksberg/Sykytyvkar, Sweden/Denmark/Russian Federation, DOI:10.1007/s13280-012-0372-4, DOI retrieved on: 27.11.13
- Angelstam, P., Elbakidze, M., Axelsson, R., Dixelius, M., Törnblom, J. (2013): Knowledge Production and Learning for Sustainable Landscapes: Seven Steps Using Social–Ecological Systems as Laboratories, in: *Ambio*, Vol. 42 (2013), pp. 111-115, The Author(s) . This article is published with open access at Springerlink.com www.kva.se/en, Skinnskatteberg/Frederiksberg/Moscow/Fredriksberg/Sykytyvkar, Sweden/Denmark/Russian Federation, DOI: 10.1007/s13280-012-0371-5, DOI retrieved on: 27.11.13
- Arndt, M. (2011): Nachhaltigkeitscheck ESYS. Entscheidungssystem für eine demographierobuste Infrastrukturplanung, in: *Der Bürger im Staat - Raumbilder für das Land Regionen, Orte und Bauten im ländlichen Raum*, Ausgabe 1/2 (2011), S. 33-37, Verlagsgesellschaft W.E. Weinmann mbH, Stuttgart, Deutschland, ISSN (print): 0007–3121
- Arnold, W., Freimann, J., Kurz, R. (2001): Grundlagen und Bausteine einer Sustainable Balanced Scorecard (SBS), Werkstattreihe Betriebliche Umweltpolitik, Bd. 17, Gesamthochschule Kassel, Kassel, zitiert aus: Langer, U. (2011): Unternehmen und Nachhaltigkeit Analyse und Weiterentwicklung aus der Perspektive der wissenschaftlichen Theorie der Unternehmung, Stuttgart, Deutschland, s. S. 25
- Arnold, W., Freimann, J., Kurz, R. (2003): Sustainable Balanced Scorecard (SBS): Integration von Nachhaltigkeitsaspekten in das BSC-Konzept Konzept - Erfahrungen - Perspektiven, in: *Controlling & management review : Zeitschrift für Controlling & Management*, Vol. 47 (2003), pp. 391-400, Springer Gabler, Springer-Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, Germany, ISSN (online): 0931-9077, DOI retrieved on: 25.10.13
- Asif, F. M. A., Bianchi, C., Rashid, A., Nicolescu, C. M. (2012): Performance analysis of the closed loop supply chain, in: *International Journal of Remanufacturing*, Vol. 2, Issue 4 (2012), Springer Verlag, Stockholm, Sweden, DOI: 10.1186/2210-4690-2-4, DOI retrieved on: 18.11.13
- Axelsson, R., Angelstam, P., Degerman, E., Teitelbaum, S., Andersson, K., Elbakidze, M., Drotz, M. K. (2013): Social and Cultural Sustainability: Criteria, Indicators, Verifier Variables for Measurement and Maps for Visualization to Support Planning, in: *Ambio*, Vol. 42 (2013), pp. 215-228, The Author(s) . This article is published with open access at Springerlink.com www.kva.se/en, Skinnskatteberg/Örebro/Montreal, QC/Lidköping, Sweden/Canada, DOI: 10.1007/s13280-012-0376-0, DOI retrieved on: 27.11.13
- Azadivar, F. (1992): A Tutorial on Simulation Optimization, in: Proceedings of the 24th conference on Winter simulation - WSC '92, (J. J. Swain, D. Golclmsan, R. C. Crain, and J. R. Wilson, eds.), Pages 198-204, ACM New York, USA, ISBN (print): 0-7803-0798-4, DOI: 10.1145/167293.167332, DOI retrieved on: 11.02.14
- Azadivar, F. (1999): Simulation Optimization Methodologies, in: Proceedings of the 31th Winter Simulation Conference - a bridge to the future - Volume 1 (P. A. Farrington, H. B. Nembhard, D. T. Sturrock, and G. W. Evans, eds.), pp. 93-100, ACM New York, NY, USA, ISBN (print): 0-7803-5780-9, DOI: 10.1145/324138.324168, DOI retrieved on: 09.02.14
- Babulak, E., Wang, M. (2010): Discrete Event Simulation: State of the Art, Discrete Event Simulations, in: Goti, A. (eds.) Discrete Event Simulations, Edition: 2010, Chapter: 1, Publisher: INTECH Open Science, Editors: Aitor Goti, pp.1-9, Sciyo/InTech, Suva/Vancouver, BC, Fiji/Canada, ISBN (print): 978-953-307-115-2

- Baccini, P., Brunner, P. H. (2012): *Metabolism of the Anthroposphere - Analysis, Evaluation, Design*, 2nd edition, Massachusetts Institute of Technology, Römerswil/Vienna, Switzerland/Austria, ISBN (print): 978-0-262-01665-0
- Baccini, P., Bader, H.-P. (1996): *Regionaler Stoffhaushalt. Erfassung, Bewertung und Steuerung*, Spektrum Akademischer Verlag, ISBN: 978-3860252352
- Bäck, T., Engels, C., Gaul, A. J., Spitzer, H. (2010): *Optimales Asset Management*, in: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, Ausgabe 60. Jg. (2010) Heft 1/2 (2010), S. 78-81, Dortmund/Essen/München, Deutschland
- Badura, B., Ducki, A., Schröder, H., Klose, J., Meyer, M. (Hrsg.) (2014): *Fehlzeitenreport 2014 - Erfolgreiche Unternehmen von morgen - gesunde Zukunft heute gestalten*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN (print): 978-3-662-43530-4, ISBN (online): 978-3-662-43531-1, DOI: 10.1007/978-3-662-43531-1
- Badura, B., Schröder, H., Klose, J., Macco, K. (Hrsg.) (2010 (a)): *Fehlzeiten-Report 2009 - Arbeit und Psyche: Belastungen reduzieren - Wohlbefinden fördern*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN (print): 978-3-642-01077-4, ISBN (online): 978-3-642-01078-1, DOI: 10.1007/978-3-642-01078-1
- Badura, B., Walter, U., Hehlmann, T. (2010 (b)): *Betriebliche Gesundheitspolitik - Der Weg zur gesunden Organisation*, 2. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Bielefeld/Bremen, Deutschland, ISBN (print): 978-3-642-04336-9, ISBN (online): 978-3-642-04337-6, DOI: 10.1007/978-3-642-04337-6
- Bagheri, A., Hjorth, P. (2005): *Monitoring for sustainable development: a systemic framework*, in: *International Journal of Sustainable Development (IJSd)*, Vol. 8, Issue 4 (2005), pp. 280-301, Inderscience Publishers, ISSN (print): 0960-1406, ISSN (online): 1741-5268, DOI: 10.1504/IJSd.2005.009576
- Bakan, J. (2005): *Das Ende der Konzerne. Die selbstzerstörerische Kraft der Unternehmen*, 1. Auflage, Europa, Hamburg, Deutschland, ISBN (print): 978-3-203-75543-4
- Bamberg, E. (1991): *Arbeit, Freizeit und Familie*, in: S. Greif, E. Bamberg & N. Semmer (eds.), *Psychischer Streß* (S. 201-221), Göttingen, Hogrefe Verlag, Deutschland
- Bamberg, E. (2003): *Organisationsberatung aus der Perspektive der Arbeitspsychologie*, in: K.-C. Hamborg & H. Holling (eds.), *Innovative Personal- u. Organisationsentwicklung* (S. 355-380), Göttingen, Hogrefe Verlag, Deutschland
- Bamberg, E., Ducki, A., Metz, Anna-Marie (Hrsg.) (2011): *Gesundheitsförderung und Gesundheitsmanagement in der Arbeitswelt*, 1. Auflage, Hogrefe Verlag GmbH & Co. KG, Osnabrück, Hamburg, Berlin, Potsdam, Deutschland, ISBN (print): 978-3-8017-2371-2
- Bamberg, S., Möser, G. (2006): *Twenty years after Hines, Hungerford, and Tomera: A new meta-analysis of psycho-social determinants of pro-environmental behaviour*, in: *Journal of Environmental Psychology*, Vol. 27, Issue 1 (2006), pp. 14-25, Elsevier Ltd., Gießen, Germany, ISSN (print): 0272-4944, DOI: 10.1016/j.jenvp.2006.12.002
- Bamzi, A. A., Zahedi, G. (2011): *Sustainable energy systems: Role of optimization modeling techniques in power generation and supply - A review*, in: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 15 (2011), pp. 3480-3500, Elsevier Ltd., Johor Bahru/Lahore, Malaysia/Pakistan, DOI: 10.1016/j.rser.2011.05.003, DOI retrieved on: 06.02.14
- Banks, J., Carson, J., Nelson, B. L., Nicol, D. (2005): *Discrete-event system simulation*, 4th edition, Upper Saddle River, New Jersey, United States of America, ISBN (print): 978-0-13-088702-3
- Banks, J., Gibson, R. R. (1997): *Don't simulate when: ten rules for determining when simulation is not appropriate*, IIE Solutions, September 1997
- Bare, J. (2011): *Recommendation for land use impact assessment: first steps into framework, theory, and implementation*, in: *Clean Technologies and Environmental Policy*, Vol. 13 (2011), pp. 7-18, US Government, Cincinnati, OH, United States of America, DOI: 10.1007/s10098-010-0290-8, DOI retrieved on: 25.10.13
- Bare, J. (2011): *TRACI 2.0: the tool for the reduction and assessment of chemical and other environmental impacts 2.0*, in: *Clean Technologies and Environmental Policy*, Vol. 13 (2011), pp. 687-696, Springer Verlag, New York, NY, United States of America, DOI: 10.1007/s10098-010-0338-9, DOI retrieved on: 25.10.13
- Bare, J. C., Hofstetter, P., Pennington, D. W., Haes, H. A. U. d. (2000): *Midpoints versus endpoints: The sacrifices and benefits*, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, Vol. 5 (November 2000), Issue 6, pp. 319-326, ISSN: 0948-3349
- Barletta, I., Johansson, B., Reimers, J., Stahre, J., Berlin, C. (2015): *Prerequisites for a high-level framework to design sustainable plants in the e-waste supply chain*, *Proceeding of the 22nd CIRP conference on Life Cycle Engineering*, 2015, ISSN: 2212-8271
- Bashir, U., Ramay, M. I. (2010): *Impact of Stress on Employees Job Performance A Study on Banking Sector of Pakistan*, in: *International Journal of Marketing Studies*, Vol. 2 (2010), pp. 122-126, Islamabad, Pakistan
- Bates, D. G., Tucker, J. (eds.) (2010): *Human Ecology - Contemporary Research and Practice*, 1st edition, Springer Science + Business Media, LLC, New York, NY, United States of America

- BAuA (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin und Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik) (Hrsg.) (2001): Leitmerkalmethode zur Beurteilung von Heben, Halten, Tragen - Handlungsanleitung für die Beurteilung der Arbeitsbedingungen gemäß ArbSchG und LasthandhabV, 2001
- BAuA (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin und Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik) (Hrsg.) (2010): Psychische Belastung und Beanspruchung im Berufsleben: Erkennen – Gestalten, 5. Auflage, Juli 2010, ISBN (print): 978-3-88261-539-5
- BAuA (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin und Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik) (Hrsg.) (2012): Leitmerkalmethode zur Erfassung von Belastungen bei manuellen Arbeitsprozessen (Version 2012)
- BAuA (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin und Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik) (Hrsg.) (2012): TRGS 400 - Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Ausgabe: Dezember 2010, zuletzt geändert und ergänzt: GMBI 2012 S. 715 v. 13.9.2012 [Nr. 40]
- BAuA (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin und Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik) (Hrsg.) (2014): Gefährdungsbeurteilung psychischer Belastung - Erfahrungen und Empfehlungen, Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. KG, Berlin, Berlin, Deutschland, ISBN (print): 978-3-503-15439-5
- Bauer, A. (2008): Bindungen zwischen den Generationen der späten Familie - Bindungstheoretische Überlegungen, in: Bauer, A., Göring, K. (Hrsg.) (2008): Gerechtigkeit, Geschlecht und demografischer Wandel, Frankfurt a. M., S. 175-203
- Baumanns, R. (2009): Unternehmenserfolg durch betriebliches Gesundheitsmanagement, Nutzen für Unternehmer und Mitarbeiter - Eine Evaluation, *ibidem*-Verlag, Stuttgart, ISSN (print): 1614-6441, ISBN (print): 978-3-8382-0035-4
- Baumanns, R., Münch, E. (2010): Erfolg durch Investitionen in das Sozialkapital – Ein Fallbeispiel, in Badura, B., Walter, U., Hehlmann, T. (Hrsg.) Betriebliche Gesundheitspolitik, 2010, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-642-04336-9
- Baumgartner, R. J. (2010): Zwei Tage Nachhaltigkeit, in: Berichte aus der Energie- und Umweltforschung, Band 26/2010 (2010), Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, Österreich
- Baumgartner, R. J., Biedermann, H., Ebner, D. (2007): Unternehmenspraxis und Nachhaltigkeit: Herausforderungen, Konzepte und Erfahrungen. Sustainability Management for Industries 2, 1. Auflage, Rainer Hampp Verlag, München/Mehring, Deutschland, ISBN (print): 978-3-86618-128-1
- Baumgartner, R. J., Korhonen, J. (2010): Strategic Thinking for Sustainable Development, in: Sustainable Development, Vol. 18, Issue 2 (2010), pp. 71-75, John Wiley & Sons, Ltd and ERP Environment, Turku/Leoben, Finland/Austria, ISSN (print): 0968-0802, DOI: 10.1002/sd.452
- Becker, M., Wenning, B.-L., Görg, C., Gehrke, J. D., Lorenz, M., Herzog, O. (2006): Agent-based and Discrete Event Simulation of Autonomous Logistic Processes, in: ECMS 2006 Proceedings edited by: W. Borutzky, A. Orsoni, R. Zobel - European Council for Modeling and Simulation, pp. 566-571, 1st edition, ECMS, Toulouse, France, ISBN (print): 0-9553018-0-7, ISBN (online): 0-9553018-1-5, DOI: 10.7148/2006-0566, zu finden auch unter: <http://www.scs-europe.net/services/ecms2006/ecms2006%20pdf/110-abs.pdf>, heruntergeladen am: 15.11.2013
- Beermann, B., Ertel, M., Freude, G., Höpfner, I., Heinze, W., Junghanns, G., Kamps, H.-H., Koßmann, J., Kuhn, K., Lazarus, H., Müller-Arnecke, H., Richter, G., Tatusch, W., Ullsperger, P., Weißgerber, B., Zeller, I. (2001): Streß im Betrieb? Handlungshilfen für die Praxis, in: Gesundheitsschutz/Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse, Band 20 (2001), Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, Deutschland, ISBN (print): 3-88261-380-7
- Behner, P., Klink, A., Visser, S., Böcken, J., Etgeton, S. (2012): Effekte einer gesteigerten Therapietreue: Bessere Gesundheit und höhere Arbeitsproduktivität durch nachhaltige Änderung des Patientenverhaltens, Bertelsmann Stiftung
- Behrens, B. (2010): Nachhaltiges Management und Theatralität - Inszenierung und Simulation als Instrumente der Widerspruchsbewältigung, in: Müller-Christ, G., Hülsmann, M. (Hrsg.) (2010): Nachhaltigkeit und Management, Band 6, S. 208 ff., zugleich Dissertation an der Universität Bremen (2008), 1. Auflage, Lit Verlag GmbH & Co. KG Wien, Bremen, Deutschland, ISBN (print): 978-3-643-90000-5
- Beirat für Nachhaltige Entwicklung und Ressourcenschutz des Landes Brandenburg, (Hrsg.) (2009): Brandenburg auf dem Weg zur Modellregion für Nachhaltige Entwicklung - Endbericht 2009, Potsdam, Deutschland
- Bell, S., Morse, S. (2008): Sustainability Indicators: Measuring the Immeasurable, 2nd edition, Sterling, ISBN (print): 978-1-8440-7299-6, ASIN: B00ZY8DTUG
- Belton, V., Stewart, T. (2002): Multiple Criteria Decision Analysis - An integrated Approach, 1st edition, Springer US, ISBN: 978-0-7923-7505-0

- Benoît, C., Vickery-Niederman, G. (2010): Social Sustainability Assessment Literature Review, The Sustainability Consortium, Arizona State University and University of Arkansas, Durham, NH/Fayetteville, AR, United States of America
- Benz, G. (2009): Naturkatastrophen sind Kulturkatasstrophen! Umwelthistorische Grundlagen von Risikoanalysen für Naturgefahren, in: Hermann, B. (Hrsg.) (2009): Beiträge zum Göttinger Umwelthistorischen Kolloquium 2008-2009, S. 129-142, 1. Auflage, Universitätsverlag Göttingen, Göttingen, Deutschland/Vereinigte Staaten von Amerika, ISBN (print): 978-3-940344-97-7
- Berglund, J., Lindskog, E., Johansson, B., Vallhagen, J. (2014): Using 3D Laser Scanning to Support Discrete Event Simulation of Production Systems: Lessons Learned, Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference, A. Tolk, S. Y. Diallo, I. O. Ryzhov, L. Yilmaz, S. Buckley, and J. A. Miller, eds., IEEE, pp. 2990-2999
- Berlin, C. (2011): Ergonomics Infrastructure - An Organizational Roadmap to Improved Production Ergonomics, Ph.D. Thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, ISBN: 978-91-7385-566-2, ISSN: 0346-718X
- Berlin, C., Neumann, W. P., Theberge, N., Örtengren, R. (2014): Avenues of entry: how industrial engineers and ergonomists access and influence human factors and ergonomics issues, European Journal of Industrial Engineering, Vol. 8, No. 3, 2014, pp. 325-348
- Beschorner, T., Lindenthal, A., Behrens, T. (2004): Unternehmenskultur II. Zur kulturellen Einbettung von Unternehmen, in: Forschungsgruppe Unternehmen und Organisation (Fugo) (Hrsg.): Perspektiven einer kulturwissenschaftlichen Theorie der Unternehmung, Marburg: Metropolis, S. 273-307
- BIA, (Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit) (2004): BGR 121 Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen, BIA / R. Oldenbourg Verlag München Wien, Sankt Augustin, Deutschland
- Biebeler, H. (2004): Unternehmensbefragung zum nachhaltigen Wirtschaften - Ein breiter Mix von Instrumenten, in: Ökologisches Wirtschaften, Band 6 (2004), S. 31-32, erneut veröffentlicht unter Lizenz des Instituts für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) und dem oekom Verlag im Jahr 2010
- Bieker, T., Gminder, C. U., Hamschmidt, J. (Hrsg.) (2001): Unternehmerische Nachhaltigkeit: Auf dem Weg zu einem Sustainability Controlling. IWÖ Diskussionsbeitrag Nr. 95, St. Gallen: Institut für Wirtschaft und Ökologie
- Biendarra, I.; Weeren, M. (Hrsg.) (2008): Gesundheit - Gesundheit?: Eine Orientierungshilfe, 1. Auflage, Königshausen u. Neumann Verlag, Würzburg, Deutschland, ISBN: 978-3826037436
- Biong, H., Nygaard, A., Silkoset, R. (2010): The Influence of Retail Management's Use of Social Power on Corporate Ethical Values, Employee Commitment, and Performance, in: Journal of Business Ethics, Vol. 97, Issue 3 (2010), pp. 341-363, Springer, Oslo, Norway, DOI: 10.1007/s10551-010-0523-0, DOI retrieved on: 25.11.13
- Birnbacher, D., Schicha, C. (1996): Vorsorge statt Nachhaltigkeit – Ethische Grundlagen der Zukunftsverantwortung, in: Kastenholz, H. G., Erdmann, K.-H., Wolff, M. (Hrsg.): Nachhaltige Entwicklung - Zukunftschancen für Mensch und Umwelt, Berlin 1996, 141-156, wiederabgedruckt in: Dieter Birnbacher und Gerd Bruder Müller (Hrsg.): Zukunftsverantwortung und Generationensolidarität, Würzburg 2001, 17-34
- Bitz, M., Dellmann, K., Domsch, M., Egner, H. (Hrsg.) (1993): Vahlens Kompendium der Betriebswirtschaftslehre, Band 1, 3. Auflage, Verlag Franz Vahlen, München, Erwähnung übernommen aus: Wohlgemuth, V. (2005): Komponentenbasierte Unterstützung von Methoden der Modellbildung und Simulation im Einsatzkontext des betrieblichen Umweltschutzes - Konzeption und prototypische Entwicklung eines Stoffstromsimulators zur Integration einer stoffstromorientierten Perspektive in die auftragsbezogene Simulationssicht, Ph.D. Thesis, Hamburg, Deutschland
- Biwer, A. P. (2003): Modellbildung, Simulation und ökologische Bewertung in der Entwicklung biotechnologischer Prozesse, Dissertation an der Universität des Saarlandes, Saarbrücken, Deutschland
- Blank, E. (2001): Sustainable Development, in: Schulz, W.F., u. a. (Hrsg.), Lexikon Nachhaltiges Wirtschaften, München, Wien, S. 374-385
- BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) (2015): Sozial-ökologische Forschung - Förderkonzept für eine gesellschaftsbezogene Nachhaltigkeitsforschung 2015-2020, Referat Grundsatzfragen Nachhaltigkeit, Klima, Energie, Bonn, Deutschland
- BMU (Bundesumweltministerium), econsense, CSM (Centre for Sustainability Management) (Hrsg.) (2007): Nachhaltigkeitsmanagement in Unternehmen. Von der Idee zur Praxis: Managementansätze zur Umsetzung von Corporate Social Responsibility und Corporate Sustainability, 3. Auflage, Berlin, Lüneburg, Deutschland
- Bogenschnieder, S., Wohlgemuth, V. (2009): Betriebliche Stoffstromanalysen als Mittel zur ökologischen und ökonomischen Bewertung in einem Druckhaus, in: Simulation in den Umwelt- und Geowissenschaften, S. 157-167, Shaker Verlag, Aachen, 2009, ISBN 978-3-8322-8219-6, ISSN 1616-0886
- Bogner, A., Gaube, V., Smetschka, B. (2011): Partizipative Modellierung. Beteiligungsexperimente in der sozialökologischen Forschung, in: Österreichische Zeitschrift für Soziologie, Band 36 (2011), S. 74-97, Springer Verlag, Wien, Österreich, DOI: 10.1007/s11614-011-0034-y, DOI retrieved on: 25.10.13

- Böhm, R., Fuchs, E. (2002): System-Entwicklung in der Wirtschaftsinformatik: Systems Engineering (vdf Wirtschaftsinformatik), 5. Auflage, Vdf Hochschulverlag, ISBN: 978-3728127624
- Böhringer, C., Jochem, P. (2006): Measuring the immeasurable: a survey of sustainability indices, in: ZEW Discussion Papers, No. 06-73, ZBW - Leibniz Information Centre for Economics, Mannheim/Heilderberg/Karlsruhe, Germany
- Bordignon, M. (2013): The Compliance to Human Rights in Business Sector: Focusing on Banks, in: Journal of Global Policy and Governance, Vol. 1 (2013), pp. 217-225, CEEUN, Rome, Italy, DOI: 10.1007/s40320-012-0014-z, DOI retrieved on: 27.11.13
- Borghesi, S., Constantini, V., Crespi, F., Mazzanti, M. (2013): Environmental innovation and socio-economic dynamics in institutional and policy contexts, in: Journal of Evolutionary Economics, Vol. 23 (2013), pp. 241-245, Springer Verlag, Sienna, Roma, Monscalleri, Milan, Italy, DOI: 10.1007/s00191-013-0309-5, DOI retrieved on: 18.11.13
- Bornemann, B. (2012): Policy-Integration und Nachhaltigkeit Integrative Politik in der Nachhaltigkeitsstrategie der deutschen Bundesregierung, Dissertation an der Leuphana Universität Lüneburg, 1. Auflage, Springer Fachmedien Wiesbaden, Lüneburg, Deutschland, ISBN (print): 978-3-658-02208-2, ISBN (online): 978-3-658-02209-9, DOI: 10.1007/978-3-658-02209-9, DOI retrieved on: 18.11.13
- Borshchev, A., Filippov, A. (2004): From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Tools, in: A. Borshchev and A. Filippov. From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Tools. The 22nd International Conference of the System Dynamics Society, July 25 - 29, 2004, Oxford, England, Oxford, England
- Boß, J., Wohlgemuth, V. (2015): Integration und Weiterentwicklung bestehender Energiemanagement-Applikationen mit dem OpenResKit-Framework, in: Lecture Notes in Informatics - Proceedings, S. 239-248, Gesellschaft für Informatik e.V., Bonn, 2015, ISBN 978-3-88579-640-4, ISSN 1617-5468
- Bossel, H. (1992): Modellbildung und Simulation - Konzepte, Verfahren und Modelle zum Verhalten dynamischer Systeme, 1. Auflage, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig, Wiesbaden, ISBN: 978-3-528-05242-3
- Bossel, H. (2004): Systeme Dynamik Simulation - Modellbildung, Analyse und Simulation komplexer Systeme, Books on Demand GmbH, Norderstedt, Deutschland, ISBN (print): 978-3-8334-0984-3
- Bosshart, D. (2011): The Age of Less - Die neue Wohlstandsformel der westlichen Welt, 1. Auflage, Murmann Verlag GmbH, Hamburg, Hamburg, Deutschland/Vereinigte Staaten von Amerika, ISBN (print): 978-3-86774-156-9
- Bourdieu, P. (1986): The forms of capital, in: Richardson, J. (eds.) (1986): Handbook of Theory and Research for the Sociology of Education, pp. 46-58
- BPA (Presse und Informationsamt der Bundesregierung) (2012): Nationale Nachhaltigkeitsstrategie - Fortschrittsbericht 2012, BPA
- Braat, L. (1991): The predictive Meaning of Sustainability Indicators, in: Kuik, O. (Hrsg.) (1991): In Search of Indicators of Sustainable Development, Dordrecht, S. 57-70, in: Kleine (2009): Operationalisierung einer Nachhaltigkeitsstrategie - Ökologie, Ökonomie und Soziales integrieren, Gabler, GWV Fachverlage GmbH (2009), Wiesbaden, Deutschland, ISBN: 978-3-8349-1552-8
- Bracht, U., Brosch, P., Fleischman, A.-C. (2013): Mobile devices and applications for factory planning and operation, in: Dangelmaier, W., Laroque, C., Klaas, A. (Hrsg.) (2013): Simulation in Produktion und Logistik 2013, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 316, Paderborn, zugleich Tagungsband der ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik, Paderborn, 09.-11. Oktober 2013, siehe auch ASIM-Mitteilung Nr. 147, S. 61-70, 1. Auflage, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Clausthal-Zellerfeld/Paderborn, Deutschland, ISBN (print): 978-3-942647-35-9
- Brailsford, S., Hilton, N. (2001): A comparison of discrete event simulation and system dynamics for modelling health care systems, in: Riley, J. (ed.) Planning for the Future: Health Service Quality and Emergency Accessibility - Operational Research Applied to Health Services (ORAHS), Glasgow Caledonian University, 1st edition, Glasgow Caledonian University, Glasgow, Scotland/United Kingdom, ISSN (online): 1-903661-13-7
- Brand, M., Klompfner, F., Schleining, P., Weiß, F. (2012): Automatische Emotionserkennung - Technologien, Deutungen und Anwendungen, in: Informatik Spektrum, Band 35 (2012), S. 424-432, Springer Verlag, Paderborn, Deutschland
- Brauer, K., Groß, W., Wolff, S. (2010): Flexibilität und Nachhaltigkeit – neue Herausforderungen im Supply Chain Design - Kapitel 4 - Supply Chain Network Management. Gestaltungskonzepte und Stand der praktischen Anwendung., in: Corinna Engelhardt-Nowitzki, Olaf Nowitzki und Helmut Zsifkovits (Hrsg.): Supply Chain Network Management. Gestaltungskonzepte und Stand der praktischen Anwendung, S.49-64, Gabler Verlag / GWV Fachverlage, Wiesbaden, Germany
- Breckenkamp, J., Berg-Beckhoff, G., Münster, E., Schüz, J., Schlehofer, B., Wahrendorf, J., Blettner, M. (2009): Feasibility of a cohort study on health risks caused by occupational exposure to radiofrequency electromagnetic fields,

- in: *Environmental Health*, Vol. 8 (2009), Breckenkamp et al; licensee BioMed Central Ltd., Bielefeld/Mainz/Heidelberg/Copenhagen, Germany/Denmark, DOI: 10.1186/1476-069X-8-23, DOI retrieved on: 27.11.13
- Bretzke, W.-R., Barkawi, K. (2010): Strategien und Konzepte zur Förderung der Nachhaltigkeit, in: *Bretzke & Barkawi - Nachhaltige Logistik - Antworten auf eine globale Herausforderung* (2012), S.47-241, 1. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, München, Deutschland, ISBN (print): 978-3-642-12351-1, ISBN (online): 978-3-642-12352-8, DOI: 10.1007/978-3-642-12352-8, DOI retrieved on: 25.10.13
- Brousseau, E., Eldukhri, E. (2011): Recent advances on key technologies for innovative manufacturing, in: *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 22, Issue 5 (2011), pp. 675-691, Springer Science + Business Media, LLC, Cardiff, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, ISSN (print): 0956-5515, ISSN (online): 1572-8145, DOI: 10.1007/s10845-009-0328-0, DOI retrieved on: 25.10.13
- Brown, S., McHardy, J., McNabb, R., Taylor, K. (2011): Workplace Performance, Worker Commitment and Loyalty, in: *IZA Series, Discussion Paper, Nr. 5447*, Sheffield, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland
- Brueggmann, M., Roetting, M., Luczak, H. (2001): International Comparison of Occupational Safety and Health Research - A Review based on Published Articles, in: *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, Vol. 7 (2001), pp. 387-401, Aachen/Hopkinton, Germany/United States of America
- Brugger, F. (2010): Nachhaltigkeit in der Unternehmenskommunikation - Bedeutung, Charakteristika und Herausforderungen, Dissertation an der Leuphana Universität Lüneburg, 1. Auflage, Gabler Verlag, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Lüneburg, Deutschland, ISBN (print): 978-3-8349-2437-7
- Brüggmann, M., Luczak, H., Schweres, M. (2003): Der Beitrag der Arbeitswissenschaft zur Weiterentwicklung von Arbeitsschutz und Gesundheitsförderung, in: *Z. Arb. Wiss.*, Band 57 (2003), S. 73-83, Aachen/Hannover, Deutschland
- Bucki, R., Chramcov, B. (2013): The Simulation Case Study of the Complex Production System with Regeneration Plants, in: Zak, A., Slaby, A., Matusu, R. (eds.) (2013): *Recent Advances in Automatic Control, Information and Communications - Proceedings of the 14th International Conference on Automation & Information (ICAI '13)*, pp. 85-90, 1st edition, WSEAS Press, Valencia, Spain, ISBN (print): 978-960-474-316-2, ISSN (online): 1790-5117
- Buckland, S. T., Magurran, A. E., Green, R. E., Fester, R. M. (2005): Monitoring change in biodiversity through composite indices, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, Vol. 360, Issue 1454 (2005), pp. 243-254, The Royal Society, St. Andrews/Cambridge/Auckland, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland/New Zealand, ISSN (print): 0962-8436, DOI: 10.1098/rstb.2004.1589
- Buettner, R. (2010): Zu den Einflussfaktoren der Arbeitsmotivation und -zufriedenheit: Eine empirische Studie zu Herzbergs 2-Faktoren-Theorie, München, Deutschland
- Busch, C., Bamberg, E., Ducki, A. (2009): Stressmanagement und Personalentwicklung, in: *Gruppendynamik und Organisationsberatung*, Band 40, Heft 1 (2009), S. 85-101, VS-Verlag, Hamburg / Berlin, Deutschland, ISSN (print): 1618-7849, ISSN (online): 1862-2615, DOI: 10.1007/s11612-009-0051-5, DOI retrieved on: 01.08.13
- Busch, C., Clasen, J. (2014): Multikulturelle Belegschaften, in: Badura et al. (Hrsg.) (2014): *Fehlzeitenreport 2014 - Erfolgreiche Unternehmen von morgen - gesunde Zukunft heute gestalten* (S. 93-102), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN: 978-3-662-43530-4
- Busch, C., Steinmetz, B. (2002): Stressmanagement und Führungskräfte, in: *Gruppendynamik und Organisationsberatung*, Band 33, Heft 4 (2002), S. 385-401
- Buschmann, C. (1999): Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre (BWL 1), Vorlesungsskript auf Basis der BWL 1 Vorlesung von Prof. Hentze im WS 1998 an der Technischen Universität Braunschweig, vgl. auch Wöhe, G. (1996): *Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre*, 19. Auflage, München und Hentze, J., Kammel, A. (1992): *Lean Production: Erfolgsbausteine eines integrativen Management-Ansatzes*, in: *WISU*, Jg. 21, Heft 8-9 (1992), S. 631-639
- Buttler, F., Tessaring, M. (1993): Humankapital als Standortfaktor - Argumente zur Bildungsdiskussion aus arbeitsmarktpolitischer Sicht, *Mitteilungen aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung* 26 Jg. (1993) (4), S. 467-476
- Bynner, J. (2002): Social and Human Capital in the Knowledge Society, Working Paper, Konferenz 28–29 Oktober 2002, Panel 2, Social & Human Capital for Sustainability: Consensus & Conclusion, Brüssel, Erwähnung übernommen aus: Langer, U. (2011): *Unternehmen und Nachhaltigkeit Analyse und Weiterentwicklung aus der Perspektive der wissensbasierten Theorie der Unternehmung*, Dissertation, Stuttgart, Deutschland
- Carson, Y., Maria, A. (1997): Simulation Optimization: Methods and Applications, in: *Proceedings of the 29th Winter Simulation Conference* (1997) (eds. S. Andradóttir, K. J. Healy, D. H. Withers, and B. L. Nelson), pp. 118-126, 1st edition, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Binghamton, NY, United States of America, ISBN (print): 0-7803-4278-X, DOI: 10.1145/268437.268460, DOI retrieved on: 09.02.14
- Cellar, D. F., Stuhlmacher, A. F., Young, S. K., Fisher, D. M., Adair, C. K., Haynes, S., Twitchell, E., Arnold, K. A., Royer, K., Denning, B. L., Riester, D. (2011): Trait Goal Orientation, Self-Regulation, and Performance: A Meta-Analysis, in: *Journal of Business and Psychology*, Vol. 8 (2011), pp. 467-483, Springer Science + Business Media, LLC, Chicago, IL, United States of America, DOI: 10.1007/s10869-010-9201-6, DOI retrieved on: 25.11.13

- Ceronsky, M., Anthoff, D., Hepburn, C., Tol, R. S. J. (2011): Checking the price tag on catastrophe: The social cost of carbon under non-linear climate response, in: ESRI working paper, No. 392, June 2011, Berkeley, CA/Oxford/Dublin, United States of America/United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland/Ireland
- Chaabane (2011): Multi-Criteria Methods for Designing and Evaluating Sustainable Supply Chains, Ph.D. Thesis, École de technologie supérieure Université de Québec, Montreal (2011), Canada
- Chaabane, A., Ramudhin, A., Paquet, M. (2011): Article #3 Design of Sustainable Supply Chains under the Emission Trading Scheme, in: Chaabane (2011): Multi-Criteria Methods for Designing and Evaluating Sustainable Supply Chains, Ph.D. Thesis, École de technologie supérieure Université de Québec, Montreal (2011), Canada
- Chan, J., Pun, N., Selden, M. (2013): The politics of global production: Apple, Foxconn and China's new working class, in: *New Technology, Work and Employment*, Vol. 28, Issue 2 (2013), pp. 100-115, John Wiley & Sons Ltd., London, United Kingdom, ISSN (print): 0268-1072
- Chang, Y., Makatsoris, H. (2001): Supply Chain Modellierung using Simulation, in: *International Journal of Simulation*, Vol. 2, Issue 1 (2001), pp. 24-30, ISSN (print): 1473-8031, ISSN (online): 1473-804x
- Chatterji, A., Levine, D. (2005): Breaking Down The Wall Of Codes: Evaluating Non-Financial Performance Measurement, in: Center for Responsible Business, UC Berkeley, Working Paper Series/Center for Responsible Business, UC Berkeley, Berkeley, CA, United States of America
- Chen, S. W., Wang, P. C., Hsin, P. L., Oates, A., Sun, I. W., Liu, S. I. (2011): Job stress models, depressive disorders and work performance of engineers in microelectronics industry, in: *International Archives of Occupational and Environmental Health*, Vol. 84, Issue 1 (Jan. 2011), pp. 91-103, Springer-Verlag, Hsinchu/Taipei, Taiwan, Republic of China, DOI: 10.1007/s00420-010-0538-y, DOI retrieved on: 25.11.13
- Choi, J. K., Nies, L. F., Ramani, K. (2008): A framework for the integration of environmental and business aspects toward sustainable product development, in: *Journal of Engineering Design*, Vol. 19 (2008), pp. 431-446, Taylor & Francis, West Lafayette, IN, United States of America, ISSN (print): 0954-4828, ISSN (online): 1466-1837, DOI: 10.1080/09544820701749116, DOI retrieved on: 17.10.13
- Chopra, P. (2009): Mental health and the workplace: issues for developing countries, in: *International Journal of Mental Health Systems*, Vol. 3 (2009), Chopra; licensee BioMed Central Ltd., Carlton, Australia, DOI: 10.1186/1752-4458-3-4, DOI retrieved on: 27.11.13
- Clarkson, M. B. E. (1995): A Stakeholder Framework for Analyzing and Evaluating Corporate Social Performance, *Academy of Management Review*, Vol. 20, Issue 1, pp. 92-117
- Clausen, P., Dabidian, P., Diekmann, D., Goedicke, I., Pötting, M. (2013): Entwicklung und Analyse einer multikriteriellen Einsatzsteuerung von Staplern in einem manuell bedienten Distributionslager, in: Dangelmaier, W., Laroque, C., Klaas, A. (Hrsg.) (2013): *Simulation in Produktion und Logistik 2013*, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 316, Paderborn, zugleich Tagungsband der ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik, Paderborn, 09.-11. Oktober 2013, siehe auch ASIM-Mitteilung Nr. 147, S. 207-216, 1. Auflage, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland, ISBN (print): 978-3-942647-35-9
- Cochran, J. K., Chen, H.-N. (2005): Fuzzy multi-criteria selection of object-oriented simulation software for production system analysis, in: *Computers & Operations Research*, Vol. 32 (2005), pp. 153-168, Elsevier Ltd., Tempe, AZ, United States of America, DOI: 10.1016/S0305-0548(03)00209-0, DOI retrieved on: 14.10.13
- Cohen, M. J. (2013): Sustainability social science at the applied science and engineering universities, in: *Sustainability: Science, Practice, & Policy*, Vol. 9, Issue 1 (2013), pp. Editorial, New Jersey, United States of America
- Colantonio, A. (2007): Social sustainability: an exploratory analysis of its definition, assessment methods metrics and tools, in: EIBURS Working Paper Series, 2007/01. Oxford Brookes University, Oxford Institute for Sustainable Development (OISD) - International Land Markets Group, Oxford, UK., The Author, Oxford, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland
- Colantonio, A. (2009): Social Sustainability Assessment Framework, Presentation at the Workshop on Social Sustainability and Urban Regeneration, Oxford 19-20 February 2009, retrieved online 25 July 2009, from the Oxford Brookes University (<http://oisd.brookes.ac.uk/workshops/urss/resources/Colantonio%20Social%20Sustainability%20Framework.pdf>)
- Coleman, J. S. (1988): Social Capital in the Creation of Human Capital, in: *The American Journal of Sociology*, Vol. 94, Supplement: Organizations and Institutions: Sociological and Economic Approaches to the Analysis of Social Structure, pp. S95-S120
- Coleman, J. S. (1990): *Foundations of Social Theory*, Cambridge, Mass, Harvard University Press
- Colletta, N. J., Cullen, M. L. (2000): The Nexus Between Violent Conflict, Social Capital and Social Cohesion: Case Studies from Cambodia and Rwanda, in: *Social Capital Working Paper Series*, Social Capital Initiative Working Paper No. 23, Washington, DC, United States of America

- Condratchi, L. (2013): Logistics Alternative in Simulation and Optimization the Supply Chain, in: Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development, Vol. 13, Issue 1 (2013), pp. 87-90, Chisinau, Republic of Moldova, ISSN (print): 2284-7995, ISSN (online): 2285-3952
- Conrad, D. (2007): Defining Social Capital, in: Electronic Journal of Sociology, Vol. unknown (published online) (2007), Leeds, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland
- Cordts, M., Uphoff, K. (2013): Nachhaltigkeitsbildung in KMU – Entwicklung innovativer Lehr- und Lerndesigns, in: Gómez et al. - IT-gestütztes Ressourcen- und Energiemanagement - Konferenzband zu den 5. BUIS-Tagen (2013), S.373-376, 1. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Oldenburg, Deutschland, ISBN (print): 978-3-642-35029-0, ISBN (online): 978-3-642-35030-6, DOI: 10.1007/978-3-642-35030-6, DOI retrieved on: 25.10.13
- Coroama, V. C., Hilty, L. M., Heiri, E., Horn, F. M. (2013): The Direct Energy Demand of Internet Data Flows, in: Journal of Industrial Ecology, Vol. 17, Issue 5 (2013), pp. 680-688, Yale University, Lisboa, Portugal, ISSN (print): 1088-1980, DOI: 10.1111/jiec.12048, DOI retrieved on: 30.09.13
- Corsten, H., Roth, S. (Hrsg.) (2012): Nachhaltigkeit - Unternehmerisches Handeln in globaler Verantwortung, 1. Auflage, Gabler Verlag, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Kaiserslautern, Deutschland, ISBN (print): 978-3-8349-3179-5, ISBN (online): 978-3-8349-3746-9, DOI: 10.1007/978-3-8349-3746-9, DOI retrieved on: 41572
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Faber, S., Grasso, M., Hanon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neil, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., van den Belt, M. (1997): The value of the world's ecosystem services and natural capital, in: Nature, Vol. 387 (1997), pp. 253-260, The Copyright Licensing Agency (CLA), Maryland/Laramie/Wageninngen/Pittsburgh/etc., United States of America/Argentina/Netherlands
- Czumanski, T., Prasse, T., Lödding, H. (2013): Analyse von Einflussfaktoren auf die Arbeitsproduktivität - Eine Grundlage für zielorientierte Verbesserungsprozesse in der Serienproduktion, in: Industrie Management, Band 29 (2013), S. 20-26, GITO Verlag, Hamburg, Deutschland
- Daily, G. C., Ehrlich, P. R. (1996): Socioeconomic Equity, Sustainability, and Earth's Carrying Capacity, in: Ecological Applications, Vol. 6, Issue 4 (1996), pp. 991-1001, by the Ecological Society of America, Berkeley, CA/Stanford, CA, United States of America, ISSN (print): 1051-0761, DOI: 10.2307/2269582
- DAK-Gesundheit, (IGES Institut GmbH) (2013): Gesundheitsreport 2013. Analyse der Arbeitsunfähigkeitsdaten. Update psychische Erkrankungen - Sind wir heute anders krank?, DAK, Hamburg, Deutschland
- Dal Forno, A., Merlone, U. (2013): Replicating Human Interaction in Braess Paradox, in: Pasupathy, R., Kim, S.-H., Tolk, A., Hill, R., Kuhl, M. E. (eds.) (2013): WSC' 13 - Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference, Washington, DC, USA, pp. 1754-1765, 1st edition, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Washington, DC, United States of America, ISBN (print): 978-1-4799-2076-1
- Daly, H. E. (2002): Reconciling the Economics of Social Equity and Environmental Sustainability, in: Population and Environment, Vol. 24, Issue 1 (2002), pp. 47-53, Kluwer Academic Publishers-Plenum Publishers, College Park, MD, United States of America, ISSN (print): 0199-0039, ISSN (online): 1573-7810, DOI: 10.1023/A:1020177709985
- Davis, E. R., Eckhause, J. M., Peterson, D. K., Pouy, M. R., Sigalas-Markham, S. M., Volovoi, V. (2013): Exploring how Hierarchical Modeling and Simulation can Improve Organizational Resourcing Decisions, in: Pasupathy, R., Kim, S.-H., Tolk, A., Hill, R., Kuhl, M. E. (eds.) (2013): WSC' 13 - Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference, Washington, DC, USA, pp. 2496-2507, 1st edition, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Washington, DC, United States of America, ISBN (print): 978-1-4799-2076-1
- de Assis Rangel, J. J., Peixoto, T. A., de Oliveira Matias, I., Shimoda, E., de Oliveira, G. L. (2013): Simulation Model in a Free and Open-Source Software for Carbon Monoxide Emissions Analysis, in: Pasupathy, R., Kim, S.-H., Tolk, A., Hill, R., Kuhl, M. E. (eds.) (2013): WSC' 13 - Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference, Washington, DC, USA, pp. 1905-1916, 1st edition, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Washington, DC, United States of America, ISBN (print): 978-1-4799-2076-1
- De Backer, P., Kopecki, L. (2013): Wettbewerbsvorteil Simulation – Ein produktlebenszyklenorientiertes Konzept, in: Dangelmaier, W., Laroque, C., Klaas, A. (Hrsg.) (2013): Simulation in Produktion und Logistik 2013, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 316, Paderborn, zugleich Tagungsband der ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik, Paderborn, 09.-11. Oktober 2013, siehe auch ASIM-Mitteilung Nr. 147, S. 177-186, 1. Auflage, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland, ISBN (print): 978-3-942647-35-9
- De Ridder, W., Turnpenny, J., Nilsson, M., Raggamby, A. v. (2007): A framework for tool selection and use in integrated assessment for sustainable development, in: Journal of environmental assessment policy and management, Vol. 9, Issue 4 (2007), pp. 423-441, DOI: <http://dx.doi.org/10.1142/S1464333207002883>
- Del Frate, L. (2013): Failure of Engineering Artifacts: A Life Cycle Approach, in: Science and Engineering Ethics, Vol. 19 (2013), pp. 913-944, The Author(s) . This article is published with open access at Springerlink.com, Delft, Netherlands, DOI: 10.1007/s11948-012-9360-0, DOI retrieved on: 18.11.13
- Dembe, A. E. (2009): Ethical Issues Relating to the Health Effects of Long Working, in: Journal of Business Ethics, Vol. 84, Issue Supplement 2 (2009), pp. 195-208, Springer, Columbus, OH, United States of America, DOI: 10.1007/s10551-008-9700-9, DOI retrieved on: 25.11.13

- Demir, S., Lotter, M., Wohlgemuth, V. (2008): Durchführung einer Stoffstromanalyse als Ausgangspunkt für eine Potenzialanalyse mit den Schwerpunkten Material- und Energieeffizienz bei der PanTrac GmbH, in: *Konzepte, Anwendungen, Realisierungen und Entwicklungstendenzen betrieblicher Umweltinformationssysteme (BUIS)*, S. 213-228, Shaker, Aachen, 2008, ISBN 978-3-8322-7385-9
- Department of Labour, New Zealand (2007): *Managing shift work to minimise workplace fatigue - A Guide for Employers*, Crown copyright, Wellington, New Zealand, ISBN (print): 978-0-478-28161-3
- Dettmann, T., Andersson, C., Andersson, J., Skoogh, A., Johansson, B., Forsbom, P.-O. (2013): *Startup Methodology for Production Flow Simulation Projects Assessing Environmental Sustainability*, in: Pasupathy, R., Kim, S.-H., Tolk, A., Hill, R., Kuhl, M. E. (eds.) (2013): *WSC' 13 - Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference*, Washington, DC, USA, pp. 1926-1937, 1st edition, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Washington, DC, United States of America, ISBN (print): 978-1-4799-2076-1
- Devoldere, T., Dewulf, W., Deprez, W., Willems, B., Dufloy, J. R. (2007): *Improvement Potential for Energy Consumption in Discrete Part Production Machines*, in: Takata, S., Umeda, Y. (eds.) (2007): *Advances in Life Cycle Engineering for Sustainable Manufacturing Businesses - Proceedings of the 14th CIRP Conference on Life Cycle Engineering*, Waseda University, Tokyo, Japan, pp. 311-316, Springer, Tokyo, Japan
- DGUV, (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V.) (2009): *Handlungsanleitung für die arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 46 „Belastungen des Muskel- und Skelettsystems einschließlich Vibrationen“ (BGI/GUV-I 7011)*, DGUV, Berlin, Deutschland, Druckversion zu beziehen beim zuständigen Unfallversicherungsträger oder unter www.dguv.de/publikationen, heruntergeladen am 05. Februar 2014
- DGUV, (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V.) (2013): *Belastungen für Rücken und Gelenke - was geht mich das an? (BGI/GUV-I 504-46)*, DGUV, Berlin, Deutschland, Druckversion zu beziehen beim zuständigen Unfallversicherungsträger oder unter www.dguv.de/publikationen, heruntergeladen am 05. Februar 2014
- di Giulio, A. (2003): *Die Idee der Nachhaltigkeit im Verständnis der Vereinten Nationen - Anspruch, Bedeutung und Schwierigkeiten*, LIT Verlag Münster, Deutschland
- Diefenbacher, H. (2001): *Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. Zum Verhältnis von Ethik und Ökonomie*, WBG (Wissenschaftliche Buchgesellschaft), Darmstadt, ISBN: 978-3534250509
- Dietmair, A., Verl, A. (2009): *A generic energy consumption model for decision making and energy efficiency optimisation in manufacturing*, in: *International Journal of Sustainable Engineering*, Vol. 2, Issue 2 (2009), pp. 123-133, Taylor & Francis, Stuttgart, Germany, ISSN (print): 1939-7038, DOI: 10.1080/19397030902947041
- Dietmair, A., Verl, A., Eberspaecher, P. (2009): *Predictive Simulation for Model Based Energy Consumption Optimisation in Manufacturing System and Machine Control*, in: *Proceedings of the FAIM 2009 Conference*, University of Teesside, Middlesbrough, Großbritannien, 06.-08.07.2009, pp. 226-233, Middlesbrough, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland
- Diwekar, U., Shastri, Y. (2011): *Design for environment: a state-of-the-art review*, in: *Clean Technologies and Environmental Policy*, Vol. 13 (2011), pp. 227-240, Springer-Verlag, Clarendon Hills, IL, United States of America, DOI: 10.1007/s10098-010-0320-6, DOI retrieved on: 25.10.13
- DLZ (Department of Labour Te Tari Mahi New Zealand) (2007): *Managing shift work to minimise workplace fatigue - a guide for employers*, Department of Labour, Wellington, New Zealand, ISBN (print): 978-0-478-28161-3
- Domschke, W., Drexel, A. (2002): *Einführung in Operations Research*, 5. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Erwähnung übernommen aus: Wohlgemuth, V. (2005): *Komponentenbasierte Unterstützung von Methoden der Modellbildung und Simulation im Einsatzkontext des betrieblichen Umweltschutzes - Konzeption und prototypische Entwicklung eines Stoffstromsimulators zur Integration einer stoffstromorientierten Perspektive in die auftragsbezogene Simulationssicht*, Ph.D. Thesis, Hamburg, Deutschland
- Domschke, W., Drexel, A. (2007): *Einführung in Operations Research*, 7. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Deutschland/Vereinigte Staaten von Amerika, ISBN (print): 978-3-5407-0948-0
- Döring, R., Ott, K. (2001): *Nachhaltigkeitskonzepte*, in: *Zeitschrift für Wirtschafts- und Unternehmensethik*, Heft 2, Nr. 3, S. 315-339
- Dorini, G., Kapelan, Z., Azapagic, A. (2011): *Managing uncertainty in multiple-criteria decision making related to sustainability assessment*, in: *Clean Technologies and Environmental Policy*, Vol. 13 (2011), pp. 133-139, Springer Verlag, Lyngby/Exeter/Manchester, Denmark/United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, DOI: 10.1007/s10098-010-0291-7, DOI retrieved on: 19.11.13
- Drake, B. H., Meckler, M., Stephens, D. (2002): *Transitional Ethics: Responsibilities of Supervisors for Supporting Employee Development*, in: *Journal of Business Ethics*, Vol. 38, Issue 1-2 (2002), pp. 141-155, Kluwer Academic Publishers, Portland, United States of America/Netherlands, ISSN (print): 0167-4544, ISSN (online): 1573-0697, DOI: 10.1023/A:1015785316253
- Dreyer, L., Hauschild, M., Schierbeck, J. (2006): *A Framework for Social Life Cycle Impact Assessment*, in: *International Journal of Life Cycle Assessment*, Vol. 11, Issue 2 (2006), pp. 88-97, in: Jørgensen, et al. (2008): *Methodologies*

- for Social Life Cycle Assessment, in: *International Journal of Life Cycle Assessment*, Vol. 13, Issue 2 (2008), pp. 96-103
- Dubielzig, F. (2009): *Sozio Controlling in Unternehmen, Das Management erfolgsrelevanter sozialgesellschaftlicher Themen in der Praxis*, Dissertation Leuphana Universität Lüneburg, 1. Auflage, Gabler Edition Wissenschaft, Lüneburg, Deutschland/Vereinigte Staaten von Amerika
- Ducki, A. (2002): Betriebliche Gesundheitsförderung und Neue Arbeitsformen - Aktuelle Tendenzen in Forschung und Praxis, in: *Gruppensdynamik und Organisationsberatung*, Band 33, Heft 4 (2002), S. 419-436
- Duflo, J. R., Sutherland, J. W., Dornfeld, D., Herrmann, C., Jeswiet, J., Kara, S., Hauschild, M., Kellens, K. (2012): Towards energy and resource efficient manufacturing: A processes and systems approach, in: *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 61, Issue 2 (2012), pp. 587-609, CIRP, Leuven/West Lafayette/Berkeley/Braunschweig/Kingston/Kensington/Lyngby, Belgium/United States of America/Germany/Canada/Australia/Denmark, ISSN (print): 0007-8506, DOI: 10.1016/j.cirp.2012.05.002
- Dyckhoff, H., Souren, R. (2008): *Nachhaltige Unternehmensführung - Grundzüge industriellen Umweltmanagements*, 1. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Deutschland, ISBN (print): 978-3-540-74052-0, ISBN (online): 978-3-540-74053-7, ISSN (print): 0937-7433, DOI: 10.1007/978-3-540-74053-7
- Dyckhoff, H., Spengler, T. S. (2010): *Produktionswirtschaft - Eine Einführung*, 3. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin/Heidelberg, Deutschland, ISBN (print): 978-3642136832
- Dyllick, T. (2002): Soziale Nachhaltigkeit - Des Kaisers neue Kleider, in: Bieker, T., Bilharz, M., Gminder, C. U. (Hrsg.): *Die soziale Dimension unternehmerischer Nachhaltigkeit*, IWÖ Diskussionsbeitrag Nr. 102, St. Gallen, IWÖ-HSG, 5-11
- Dyllick, T., Hockerts, K. (2005): Beyond the Business Case for Corporate Sustainability, in: *Business Strategy and the Environment*, Vol. 11, Issue 2 (2005), pp. 130-141, John Wiley & Sons, Ltd. and ERP Environment, St. Gallen/Fontainebleau, Switzerland/France, ISSN (print): 0964-4733, DOI: 10.1002/bse.323
- EU-OSHA, (European Agency for Safety and Health at Work) (2010): *European Survey of Enterprises on New and Emerging Risks Managing safety and health at work*, European Union, Bilbao, Spain, ISBN (print): 978-92-9191-327-5, DOI: 10.2802/30026
- EU-OSHA, (European Agency for Safety and Health at Work) (2012): *Worker representation and consultation on health and safety - An analysis of the findings of the European Survey of Enterprises on New and Emerging Risks*, European Union, Bilbao, Spain, ISBN (print): 978-92-9191-663-4, ISSN (print): 1831-9343, DOI: 10.2802/53799
- EU-OSHA, (European Agency for Safety and Health at Work) (2013): *Green jobs and occupational safety and health: Foresight on new and emerging risks associated with new technologies by 2020 - Report*, European Union, Bilbao, Spain, ISBN (print): 978-92-9191-966-6, ISSN (print): 1831-9343, DOI: 10.2802/39554
- Edwards, A. R. (2010): *Thriving Beyond Sustainability: Pathways to a Resilient Society*, 1st edition, New Society Publishers, foreword by McKibben, B., ISBN (print): 978-0-86571-641-4
- Ehrgott, M. (2005): *Multicriteria Optimization*, 2nd edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Auckland, New Zealand, ISBN (print): 978-3-540-21398-7, ISBN (online): 978-3-540-27659-3, DOI: 10.1007/3-540-27659-9, DOI retrieved on: 02.02.2014
- Ehrgott, M., Reimann, F., Kaufmann, L., Carter, C. R. (2011): Social Sustainability in Selecting Emerging Economy Suppliers, in: *Journal of Business Ethics*, Vol. 98, Issue 1 (2011), pp. 99-119, Springer Netherlands, Tempe, AZ, United States of America, ISSN (print): 0167-4544, ISSN (online): 1573-0697, DOI: 10.1007/s10551-010-0537-7, DOI retrieved on: 30.09.13
- Ekins, P. (2000): *Economic Growth and Environmental Sustainability*, 1st edition, Routledge, ISBN: 978-0415173339
- Ekins, P., Simon, S., Deutsch, L., Folke, C., De Groot, R. (2003): A framework for the practical application of the concepts of critical natural capital and strong sustainability, in: *Ecological Economics*, Vol. 44, Issues 2-3 (2003), pp. 165-185, London/Milton Keynes/Stockholm/Wageningen, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland/Sweden/The Netherlands, ISSN (print): 0921-8009, DOI: 10.1016/S0921-8009(02)00272-0, DOI retrieved on: 31.01.14
- Ekvall, T. (2011): Nations in social LCA, in: *International Journal of Life Cycle Assessment*, Vol. 16, Issue 1 (2011), pp. 1-2, Springer-Verlag, Göteborg, Sweden, ISSN (print): 0948-3349, ISSN (online): 1614-7502, DOI: 10.1007/s11367-010-0235-9, DOI retrieved on: 16.09.13
- Elkington, J. (2004): Enter the triple bottom line, in: Henriques, A. and Richardson, J. (eds.) (2004): *The Triple Bottom Line: Does It All Add up?*, 1st edition, Earthscan in association with WWF-Uk and the International Institute for Environment and Development, London, ISBN (print): 1-84407-015-8, pp. 1-16
- Ellegast, R.P., Hermanns, I., Hamburger, R., Post, M., Glitsch, U., Ditschen, D. and Hoehne-Hückstädt, U. (2006): Langzeiterfassung und -analyse von physischen Arbeitsbelastungen mit dem CUELA - Messsystem, in: Grieshaber, R., Stadeler, M. and Scholle, H.C. (eds.): *Prävention von arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren und Erkrankungen*, pp.509-523, Jena, Bussert & Stadeler.

- Ellegast, R.P., Hermanns, I., Schiefer, C. (2010): Feldmesssystem CUELA zur Langzeiterfassung und -analyse von Bewegungen an Arbeitsplätzen, in: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, Vol. 64 (2010), No. 2, S. 101-110
- Elnashaie, S. S. E., Danafar, F., Ahmadun, F.-R. (2013): Sustainable world through sustainable materials and integrated biorefineries, in: Applied Petrochemical Research, Vol. 3, Issue 3 (2013), pp. 107-116, The Author(s), Selangor/Kerman/Vancouver, Malaysia/Iran/Canada, DOI: 10.1007/s13203-013-0037-7, DOI retrieved on: 27.11.13
- Empacher, C., Wehling, P. (2002): Soziale Dimensionen der Nachhaltigkeit - Theoretische Grundlagen und Indikatoren - Frankfurt am Main: Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE)
- Engelmann, J. (2009): Methoden und Werkzeuge zur Planung und Gestaltung energieeffizienter Fabriken, in: Wissenschaftliche Schriftenreihe des IBF, Heft 6, zugleich Dissertation an der Technischen Universität Chemnitz, Technische Universität, Institut für Betriebswissenschaften und Fabrikssysteme / Eigenverlag, 2009, Chemnitz, Deutschland, ISSN (print): 0947 – 2495
- Enquete-Kommission (1998): Konzept Nachhaltigkeit - Vom Leitbild zur Umsetzung, Abschlußbericht, Deutscher Bundestag, Referat Öffentlichkeitsarbeit, Bonn, Deutschland
- Epstein, M. J., Elkington, J., Leonard, H. B. (2009): Making Sustainability work - Best Practices in Managing and Measuring Corporate Social, Environmental and Economic Impacts, th edition, Berrett-Koehler Publishers, ISBN (print): 978-1576754863
- Epstein, M. J., Roy, M.-J. (2001): Sustainability in Action: Identifying and Measuring the Key Performance Drivers, in: Long Range Planning, Vol. 34, Issue 5 (2001), pp. 585-604, Elsevier Science Ltd., Houston, TX, United States of America, ISSN (print): 0024-6301, DOI: 10.1016/S0024-6301(01)00084-X
- Erkman, S. (1997): Industrial ecology: an historical view, in: Journal of Cleaner Production, Vol. 5, Issue 1-2 (1997), pp. 1-10, Elsevier Science Ltd., Geneva, Switzerland, ISSN (print): 0959-6526, DOI: 10.1016/S0959-6526(97)00003-6
- Erlach, K. (2007): Wertstromdesign: Der Weg zur schlanken Fabrik, 1. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Heidelberg, Deutschland, ISBN (print): 978-3540371786, ASIN: B00UZBIMK4
- Eswaran, S., Islam, Md. A., Yusuf, D. H. M. (2011): A Study of the Relationship between the Big Five Personality Dimensions and Job Involvement in a Foreign Based Financial Institution in Penang, in: International Business Research, Vol. 4 (2011), pp. 164-175, 0, Penang/Perlis, Malaysia, ISBN (online): 1913-9012, ISSN (print): 1913-9004, DOI: 10.5539/ibr.v4n4p164, DOI retrieved on: 24.11.13
- EU (Europäische Union - Europäisches Parlament und Rat), (2003): Amtsblatt der Europäischen Union - Richtlinie 2003-10-EG des Europäischen Parlaments und des Rates -Lärm, Europäische Union
- Evans, E. (2004): Domain-Driven Design: Tackling Complexity in the Heart of Software, 1st edition, Prentice Hall, published by Addison-Wesley Professional, ISBN (print): 0-321-12521-5
- Fakhimi, M., Mustafee, N. (2013): A Review of Literature in Modeling Approaches for Sustainable Development, in: Pasupathy, R., Kim, S.-H., Tolk, A., Hill, R., Kuhl, M. E. (eds.) (2013): WSC' 13 - Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference, Washington, DC, USA, pp. 282-290, 1st edition, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Washington, DC, United States of America, ISBN (print): 978-1-4799-2076-1
- Falck, A., Örtengren, R., Högberg, D. (2009): Early risk identification and cost-benefit analyses through ergonomics simulation, Conference Paper in SAE technical papers, JUNE 2009
- Farahani, P., Grunow, M., Günther, H.-O. (2012): Integrated production and distribution planning for perishable food products, in: Flexible Services and Manufacturing Journal, Vol. 24 (2012), pp. 28-51, Springer Science + Business Media, LLC, Munich/Berlin, Germany, DOI: 10.1007/s10696-011-9125-0, DOI retrieved on: 18.11.13
- Feylizadeh, M. R., Bagherpour, M. (2011): Application of Optimization Techniques in Production Planning Context: A Review and Extension, in: International Journal of Manufacturing Systems, Vol. 1, Issue 1 (2011), pp. 1-8, Shiraz Branch/Tehran, Iran, ISSN (print): 2152-1913, Academic Journals Inc., DOI: 10.3923/ijmsaj.2011.1.8, DOI retrieved on: 14.10.13
- Fiala, P., Stehfest, H. (1979): Überblick über Methoden der linearen Vektoroptimierung, Volume 2795 of Kernforschungszentrum Karlsruhe, Kernforschungszentrum Karlsruhe, Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, 1979, ISSN: 0303-4003
- Figge, F., Hahn, T. (2003): Sustainable Value Added - measuring corporate contributions to sustainability beyond eco-efficiency, in: Ecological Economics, Vol. 48, Issue 2 (2003), pp. 173-187, Elsevier B.V., Leeds/Berlin, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland/Germany, ISSN (print): 0921-8009, DOI: 10.1016/j.ecolecon.2003.08.005
- Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M. (2005): Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys, 1st edition, Kluwer Academic Publishers, Boston/Dordrecht/London, Combría/Catania/Auckland, Portugal/Italy/New Zealand, ISBN (print): 978-0-387-23067-2, ISBN (online): 978-0-387-23081-8, ISSN (print): 0884-8289, DOI: 10.1007/b100605
- Finkbeiner, M., Wohlgemuth, V., Schneider, L., Schiemann, L., Zabel, M., Ackermann, R. (2013): Netzwerk und internetbasierte Webplattform zur Ressourceneffizienz als Lern- und Anwendungsmittel - RESEFI, in: Fraunhofer ICT,

- Fraunhofer ISI, Woidasky, J., Ostertag, K., Stier, C., (2013): Innovative Technologien für Ressourceneffizienz in rohstoffintensiven Produktionsprozessen Ergebnisse des BMBF-Förderschwerpunkts "r2", S. 344-355, Fraunhofer Verlag, Pfinztal, Karlsruhe, 2013, ISBN: 3-8396-0596-2
- Fischer, J. (1989): Qualitative Ziele in der Unternehmensplanung. Konzepte zur Verbesserung betriebswirtschaftlicher Problemlösungstechniken, 1. Auflage, Erich Schmidt Verlag GmbH & Co, ISBN: 978-3503028122
- Fischer, J., Dyball, R., Fazey, I., Gross, C., Dovers, S., Ehrlich, P. R., Brulle, R. J., Christensen, C., Borden, R. J. (2012): Human behavior and sustainability, in: *Frontiers in Ecology and the Environment*, Vol. 10, Issue 3 (2012), pp. 153-165, The Ecological Society of America, Lueneburg/Canberra/St. Andrews/Stanford, CA/Philadelphia, PA/Bar Harbor, ME, Germany/Australia/United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland/United States of America, ISSN (print): 1540-9295, DOI: 10.1890/110079, DOI retrieved on: 03.02.14
- Fleßa, S. (2001): Sustainability and Meta-Stability of Health Care in Africa - The Example of the Hospital Services of the Evang. Luth. Church in Tanzania - Nachhaltigkeit und Metastabilität des Gesundheitswesens in Afrika. Das Beispiel des Krankenhauswesens der Evangelisch-Lutherischen Kirche in Tansania, in: *Journal of Public Health*, Vol. 9 (2001), pp. 349-363, Springer Verlag, Nurnberg, Germany, DOI: 10.1007/BF02956505, DOI retrieved on: 25.10.13
- Fletcher, S. R., Baines, T. S., Harrison, D. K. (2008): An investigation of production workers' performance variations and the potential impact of attitudes, in: *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 35 (2008), pp. 1113-1123, Springer-Verlag London Limited, Cranfield, OAL/Glasgow, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland/Scotland, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, DOI: 10.1007/s00170-006-0793-y, DOI retrieved on: 25.11.13
- Fletcher, S., Friese, O. (2008): Nachhaltiges Gestalten von Produktionsprozessen - Didaktische Prinzipien für kompetenzfördernde Lernumgebungen, in: Adolph, G., Jenewein, K., Pahl, J.-P., Rauner, F., Spöttl, G., Vermehr, B. (Hrsg.), *lernen & Lehren (l&l)*, Band 90 (2008), S. 67-74, Heckner Druck- und Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, Wolfenbüttel, Deutschland, ISSN (print): 0940-7440
- Forrester, J. (1972): *Grundzüge einer Systemtheorie*, Gabler Verlag Wiesbaden, 1972, ISBN: 978-3409313315, in: Page, B. (1991): *Diskrete Simulation - Eine Einführung mit Modula-2*, Springer-Verlag, Berlin u.a., ISBN: 3-540-54421-6
- Förster, R., Maibach, M., Pohl, C., Kytzia, S. (2003): Was könn(t)en integrative Computer-Modelle für eine nachhaltige Siedlungsentwicklung leisten - Herausforderungen für formale computer-gestützte Modelle und seine erste Einordnung, in: *GAIA*, Band 12, Heft 4 (2003), S. 321-324, Zürich, Schweiz
- Forster, T. (2013): Modellierung und Simulation von Getränkeabfüll- und Verpackungsanlagen unter Berücksichtigung von Energie- und Medienverbräuchen, in: Dangelmaier, W., Laroque, C., Klaas, A. (Hrsg.) (2013): *Simulation in Produktion und Logistik 2013*, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 316, Paderborn, zugleich Tagungsband der ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik, Paderborn, 09.-11. Oktober 2013, siehe auch ASIM-Mitteilung Nr. 147, S. 198-206, 1. Auflage, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Neutraubling/Paderborn, Deutschland, ISBN (print): 978-3-942647-35-9
- Freeman, R. E. (1984): *Strategic Management: A Stakeholder Approach*, Pitman, Boston, USA - also reprinted under Freeman, R. E. (2010): *Strategic Management: A Stakeholder Approach*, Cambridge University Press 2010, ISBN: 978-0-521-15174-0 Paperback
- Freimuth, J., Pieper, K. (2015): Schichtübergabe und Kooperation, in: *Zeitschrift für Organisations-Entwicklung (ZOE)*, Heft 2 (April 2015), S. 54-61, Handelsblatt Fachmedien, Bremen, Deutschland
- Fresner, J., Angerbauer, C., Möller, M., Wolf, P., Dierlacher, T., Schnitzer, H., Tafemer, K., Krichbaum, T., Kletzmayer, P., Ahamer, G., Vorbach, S., Haas, J., Winter, T. (2007): ZERMEG III - Entscheidungshilfe zur Visualisierung des Erfolges nachhaltiger Unternehmensstrategienin: *Berichte aus Energie- und Umweltforschung*, Band 41 (2007), Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Vienna, Austria
- Frohn, J. (2011): Glück, Nachhaltigkeit und Ökometrie - zur Einbeziehung sozialer Aspekte in makroökonomische Modelle, in: *AStA Wirtsch. Sozialstaat Arch.*, Band 4 (2011), S. 253-267, Springer, Bielefeld, Deutschland, DOI: 10.1007/s11943-010-0087-6, DOI retrieved on: 14.10.13
- Fuchs, W. (2011): *Wachsen ohne Wachstum – Weniger Ressourcen Bessere Technik Mehr Wohlstand*, 1. Auflage, Carl Hanser Verlag, München, Deutschland/Vereinigte Staaten von Amerika, ISBN (print): 978-3-446-42521-7
- Fuhrmann, B. (1998): *Prozeßmanagement in kleinen und mittleren Unternehmen - Ein Konzept zur integrativen Führung von Geschäftsprozessen*, Gabler Verlag, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden, ISBN (print): 978-3-8244-6790-7, ISBN (online): 978-3-663-08886-8, DOI: 10.1007/978-3-663-08886-8
- Fukuyama, F. (1991): The Next South Aftica, in: *The National Interest*, No. 24 (Summer 1991), pp. 13-28, Published by: Center for the National Interest, Stable URL: <http://www.jstor.org/stable/42894743>
- Fukuyama, F. (2001): Social capital, civil society and development, in: *Third World Quaterly*, Vol. 22, Issue 1 (2001), pp. 7-20

- Furberg, A., Molander, S., Wallbaum, H. (2014): Literature Review of Practices in Sustainability Assessment of Transport Infrastructures - Identification of Issues and Knowledge Gaps, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden 2014
- Gamma, E., Helm, R., Johnson, R. E., Vlissides, J. (2009): Entwurfsmuster - Elemente wiederverwendbarer objektorientierter Software, Addison-Wesley Verlag München, ISBN: 978-3-8273-2824-3, die amerikanische Originalausgabe trägt den Titel "Design Patterns" und die ISBN: 0-201-63361-2 Addison-Wesley Publishing Company (1995)
- Gandenberger, C., Garrelts, H., Wehlau, D. (2011): Assessing the Effects of Certification Networks on Sustainable Production and Consumption - the Cases of FLO and FSC, in: *Journal of Consumer Policy*, Vol. 34, Issue 1 (2011), pp. 107-126, Springer US, Karlsruhe/Bremen, Germany, ISBN (online): 1573-0700, ISSN (print): 0168-7034, DOI: 10.1007/s10603-011-9155-8
- Garetti, M., Taisch, M. (2012): Sustainable manufacturing: trends and research challenges, in: *Production Planning and Control*, Vol. 23 (2012), pp. 83-104, DOI: 10.1080/09537287.2011.591619
- Garmestam, A. S., Allen, C. R., Benson, M. H. (2013): Can Law Foster Social-Ecological Resilience?, in: *Ecology and Society*, Vol. 18, Issue 2 (2013), pp. 37-42, Copyright by the author(s). Published under license by the Resilience Alliance., Nebraska, NE & Albuquerque, NM, United States of America, ISSN (print): 1708-3087, DOI: 10.5751/ES-05927-180237, DOI retrieved on: 30.09.13
- Gasparatos, A., El-Haram, M., Horner, M. (2008): A critical review of reductionist approaches for assessing the progress towards sustainability, *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 28, Issues 4-5, May-June 2008, pp. 286-311, Elsevier Inc., Dundee, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, ISSN (print): 0195-9255, DOI: 10.1016/j.eiar.2007.09.002
- Gasparatos, A., El-Haram, M., Horner, M. A. (2009): The argument against a reductionist approach for measuring sustainable development performance and the need for methodological pluralism, in: *Accounting Forum*, Vol. 33, Issue 3 (2009), pp. 245-256, Elsevier Ltd., Glasgow/Dundee, Scotland, ISSN (print): 0155-9982, DOI: 10.1016/j.accfor.2008.07.006
- Gehlsen, B. (2004): Automatisierte Experimentplanung im Rahmen von Simulationsstudien: Konzeption und Realisierung eines verteilten simulationsbasierten Optimierungssystems, Dissertation an der Universität Hamburg, 1. Auflage, Shaker Verlag, Hamburg, Deutschland, ISBN (print): 978-3832229535
- Georgiadis, P., Besiou, M. (2010): Environmental and economical sustainability of WEEE closed-loop supply chains with recycling: a system dynamics analysis, in: *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 47, Issue 5-8 (2010), pp. 475-493, Springer Verlag, Thessaloniki, Greece, ISSN (print): 0268-3768, ISSN (online): 1433-3015, DOI: 10.1007/s00170-009-2362-7, DOI retrieved on: 19.11.13
- Gerdtts, M., Lempio, F. (2011): Mathematische Optimierungsverfahren des Operations Research, de Gruyter Verlag (27. Mai 2011), ISBN: 978-3110249941
- Gibon, A., Sheeren, D., Monteil, C., Ladet, S., Balent, G. (2010): Modelling and simulating change in reforesting mountain landscapes using a social-ecological framework, in: *Landscape Ecology*, Vol. 25, Issue 2 (2010), pp. 267-285, Castanet-Tolosan, France, ISSN (print): 0921-2973, DOI: 10.1007/s10980-009-9438-5
- Giddens, A. (2001): Soziales Kapital bilden, in: *Personalführung*, Jahrgang 34, Nr. 12, S. 76-78
- Giesen, N., Farzad, T. H., Gómez, J. M. (2009): Entscheidungsunterstützung für die Planung regionaler Projekte unter Berücksichtigung nachhaltiger Entwicklung, in: Fischer, S.; Maehle, E.; Reischuk, R. (Hrsg.): *Informatik 2009 - Im Focus das Leben; Lecture Notes in Informatics (LNI) - Proceedings*, Volume pp. 154 bzw. in *GI Jahrestagung*, pp. 3438-3448, Köln/Bonn, Deutschland
- Gilding, P., Hogarth, M., Humphries, R. (2002): Safe companies: An alternative approach to operationalizing sustainability, in: *Corporate Environmental Strategy*, Vol. 9, Issue 4 (2002), pp. 390-397, Elsevier Inc., ISSN (print): 1066-7938, DOI: 10.1016/S1066-7938(02)00108-2
- Gminder, C.-U. (2002): Nachhaltigkeitsstrategien umsetzen mit einer Sustainability Balanced Scorecard, in: Schaltegger, S., Dyllick, T. (Hrsg.), *Nachhaltig managen mit der Balanced Scorecard*, Wiesbaden, S. 95-147
- Göbel, J. (2012): Self-Organizing Transport Networks – Decentralized Optimization based on Genetic Programming, Dissertation, Universität Hamburg, Hamburg, Deutschland
- Golden, J. S., Dooley, K. J., Anderies, J. M., Thompson, B. H., Gereffi, G., Pratson, L. (2010): Sustainable Product Indexing: Navigating the Challenge of Ecolabeling, in: *Ecology and Society*, Vol. 15, Issue 3 (2010), pp. referred to article 8 (published online), Durham, NC, United States of America
- Gómez, J. M., Wohlgemuth, V., Lang, C. (Hrsg.) (2013): *IT-gestütztes Ressourcen- und Energiemanagement - Konferenzband zu den 5. BUIS-Tagen*, 1st edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Germany, ISBN (print): 978-3-642-35029-0, ISBN (online): 978-3-642-35030-6, DOI: 10.1007/978-3-642-35030-6, DOI retrieved on: 41572

- Goodland, R. (2002): Sustainability: Human, Social, Economic and Environmental, published online under: www.balticuniv.uu.se/2Findex.php%2Fcomponent%2Fdocman%2Fdoc_download%2F435-sustainability-human-social-economic-and-environmental&usg=AFQjCNFd_7oQsrRPbdNksQzXrwT1jZj9aw&sig=0Zkv_HO7LvHyG0uOclBxdQ, the Article is a sample from the forthcoming Encyclopedia of Global Environmental Change, John Wiley & Sons, Ltd., Washington, DC, United States of America
- Gopal, P. R. C., Thakkar, J. (2012): A review on supply chain performance measures and metrics: 2000-2011, in: *International Journal of Productivity and Performance Management*, Vol. 61, Issue 5 (2012), pp. 518-547, Emerald Group Publishing Limited, Kharagpur, India, ISSN (print): 1741-0401, DOI: 10.1108/17410401211232957
- Göbbling-Reisemann, S., von Gleich, A. (2012): Verbindungen zwischen Industrial Ecology und Systems of Provision, in: M. von Hauff, R. Isenmann, G. Müller-Christ (Hrsgs.), *Industrial Ecology Management*, pp. 75-91, Gabler Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden, Deutschland, DOI: 10.1007/978-3-8349-6638-4_5, DOI retrieved on: 16.09.13
- Gowdy, J. M. (2006): Evolutionary Theory and Economic Policy with reference to Sustainability, in: *Journal of Bioeconomics*, Vol. 8, Issue 1 (2006), pp. 1-19, Kluwer Academic Publishers, New York, United States of America, ISSN (print): 1387-6996, ISSN (online): 1573-6989, DOI: 10.1007/s10818-006-7213-0, DOI retrieved on: 01.08.13
- Gray, R. (2002): Social and Environmental Responsibility, Sustainability and Accountability: Can the Corporate Sector Deliver?, CSEAR, School of Management, University of St Andrews, vgl. Gray, R. (2002): The social accounting project and Accounting Organizations and Society Privileging engagement, imaginings, new accountings and pragmatism over critique?, in: *Accounting, Organizations and Society*, Vol. 27, Issue 7 (2002), pp. 687-708
- Grienitz, V., Hausicke, M., Görzel, S. (2013): Systemische Fertigungsprozessmodellierung und -optimierung mit integrierter Simulation, in: Dangelmaier, W., Laroque, C., Klaas, A. (Hrsg.) (2013): *Simulation in Produktion und Logistik 2013*, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 316, Paderborn, zugleich Tagungsband der ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik, Paderborn, 09.-11. Oktober 2013, siehe auch ASIM-Mitteilung Nr. 147, S. 99-108, 1. Auflage, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland, ISBN (print): 978-3-942647-35-9
- Grober, U. (2013): Die Entdeckung der Nachhaltigkeit Kulturgeschichte eines Begriffs, Antje Kunstmann Verlag, München, Deutschland, ISBN (print): 978-3-88897-824-1
- Grøn, S., Svendsen, G. L. H. (2013): "Blue" social capital and work performance: anthropological fieldwork among crew members at four Danish international ships, in: *Journal of Maritime Affairs (WMU)*, Vol. 12 (2013), pp. 185-212, The Author(s). This article is published with open access at Springerlink.com, Esbjerg, Denmark, ISSN (print): 1651-436X, DOI: 10.1007/s13437-013-0041-x, DOI retrieved on: 25.11.13
- Grootaert, C. (1998): Social Capital: The missing Link?, in: *Social Capital Working Paper Series*, Social Capital Initiative Working Paper No. 3, Washington, DC, United States of America
- Grootaert, C., van Bastelaer, T. (2002): Understanding and Measuring Social Capital: A Synthesis of Findings and Recommendations from the Social Capital Initiative, in: *Social Capital Working Paper Series*, Social Capital Initiative Working Paper No. 24, Washington, DC, United States of America, ISBN (print): 9780821350683, DOI: 10.1596/0-8213-5068-4
- Grootaert, C., van Bastelaer, T., Assaf, S., Rossing Feldman, T., Ochieng, G. (1998): The Initiative on Defining, Monitoring and Measuring Social Capital, in: *Social Capital Working Paper Series*, Social Capital Initiative Working Paper No. 1, Washington, DC, United States of America
- Grosse, E. H., Glock, C. H., Neumann, W. P. (2015): Human Factors in Order Picking System Design: A Content Analysis, *IFAC-PapersOnline* Vol. 48, No. 3 (2015), pp. 320-325, ISSN: 2405-8963, DOI: 10.1016/j.ifacol.2015.06.101
- Grünberger, S., Omann, I. (2011): Quality of Life and Sustainability. Links between Sustainable Behaviour, Social Capital and Well-being, in: *Proceedings of the 9th Biennial Conference of the European Society for Ecological Economics (ESEE): "Advancing Sustainability in a Time of Crisis" 14th-17th June 2011, Istanbul, Turkey, Istanbul, Turkey*
- Grundwald, A. (2010): Die Ökologie der Individuen. Erwartungen an individuelles Umwelthandeln, in: Christian Büscher, Klaus Peter Japp (Hrsg.) *Ökologische Aufklärung - 25 Jahre „ökologische Kommunikation"*, S.231-258, VS Verlag für Sozialwissenschaften, ISBN (print): 978-3-5311-6931-6, DOI: 10.1007/978-3-531-92425-0_9, DOI retrieved on: 25.10.13
- Grundwald, A., Kopfmüller, J. (2012): *Nachhaltigkeit*, 2. Auflage, Campus Verlag GmbH, Karlsruhe, Deutschland, ISBN (print): 978-3-593-39397-1
- Grunwald, A., Rösch, C. (2011): Sustainability assessment of energy technologies: towards an integrative framework, in: *Sustainability and Society*, Vol. 1 (2011), Grunwald and Roesch; licensee Springer, Karlsruhe, Germany
- Grützner, R. (Hrsg.) (1997): *Modellierung und Simulation im Umweltbereich*, 1. Auflage, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, ISBN: 978-3-322-90907-7
- Guan, Z. L., Wang, C. J., Wu, Y. F., Shao, X. Y. (2012): A Framework of Digital Factory System Using Multi-Resolution Simulation, in: *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 159 (March 2012), pp. 12-17

- Gunal, M., Pidd, M. (2009): Discrete Event Simulation for Performance Modelling in Healthcare: A Review of the Literature, in: Lancaster University Management School Working Paper 2009/004m, Lancaster, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland
- Günal, M., Pidd, M. (2010): Discrete event simulation for performance modelling in health care: a review of the literature, in: *Journal of Simulation*, Vol. 4 (2010), pp. 42-51, Lancaster, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, DOI: 10.1057/jos.2009.25, DOI retrieved on: 24.11.13
- Gutenschwager, K., Rabe, M., Sari, M. U. (2013): A Data Model for Carbon Footprint Simulation in Consumer Goods Supply Chains, in: Pasupathy, R., Kim, S.-H., Tolk, A., Hill, R., Kuhl, M. E. (eds.) (2013): WSC' 13 - Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference, Washington, DC, USA, pp. 2677-2688, 1st edition, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Washington, DC, United States of America, ISBN (print): 978-1-4799-2076-1
- Hadeishi, M., Fukuyo, K. (2012): The Effective Use of Social Capital for the Declining-population Society, in: *Journal on Innovation and Sustainability - RISUS*, Sao Paulo, Vol. 3 (2012), pp. 3-10, Yamaguchi, Japan, DOI retrieved on: 14.10.13
- Han, J., Fontanos, P., Fukushi, K., Herath, S., Heeren, N., Naso, V., Cecchi, C., Edwards, P., Takeuchi, K. (2012): Innovation for sustainability: toward a sustainable urban future in industrialized cities, in: *Sustainability Science*, Vol. 7 (2012), pp. 91-100, Springer, Tokyo/Nagoya/Zurich/Rome, Japan/Switzerland/Italy, ISSN (online): 1862-4065, DOI: 10.1007/s11625-011-0152-2, DOI retrieved on: 18.11.13
- Hanley, N., Moffatt, I., Faichney, R., Wilson, M. (1999): Measuring sustainability: A time series of alternative indicators for Scotland, in: *Ecological Economics*, Vol. 28, Issue 1 (1999), pp. 55-73, Elsevier Science B.V., Edinburgh/Stirling, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, ISSN (print): 0921-8009, DOI: 10.1016/S0921-8009(98)00027-5
- Hansen, U., Schrader, U. (2005): Corporate social responsibility als aktuelles Thema der Betriebswirtschaftslehre, in: *Die Betriebswirtschaft: DBW*, Vol. 65., Issue 4 (2005), pp. 373-395, Stuttgart, Schäffer-Poeschel, ISSN: 0342-7064
- Harshman, E., Chachere, D. R. (2000): Employee References: Between the Legal Devil and the Ethical Deep Blue Sea, in: *Journal of Business Ethics*, Vol. 23 (2000), pp. 29-39, St Louis, MO, United States of America, Kluwer Academic Publishers printed in the Netherlands
- Hartwick, J. M. (1977): Intergenerational Equity and the Investing of Rents from exhaustible Resources, *American Economic Review*, Vol. 67. (1977), Issue 5, pp. 972-974
- Hartwig, M. (2009): Vom Wert der Nachhaltigkeit, in: *Werte im Wandel unserer Zeit*, inact mediaverlag, Seite 3, Mai 2009, inact mediaverlag, Berlin, Deutschland, zu finden auch unter: http://www.inact-media.com/werte_im_wandel/vom_wert_der_nachhaltigkeit, heruntergeladen am: 12.04.2014
- Hasle, P., Limborg, H. J. (2006): A Review of Literature on Preventive Occupational Health and Safety Activities in Small Enterprises, in: *Industrial Health*, Vol. 44 (2006), pp. 6-12, Lyngby/Copenhagen, Denmark
- Hatim, Q., Shao, G., Rachuri, S., Kibira, D., Kumara, S. (2015): A Simulation-based Methodology of Assessing Environmental Sustainability and Productivity for Integrated Process and Production Plans, in: *Procedia Manufacturing*, Vol. 1 (2015), pp. 193-204, DOI: doi:10.1016/j.promfg.2015.09.004
- Hatim, Q. (2015): Integrating Sustainability in Manufacturing Process Planning, Ph.D. Thesis, The Pennsylvania State University, The Graduate School, College of Engineering, August 2015
- Hatzopoulou, M., Hao, J. Y., Miller, E. J. (2011): Simulating the impacts of household travel on greenhouse gas emissions, urban air quality, and population exposure, in: *Transportation*, Vol. 38 (2011), pp. 871-887, Springer Science + Business Media, LLC., Montreal/Toronto, Canada, DOI: 10.1007/s11116-011-9362-9, DOI retrieved on: 25.10.13
- Haufe (Haufe.de) (2011): Interview: Der Google-Personalchef gewährt Einblick in seine Arbeit, Internet-Artikel vom 07.10.2011, im Internet zu finden unter https://www.haufe.de/personal/hr-management/interview-der-google-personalchef-gewaehrt-einblick-in-seine-arbe_80_69544.html, abgerufen am 17.03.2014
- Hauff, M. v. (2015): Nachhaltiges Wachstum - ein anderer Weg, in: *WISU*, Heft. 7 (2015), S. 310-315
- Hauff, M. v. (Hrsg.) (1987): *Unsere gemeinsame Zukunft (Brundtland-Bericht)*, Weltkommission für Umwelt, Greven
- Hauff, M. v., Kleine, A. (2009): Nachhaltigkeit in 3D - Plädoyer für drei Nachhaltigkeitsdimensionen, in: *Gaia*, Jahrgang 18, Heft 1 (2009), S. 29-31
- Häuslein, A. (1993): Wissensbasierte Unterstützung der Modellbildung und Simulation im Umweltbereich: Konzeption und prototypische Realisierung eines Simulationssystems, in: *Europäische Hochschulschriften, Reihe XLI, Band 12*, Verlag Peter Lang, Frankfurt am Main
- Headey, B. (2006): Happiness: Revising Set Point Theory and Dynamic Equilibrium Theory to Account for Long Term Change, in: 7th SOEP Users' Conference, July 3-5, Berlin, Germany, in: *DIW Discussion Papers*, DIW Berlin, Berlin, Germany

- Heck, P. (2002): Grundlagen des Stoffstrommanagements, in: Heck, P., Bemann, U. (Hrsg.) (2002): Praxishandbuch Stoffstrommanagement 2002/2003, Köln: Fachverlag Deutscher Wirtschaftsdienst, ISBN: 978-3871564819, S. 13-26, zitiert in: Jahr, P. (2010): Entwicklung und Anwendung evolutionärer Algorithmen zur Optimierung von Stoffstromsimulationen, Masterthesis, Hochschule der Technik und Wirtschaft Berlin, 2010, Deutschland
- Hediger, W. (2000): Sustainable Development and Social Welfare, in: Ecological Economics, Band 32, Heft 3 (2000), S. 481–492, in: Kleine (2009): Operationalisierung einer Nachhaltigkeitsstrategie - Ökologie, Ökonomie und Soziales integrieren, Gabler, GWV Fachverlage GmbH (2009), Wiesbaden, Deutschland, ISBN: 978-3-8349-1552-8
- Heijungs, R., Suh, S. (2002): The Computational Structure of Life Cycle Assessment, Eco-Efficiency in Industry and Science, Vol. 11 (2002), No. 1, Springer Science + Business Media Dordrecht, ISBN: 978-1-4020-0672-2, ISSN: 1389-6970, zitiert aus: Schmidt, et al. (2009): Stoffstrombasierte Optimierung - Wissenschaftliche und methodische Grundlagen sowie software-technische Umsetzung
- Heilala, J., Montonen, J., Salmela, A., Järvenpää, P. (2007): Modeling and Simulation for Customer Driven Manufacturing System Design and Operations Planning, in: Henderson, S. G., Biller, B., Hsieh, M.-H., Shortle, J., Tey, J. D., Barton, R. R. (eds.) (2007): WSC 2007 - Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference, Washington, DC, USA, December 9-12, 2007, IEEE, pp. 1853-1862, DOI: 10.1145/1351542.1351874
- Heilala, J., Montonen, J., Järvinen, P., Kivikunnas, S., Maantila, M., Sillanpää, J., Jokinen, T. (2010): Developing Simulation-Based Decision Support Systems for Customer-Driven Manufacturing Operation Planning, in: Johansson, B., Jain, S., Montoya-Torres, J., Huan, J., Yücesan, E. (eds.) (2010): WSC' 10 - Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference, pp. 3363-3375, 1st edition, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Espoo/Rauma/Baltimore, MD, Finland/United States of America, ISBN (print): 978-1-4244-9866-6, ISBN (online): 978-1-4244-9864-2, ISSN (print): 0891-7736, DOI: 10.1109/WSC.2010.5679027, zu finden auch unter: http://www.researchgate.net/publication/221525002_Developing_simulation-based_Decision_Support_Systems_for_customer-driven_manufacturing_operation_planning/file/3deec51a6ee1c2250e.pdf, heruntergeladen am: 13.02.2011
- Heilala, J., Ruusu, R., Montonen, J., Vatanen, S., Bermell-Garcia, P., Astwood, S., Iwhiwhu, C., Kavka, C., Asnicar, F., Ricco, L., Scholze, S., Grama, C., Kotte, O., Armijo, A. (2014): EPES White paper: Product Concept Collaborative Manufacturability and Sustainability Assessment with (EPES) Eco Process Engineering System, EPES Consortium 2014
- Heilala, J., Vatanen, S., Tonteri, H., Montonen, J., Lind, S., Johansson, B., Stahre, J. (2008): Simulation-based Sustainable Manufacturing System Design, in: Proceedings of the Winter Simulation Conference (WSC) 2008, pp. 1922-1930, 1st edition, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Austin, TX, United States of America, ISBN (print): 978-1-4244-2707-9, ISBN (online): 978-1-4244-2708-6#, DOI: 10.1109/WSC.2008.4736284, zu finden auch unter: http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/79627/local_79627.pdf, heruntergeladen am: 13.02.2014
- Heinrichs, M., Baumgartner, T., Kirschbaum, C., Ehlert, U. (2003): Social Support and Oxytocin Interact to Suppress Cortisol and Subjective Responses to Psychosocial Stress, in: Biological Psychiatry, Vol. 54, Issue 12 (2003), pp. 1389-1398, Society of Biological Psychiatry, Zurich, Switzerland, ISSN (print): 0006-3223, DOI: 10.1016/S0006-3223(03)00465-7
- Hemel, U. (2011): Menschenwürdiges Handeln unter den Bedingungen der Knappheit, in: Institut für Sozialstrategie (IFS) Arbeitspapier, Berlin, Deutschland
- Hengchen, D., Milkman, K. L., Hofmann, D. A., Staats, B. R. (2013): A Day in the Saddle Can Take Its Toll: The Impact of Accumulated Time, Work Intensity and Work Breaks on Hand Hygiene Compliance, published online: September 3, 2013, available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=2320114> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2320114>, Philadelphia/Chapel Hill, United States of America, DOI: 10.2139/ssrn.2320114, DOI retrieved on: 19.11.13
- Herrmann, C. (2010): Ganzheitliches Life Cycle Management - Nachhaltigkeit und Lebenszyklusorientierung in Unternehmen, 1. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN (print): 978-3-642-01420-8, ISBN (online): 978-3-642-01421-5, DOI: 10.1007/978-3-642-01421-5 - zu notieren ist hier, dass sich Thiede teilweise auf die gleiche Veröffentlichung allerdings aus dem Jahre 2009 bezieht
- Herrmann, C., Thiede, S., Kara, S., Hesselbach, J. (2011): Energy oriented simulation of manufacturing systems - Concept and application, in: CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 60, Issue 1 (2011), pp. 45-48, CIRP (The International Academy for Production Engineering), Braunschweig/Sydney, Germany/Australia, ISSN (print): 0007-8506, DOI: 10.1016/j.cirp.2011.03.127, DOI retrieved on: 01.08.13
- Herrmann, C., Thiede, S., Stehr, J., Bergmann, L. (2008): An environmental perspective on Lean Production, in: Proceedings of the 41th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Tokyo, Japan, pp. 83–88
- Hillier, F. S., Lieberman, G. J. (2000): Introduction to Operations Research, 7th edition, McGraw-Hill Higher Education, ISBN: 978-0071181631, the 9th edition was published by McGraw-Hill Science, Engineering and Math on February 9, 2009, ISBN: 978-0077298340
- Hilton, M. (2001): Design for sustainable development - Success factors, European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions, Birmingham/Luxembourg/Dublin, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland/Luxembourg/Ireland, ISBN (print): 92-897-0068-8

- Hilty, L. M. (2008): Vorwort in: Isenmann, R., Gómez, J. M. (2008): Internetbasierte Nachhaltigkeitsberichterstattung - Maßgeschneiderte Stakeholder-Kommunikation mit IT, Erich Schmidt Verlag GmbH & Co., Berlin, Deutschland, ISBN (print): 978-3-503-10005-7, S. VII-VIII
- Hilty, L. M., Lohmann, W. (2013): An annotated Bibliography of Conceptual Frameworks in ICT For Sustainability, in: Hilty, L. M., Aebischer, B., Andersson, G., Lohmann, W. (eds.) (2013): ICT4S 2013 - Proceedings of the first International Conference on Information and Communication Technologies for Sustainability, ETH Zurich, February 14-16, 2013, pp. 288-300, Zurich, Switzerland, DOI: 10.3929/ethz-a-007337628, DOI retrieved on: 30.09.13
- Hilty, L. M., Page, B., Hrebicek (2006): Editorial Environmental Informatics, in: Environmental Modelling & Software, Vol. 21 (2006), pp. 1517-1518
- Hilty, L. M., Ruddy, T. F. (2010): Sustainable Development and ICT interpreted in a natural science context, in: Information, Communication & Society, Vol. 1, Issue 7 (2010), pp. 7-22, Taylor & Francis, Zurich/St. Gallen, Switzerland, ISSN (print): 1369-118X, ISSN (online): 1468-4462, DOI: 10.1080/13691180903322805, DOI retrieved on: 19.04.10
- Hinterberger, F., Omann, I. (2000): Möglichkeiten und Grenzen einer ökologisch-sozialen Entwicklung Ergebnisse einer Szenario-Simulation, in: Perspektivends, Band 17, Heft 2 (2000), S. 21-32
- Hischier, R., Keller, M., Lisibach, R., Hilty, L. M. (2013): mat - an ICT application to support a more sustainable use of print products and ICT devices, in: Hilty, L. M., Aebischer, B., Andersson, G., Lohmann, W. (eds.) (2013): ICT4S 2013 - Proceedings of the first International Conference on Information and Communication Technologies for Sustainability, ETH Zurich, February 14-16, 2013, pp. 223-230, Zurich, Switzerland, DOI: 10.3929/ethz-a-007337628, DOI retrieved on: 30.09.13
- Hockerts, K. (2003): Sustainability Innovations, Dissertation, Universität St. Gallen, zitiert aus Langer, U. (2011): Unternehmen und Nachhaltigkeit Analyse und Weiterentwicklung aus der Perspektive der wissenschaftlichen Theorie der Unternehmung, Dissertation, Stuttgart, Deutschland, S. 43
- Hollway, W. (1991): Work Psychology and Organizational Behaviour - Managing the Individual at Work, 1st edition, Sage Publications Ltd., ISBN (print): 978-0-803983540, ASIN: B00FBBNW9E
- Holtmann, D. (2010): Grundlegende multivariate Modelle der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse, 3. Auflage, gedruckt erschienen im Universitätsverlag Potsdam, Deutschland, ISBN 978-3-86956-084-7
- Hort, C. (2008): Nachhaltigkeitsmanagement in einem Industrieunternehmen - Entwicklung eines Systems von effektiven Organisationselementen, Dissertation an der Universität St. Gallen, Hochschule für Wirtschafts-, Rechts- und Sozialwissenschaften (HSG), University of St. Gallen, St. Gallen, Schweiz, zu finden auch unter: [http://www1.unisg.ch/www/edis.nsf/SysLkpByIdentifier/3461/\\$FILE/dis3461.pdf](http://www1.unisg.ch/www/edis.nsf/SysLkpByIdentifier/3461/$FILE/dis3461.pdf), heruntergeladen am: 24.02.2014
- Hosseinpour, F., Hajihosseini, H. (2009): Importance of Simulation in Manufacturing, in: World Academy of Science, Engineering and Technology (27), 2009, pp. 285-288, Bangi, Selangor, Malaysia
- HSA (Health and Safety Authority) (2012): Guidance for Employers and Employees on Night and Shift Work, Published in September 2012 by the Health and Safety Authority, The Metropolitan, Dublin, ISBN (print): 978-1-84496-166-5
- Huppel, G., Ishikawa, M. (2005): A Framework for Quantified Eco-Efficiency Analysis, Journal of Industrial, Ecology, Vol. 9, Issue 4 (2005), pp. 25-41, in: Möller, A. (2009): Einbettung der stoffstrombasierten Optimierung in den wissenschaftlichen und betrieblichen Kontext, in: Schmidt, et al. (Hrsg.) Stoffstrombasierte Optimierung, S. 11-38, Lüneburg, Deutschland
- Hutchins, M. J., Sutherland, J. W. (2008): An exploration of measures of social sustainability and their application to supply chain decisions, in: Journal of Cleaner Production, Vol. 16 (2008), pp. 1688-1698, Published by Elsevier Ltd, Houghton, MI, United States of America, ISSN (print): 0959-6526, DOI: 10.1016/j.jclepro.2008.06.001, DOI retrieved on: 31.01.14
- HVBG (Hrsg.) (2003): Verfasser: Fleischer, A. G., Becker, G., Gründwald, C., Hartl, L., Hartmann, B., Steinbock, D. Vergleichende Analyse der körperlichen Belastungsstruktur von Bauarbeitern - Forschungsvorhaben: Organisations- und Belastungsstruktur in der Bauwirtschaft, HVBG, ISBN: 3-88383-613-3
- HZ (Handelszeitung) (2014): Coca-Cola-Werk in Indien muss dichtmachen, Nachricht vom 18.06.2014, im Internet zu finden unter: http://www.handelszeitung.ch/unternehmen/coca-cola-werk-indien-muss-dichtmachen-627640_sda/gku/me, abgerufen am 17. Januar 2015
- IDW Köln (Institut der deutschen Wirtschaft Köln) (Hrsg.) (2004): Ergebnisse der Unternehmensbefragung zum nachhaltigen Wirtschaften - Eine Untersuchung im Rahmen des BMBF-Förderschwerpunkts „Betriebliche Instrumente für nachhaltiges Wirtschaften“ (Ina), Institut der deutschen Wirtschaft Köln, November 2004
- IFC (International Finance Cooperation) (2011): Update of IFC's Policy and Performance Standards on Environmental and Social Sustainability, and Access to Information Policy, World Bank Group (2011), accessed June 2015 under <http://www.ifc.org/>

- in 't Veld, J. (2013): Transgovernance: The Quest for Governance of Sustainable Development, in: Meulemann, Louis (Ed.) (2013) *Transgovernance - Advancing Sustainability Governance*, pp. 3-35, The Editor(s) and the Author(s), Publisher: Springer Berlin Heidelberg, Ottawa, Canada, ISBN (print): 978-3-642-28008-5, ISBN (online): 978-3-642-28009-2, DOI: 10.1007/978-3-642-28009-2_1, DOI retrieved on: 03.12.13
- Ingemansson, A. (2004): *On Reduction of Production Disturbances in Manufacturing Systems Based on Discrete-Event Simulation*, Ph.D. Thesis at the Lund University, Lund, Sweden, ISBN (print): 978-916-286-149-2
- Isenmann, R., Gómez, J. M. (2008): *Internetbasierte Nachhaltigkeitsberichterstattung - Maßgeschneiderte Stakeholder-Kommunikation mit IT*, Erich Schmidt Verlag GmbH & Co., Berlin, Deutschland, ISBN (print): 978-3-503-10005-7
- ISO 14040:2006(E) (2006): *Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework Management environnemental — Analyse du cycle de vie — Principes et cadre*, Second edition, 2006-07-01
- ISO 26000 (DIN Deutsches Institut für Normung e. V. ISO 26000:2010) (2011): *Leitfaden zur gesellschaftlichen Verantwortung (ISO 26000:2010)*, DIN ISO 26000:2011-01, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Deutschland
- Izamoje, L. (2011): *Reactions to Labour Mobility in Small and Medium Organisations in Nigeria*, in: *European Journal of Social Sciences*, Vol. 25 (2011), pp. 291-304, EuroJournals Publishing, Inc., Lausanne, Switzerland, ISSN (print): 1450-2267, DOI retrieved on: 24.11.13
- Jäger, B. (2004): *Humankapital und Unternehmenskultur - Ordnungspolitik für Unternehmen*, 1. Auflage, Deutscher Universitätsverlag, GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden 2004, zugleich Dissertation an der Katholischen Universität Eichstätt-Ingolstadt, 2004, ISBN (print): 3-8244-8219-3
- Jäger, J. (2010): *Was verträgt unsere Erde noch? - Wege in die Nachhaltigkeit*, 5. Auflage, Fischer Taschenbuch Verlag, Wien, Österreich, ISBN (print): 978-3-596-17270-2
- Jahr, P. (2010): *Entwicklung und Anwendung evolutionärer Algorithmen zur Optimierung von Stoffstromsimulationen*, Masterthesis, Hochschule der Technik und Wirtschaft Berlin, 2010, Deutschland
- Jahr, P., Schiemann, L., Panic, D., Mäusbacher, M., Schnackenberg, T., Wohlgemuth, V. (2009): *Entwicklung von Produktionssystem-Komponenten zur Stoffstromsimulation auf Basis des Open-Source-Frameworks EMPINIA*, in: Wittman, J., Flechsig M. (Hrsg.) (2009): *Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften - Workshop Potsdam 2009 (ASIM)*, S. 57-69, 1. Auflage, Shaker Verlag, Potsdam, Deutschland, ISBN (print): 978-3-8322-8219-6
- Jahr, P., Schiemann, L., Wohlgemuth, V. (2009): *Development of simulation components for material flow simulation of production systems based on the plugin architecture framework EMPINIA*, in: Wohlgemuth, V., Page, B., Voigt, K. (eds.) (2009): *Environmental Informatics and Industrial Environmental Protection - Proceedings of the 23rd International Conference on Informatics for Environmental Protection (EnviroInfo)*, Berlin, 2009, pp. 151-159, 1st edition, Shaker Verlag, Berlin, Germany, ISBN (print): 978-3-8322-8397-1
- Jain, H. C. (1983): *Management of Human Resources and Productivity*, in: *Journal of Business Ethics*, Vol. 2 (1983), pp. 273-289, 1983 by D. Reidel Publishing Company., Hamilton, Canada
- Jain, S., Kibira, D. (2010): *A framework for multi-resolution modeling of sustainable manufacturing*, in: *WSC 2010, Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, 5-8. Dec. 2010, Baltimore, MD, pp. 3423-3434, IEEE, ISBN (print): 978-1-4244-9866-6, ISSN: 0891-7736, DOI: 10.1109/WSC.2010.5679032
- Jain, S., Lindskog, E., Johansson, B. (2012): *Supply Chain Carbon Footprint Tradeoffs using Simulation*, in: *WSC' 12 - Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference*, C. Laroque, J. Himmelspach, R. Pasupathy, O. Rose, and A.M. Uhrmacher, eds, 1st edition, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Berlin, Germany, ISBN (print): 978-1-4673-4779-2, ISBN (online): 978-1-4673-4781-5, ISSN (print): 0891-7736, DOI: 10.1109/WSC.2012.6465242, DOI retrieved on: 20.02.14
- Jain, S., Sigurðardóttir, S., Lindskog, E., Andersson, J., Skoogh, A., Johansson, B. (2013): *Multi-Resolution Modelling for Supply Chain Sustainability Analysis*, in: Pasupathy, R., Kim, S.-H., Tolk, A., Hill, R., Kuhl, M. E. (eds.) (2013): *WSC' 13 - Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference*, Washington, DC, USA, pp. 1996-2007, 1st edition, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Washington, DC, United States of America, ISBN (print): 978-1-4799-2076-1
- James, P. (2015): *Urban Sustainability in Theory and Practice, Circles of Sustainability, Chapter 7. Generating an Urban Sustainability Profile*, Routledge - Taylor & Francis Group, ISBN: 978-1-138-02572-1
- Jenkins, H., Yakovleva, N. (2006): *Corporate social responsibility in the mining industry: Exploring trends in social and environmental disclosure*, in: *Journal of Cleaner Production*, Vol. 14, Issue 3-4 (2006), pp. 271-284, Elsevier Ltd., Cardiff, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, ISSN (print): 0959-6526, DOI: 10.1016/j.jclepro.2004.10.004
- Jevons, S. (1977): *The Coal Question: An Inquiry Concerning the Progress of the Nation and the Probable Exhaustion of Our Coal Mines*, in: *The Study of the Future*, edited by E. Cornish and others, Washington, DC, World Future Society, (Originally published in 1865.), in: Pezzey, J. C. V., Toman, M. A. (2002): *The Economics of Sustainability: A Review of Journal Articles, Discussion Paper 02-03, Resources for the Future*, Washington, DC, United States of America

- Johansson, B. (2010): Incorporating Sustainability Aspects when Analysing Manufacturing Systems with Discrete Event Simulation, in: Vigtil, A., Rostadas, A., Moseng, B. (eds.) Proceedings from the IMS2020 Summer School on Sustainable Manufacturing - Towards Sustainable Manufacturing (2010), pp. 107-120, IMS & Tapir Academic Press, Trondheim, Trondheim/Zurich/Gothenburg, Norway/Switzerland/Sweden, ISBN (print): 978-82-519-2706-2
- Johansson, B., Fasth, A., Stahre, J., Heilala, J., Leong, S., Lee, Y. T., Riddick, F. (2009): Enabling flexible Manufacturing Systems using level of Automation as Design Pattern, in: Proceedings of the Winter Simulation Conference (WSC) 2009, Austin, TX, United States of America
- Johansson, B., Johansson, J., Kinnander, A. (2003): Information structure to support Discrete Event Simulation in Manufacturing Systems, in: Proceedings of the Winter Simulation Conference (WSC) 2003, New Orleans, LA, United States of America
- Johansson, G. (2002): Success factors for the integration of ecodesign in product development - A review of the state of the art, in: Environmental Management and Health, Vol. 13 (2002), pp. 98-107, MCB UP Limited, Mölndal, Sweden, DOI: 10.1108/09566160210417868, DOI retrieved on: 17.10.13
- Jones, M. K., Jones, R. J., Latreille, P. L., Sloane, P. J. (2008): Employees and High-Performance Work Systems: Testing inside the Black Box, Open Access Publication Server of the ZBW - the Authors, Leibniz Information Centre for Economics, Swansea/Newport/Bonn, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland/Germany, ISSN (online): 1526-5455
- Joo Yee, S. (2012): A Survey Of Factors Influencing Employee Engagement, Masterthesis an der Universiti Sains Malaysia, Masterthesis, Universiti Sains Malaysia
- Jørgensen, A., Hauschild, M. Z., Jørgensen, M. S. (2010): Developing the Social Life Cycle Assessment: - addressing issues of validity and usability, Kgs, Lyngby, DTU Management, PhD thesis, No. 15, 2010
- Jørgensen, A., Hauschild, M. Z., Jørgensen, M. S., Wangel, A. (2009): Relevance and feasibility of social life cycle assessment from a company perspective, in: International Journal of Life Cycle Assessment, Vol. 14, Issue 3 (2009), pp. 204-214, Spinger Verlag, Lyngby, Denmark, ISSN (print): 0948-3349, ISSN (online): 1614-7502, DOI: 10.1007/s11367-009-0073-9
- Jørgensen, A., Lai, L. C. H., Hauschild, M. Z. (2010): Assessing the validity of impact pathways for child labour and well-being in social life cycle assessment, in: International Journal of Life Cycle Assessment, Vol. 15, Issue 1 (2010), pp. 5-16, Springer, Lyngby/Burdwood, Denmark/Australia, ISSN (print): 0948-3349, ISSN (online): 1614-7502, DOI: 10.1007/s11367-009-0131-3, DOI retrieved on: 16.09.13
- Jørgensen, A., Le Bocq, A., Narzarkina, L., Hauschild, M. (2008): Methodologies for Social Life Cycle Assessment, in: International Journal of Life Cycle Assessment, Vol. 13, Issue 2 (2008), pp. 96-103, Spinger Verlag, Published by Ecomed, Lyngby/Ecuellas/Bristol, Denmark/France/United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, ISSN (print): 0948-3349, ISSN (online): 1614-7502, DOI: 10.1065/lca2007.11.367
- Joschko, P., Schäfer, H., Denz, N., Schmitz, C., Page, B. (2011): Emission Trade Assistant: Prototype Implementation and Lessons learned, in: Pillmann, Schade, Smits (eds.): Innovations in Sharing Environmental Observations and Information, Proceedings of 25th International Conference Environmental Informatics, 5th-8th October, Ispra (Italy), Shaker Verlag, Aachen 2011
- Jósvai, J. (2013): Optimierungsmethoden der Reihenfolgeplanung mit Hilfe von Simulation, in: Dangelmaier, W., Laroque, C., Klaas, A. (Hrsg.) (2013): Simulation in Produktion und Logistik 2013, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 316, Paderborn, zugleich Tagungsband der ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik, Paderborn, 09.-11. Oktober 2013, siehe auch ASIM-Mitteilung Nr. 147, S. 71-76, 1. Auflage, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland, ISBN (print): 978-3-942647-35-9
- Juan, A. A., Marquès, J. M., Cabera, G., Pérez-Roses, H. (2013): Promoting Green Internet Computing throughout Simulation Optimization Sheduling Algorithms, in: Proceedings of the Winter Simulation Conference (WSC) 2013, Washington, DC, United States of America
- Judge, T. A., Bono, J. E., Thoresen, C. J., Patton, G. K. (2001): The Job Satisfaction-Job Performance Relationship: A Qualitative and Quantitative Review, in: Psychological Bulletin, Vol. 127 (2001), pp. 376-407, Copyright by the American Psychological Association, Inc., Iowa, United States of America, DOI: 10.1037/0033-2909.127.3.376, DOI retrieved on: 23.10.13
- Jungcurt, R. (2013): Taking Boundary Work Seriously: Towards a Systemic Approach to the Analysis of Interactions Between Knowledge Production and Decision-Making on Sustainable Development, in: Meulemann, Louis (Ed.) (2013) Transgovernance - Advancing Sustainability Governance, pp. 255-273, The Editor(s) and the Author(s), Publisher: Springer Berlin Heidelberg, Leiderdorp, Netherlands, ISBN (print): 978-3-642-28008-5, ISBN (online): 978-3-642-28009-2, DOI: 10.1007/978-3-642-28009-2_7, DOI retrieved on: 03.12.13
- Jürgens, H. W., Matzdorff, I., Windberg, J. (1998): Internationale anthropometrische Daten als Voraussetzung für die Gestaltung von Arbeitsplätzen und Maschinen, in: Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse, Nr. 108, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.), Dortmund, 1998, ISSN: 0720-1699

- Kaaz, M. A. (1972): Zur Formalisierung der Begriffe: System, Modell, Prozess und Struktur, in: *Angewandte Informatik*, Heft 12, (1972), S. 537-544, in: Sauerbier, T. (1999): *Theorie und Praxis von Simulationssystemen: eine Einführung für Ingenieure und Informatiker*, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, 1999, ISBN: 3-528-03866-7
- Kahle, E., Jansen, B. E. S., Wilms, F. E. P., Krause, F. & Müller, H.-R. (1992): *Das Handlungsfeld des betrieblichen Umwelt-Management*, Paperback, Universität Lüneburg, Fokus Verlag, Lüneburg, Deutschland
- Kahneman, D. (2012): *Thinking, Fast and Slow - Schnelles Denken, Langsames Denken*, Siedler Verlag, München, ISBN: 978-3-88680-886-1
- Kajikawa, Y. (2008): Research core and framework of sustainability science, in: *Journal of Sustainability Science*, Vol. 3 (2008), pp. 215-239, Integrated Research System for Sustainability Science and Springer, Tokyo, Japan, DOI: 10.1007/s11625-008-0053-1, DOI retrieved on: 27.11.13
- Kamphues, J., Groß, S., Zajac, M., Hegnanns, T. (2013): Serviceorientierte Referenzarchitektur für Logistische Assistenzsysteme zur simulationsbasierten Entscheidungsunterstützung, in: Dangelmaier, W., Laroque, C., Klaas, A. (Hrsg.) (2013): *Simulation in Produktion und Logistik 2013*, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 316, Paderborn, zugleich Tagungsband der ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik, Paderborn, 09.-11. Oktober 2013, siehe auch ASIM-Mitteilung Nr. 147, S. 145-155, 1. Auflage, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Dortmund/Paderborn, Deutschland, ISBN (print): 978-3-942647-35-9
- Kämpke, T., Pestel, R., Radermacher, F. J. (2003): A Computational Concept for Normative Equity, in: *European Journal of Law and Economics*, Vol. 15 (2003), pp. 129-163, Kluwer Academic Publishers. Manufactured in The Netherlands, Ulm/Brussel, Germany/Belgium
- Kapstein, M., Tulder, R. v. (2003): Toward Effective Stakeholder Dialogue, in: *Business and Society Review*, Vol. 108, No. 2, pp. 203-224
- Karakas, F. (2010): Spirituality and Performance in Organizations: A Literature Review, in: *Journal of Business Ethics*, Vol. 94 (2010), pp. 89-106, Springer, Montreal, Canada, ISSN (print): 1573-0697, DOI: 10.1007/s10551-009-0251-5, DOI retrieved on: 25.11.13
- Karim, M. A., Ernst, M., Amin, M. A. (2012): A Method for Evaluating Lean Assembly Process at Design Stage, in: Seliger, G. (2012): *Sustainable Manufacturing - Shaping Global Value Creation*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Germany, ISBN (print): 978-3-642-27289-9, ISBN (online): 978-3-642-27290-5, DOI: 10.1007/978-3-642-27290-5
- Kasthofer, K., (1818): *Bemerkungen über Wälder und Auen des Bernischen Hochgebirges*, Aarau [zit. nach Birnbacher, D., Schicha, C. (1996): *Vorsorge statt Nachhaltigkeit – Ethische Grundlagen der Zukunftsverantwortung*, in: Kastenhofer, H. G., Erdmann, K. H., Wolff, M. (Hrsg.), *Nachhaltige Entwicklung*, Berlin u.a., S. 141–156] Erwähnung übernommen aus: Langer, U. (2011): *Unternehmen und Nachhaltigkeit Analyse und Weiterentwicklung aus der Perspektive der wissensbasierten Theorie der Unternehmung*, Dissertation, Stuttgart, Deutschland
- Katz, T. (2010): *Ein Beitrag zur Bewertung von Maßnahmen zur CO₂-Abscheidung und -Speicherung unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit*, Dissertation an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Technische Hochschule Aachen, Dortmund/Aachen, Deutschland
- Kellens, K., Dewulf, W., Overcash, M., Hauschild, M. Z., Dufloy, J. R. (2011): Methodology for systematic analysis and improvement of manufacturing unit process life-cycle inventory (UPLCI)—CO₂PE! initiative (cooperative effort on process emissions in manufacturing). Part 1: Methodology description, in: *International Journal of Life Cycle Assessment*, Vol. 17, Issue 1 (2011), pp. 69-78, Springer-Verlag, Leuven/Kansas/Lyngby, Belgium/United States of America/Denmark, ISSN (print): 0948-3349, ISSN (online): 1614-7502, DOI: 10.1007/s11367-011-0340-4, DOI retrieved on: 27.01.14
- Keramati, A. (2010): Supply chain integration: A modelling classification, in: *Proceedings of the Eighth Annual International Symposium on Supply Chain Management*, Toronto, Canada, (2010), Toronto/Uxbridge-Middlesex, Canada/United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland
- Khoo, H. H., Spedding, T. A., Tobin, L., Taplin, D. (2001): Integrated Simulation and Modelling Approach to Decision Making and Environmental Protection, in: *Environment, Development and Sustainability*, Vol. 3, Issue 2 (2001), pp. 93-108, Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands, Singapore/Greenwich/Rockhampton, Singapore/United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland/Australia
- Khurana, M. K., Mishra, P. K., Singh, A. R. (2011): Barriers to Information Sharing in Supply Chain of Manufacturing Industries, in: *International Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 1 (2011), pp. 9-29, Allahabad, India, DOI: 10.3923/ijmsaj.2011.9.29, DOI retrieved on: 14.10.13
- Kibira, D., Jain, S., McLean, C. R. (2009): A System Dynamics Modeling Framework for Sustainable Manufacturing, in: *Proceedings of the 27th Annual System Dynamics Society Conference*, Albuquerque, NM, United States of America
- Kibira, D., McLean, C. R. (2008): Modeling and Simulation for Sustainable Manufacturing, in: *Proceedings of the Second IASTED Africa Conference on Modeling and Simulation : science and technology innovation for sustainable development ; September 8 - 10, 2008*, Gaborone, Botswana, 1st edition, Acta Press, Anaheim, Calif. [u.a.] ;

Gaborone, Botswana, ISBN (print): 978-0-88-986763-5, zu finden auch unter: http://www.nist.gov/customcf/get_pdf.cfm?pub_id=824675, heruntergeladen am: 14.11.2013

- Kim, G. Y., Noh, S. D., Rim, Y. H., Mun, J. H. (2008): XML-based concurrent and integrated ergonomic analysis in PLM, in: *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 39, Issue 9 (November 2008), pp. 1045-1060, Springer-Verlag, ISSN (print): 0268-3768, ISSN (print): 1433-3015, DOI: 10.1007/s00170-008-1400-1
- Kintana, M. L., Alonso, A. U., Olaverri, C. G. (2006): High Performance Work Systems and Firm's Operational Performance: The Moderating Role of Technology, in: *International Journal of Human Resource Management*, Vol. 17 (2006), pp. 70-85, Pamplona (Navarra), Spain, DOI: 10.1080/09585190500366466, DOI retrieved on: 24.11.13
- Kirner, E., Kinkel, S., Jaeger, A. (2009): Innovation paths and the innovation performance of low-technology firms - An empirical analysis of German industry, in: *Research Policy*, Vol. 38, Issue 3 (2009), pp. 447-458, Elsevier B.V., Karlsruhe, Germany, ISSN (print): 0048-7333, DOI: 10.1016/j.respol.2008.10.011, DOI retrieved on: 14.10.13
- Kirschten, U. (2008): Integrativer Gestaltungsansatz für ein nachhaltiges Human Resource Management, in: *Umweltwirtschaftsforum (UWF)*, Band 16 (2008), S. 257-265, Springer-Verlag, Leipzig, Deutschland, ISBN (online): 0943-3481, DOI: 10.1007/s00550-008-0095-y, DOI retrieved on: 25.10.13
- Klauer, B. (1999): Was ist Nachhaltigkeit und wie kann man eine nachhaltige Entwicklung erreichen?, in: *Zeitschrift für angewandte Umweltforschung*, Band 12, Heft 1 (1999), S. 86-97, Berlin, Analytica Verlag, ISSN 0933-9027
- Kleine, A. (2005): Das Integrierende Nachhaltigkeits-Dreieck zur interdisziplinären und systematischen Diskussion der Nachhaltigen Entwicklung, in: *UmweltWirtschaftsForum*, Jg. 13., H. 4 (2005), S. 22-27
- Kleine, A., von Hauff, M. (2009): Sustainability-Driven Implementation of Corporate Social Responsibility Application of the Integrative Sustainability Triangle, in: *Journal of Business Ethics*, Vol. 85, Issue 3 Supplement (2009), pp. 517-533, Springer Netherlands, Kaiserslautern, Germany, ISSN (print): 0167-4544, ISSN (online): 1573-0697, DOI: 10.1007/s10551-009-0212-z, DOI retrieved on: 16.09.13
- Klicka, G. (2004): Die Wirkung von Kurzpausen am Arbeitsplatz, online veröffentlicht unter: http://www.stresscoach.at/biofeedback_grundlagen/artikel_kurzpausen.pdf
- Klöpffer, W., Ciroth, A. (2011): Is LCC relevant in a sustainability assessment, in: *International Journal of Life Cycle Assessment*, Vol. 16, Issue 2 (2011), pp. 99-101, Springer-Verlag, Frankfurt am Main/Berlin, Germany, ISSN (print): 0948-3349, ISSN (online): 1614-7502, DOI: 10.1007/s11367-011-0249-y, DOI retrieved on: 16.09.13
- Knaak, N., Kruse, S., Page, B. (2006): An Agent-Based Simulation Tool for Modelling Sustainable Logistics Systems, in: Voinov, A., Jakeman, A.J., Rizzoli, A.E. (eds.), *Proceedings of the iEMSs Third Biennial Meeting "Summit on Environmental Modelling and Software"*. International Environmental Modelling and Software Society, Burlington, USA, July 2006, Burlington, VT, United States of America, ISBN (print): 978-1-4243-0852-1, ISBN (online): 1-4243-0852-6
- Knoke, T., Mosandl, R. (2004): Integration ökonomischer, ökologischer und sozialer Ansprüche: Zur Sicherung einer umfassenden Nachhaltigkeit im Zuge der Forstbetriebsplanung, in: *Forst und Holz*, Band 59, Heft 11 (2004), S. 535-539, Freising/München, Deutschland
- Koga, T., Kaminishi, K. (2013): Modeling and Simulation of Product Service Systems for Design and Innovation, in: *Journal on Innovation and Sustainability - RISUS*, Sao Paulo, Vol. 4 (2013), pp. 3-15, Ube City, Japan, DOI retrieved on: 14.10.13
- Kogi, K. (2008): Facilitating participatory steps for planning and implementing low-cost improvements in small workplaces, in: *Applied Ergonomics*, Vol. 39 (2008), pp. 475-481, Elsevier Ltd., Kawasaki, Japan, DOI: 10.1016/j.apergo.2008.02.017, DOI retrieved on: 16.10.13
- Köhn-Ladenburger, C. (2013): Die richtigen Produkte und Dienstleistungen für die LOHAS - Kapitel 6, 1. Auflage, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, Deutschland, ISBN (print): 978-3-8349-3576-2, ISBN (online): 978-3-8349-3577-9, DOI: 10.1007/978-3-8349-3577-9, DOI retrieved on: 41572
- Kolus, A. Wells, R., Neumann, P. (2014): A framework for describing the relationship between human factors and quality, *Proceedings of the Association of Canadian Ergonomists (ACE), 45th Annual Conference*, Montreal, 2014
- Konrad, W., Hill, J. (2001): Innovationen für Nachhaltigkeit - Ein interdisziplinärer Beitrag zur konzeptionellen Klärung aus wirtschafts- und sozialwissenschaftlicher Perspektive in: *Schriftenreihe des IÖW*, Band 157 (2001), Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), Berlin/Heidelberg, Deutschland
- Kopač, J. (2009): Achievements of sustainable manufacturing by machining, in: *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, Vol. 34, Issue 2 (2009), pp. 180-187, International OCSCO World Press, Ljubljana, Slovenia
- Koranda, C., Chong, W. K., Kim, C., Chou, J.-S., Kim, C. (2012): An Investigation of the Applicability of Sustainability and Lean Concepts to Small Construction Projects, in: *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 16 (2012), pp. 699-707, Kansas City, MO/Lawrence, KS/Seoul/Taipei/, United States of America/Korea/Taiwan, ISSN (print): 1226-7988, ISSN (online): 1976-3808, DOI: 10.1007/s12205-012-1460-5, DOI retrieved on: 18.11.13

- Košturiak, J., Gregor, M. (1995): Simulation von Produktionssystemen, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Wien, Österreich, ISBN (print): 978-3-211-82701-7, ISBN (online): 978-3-7091-9413-3, DOI: 10.1007/978-3-7091-9413-3_6
- KPMG (2011): KPMG International Survey of Corporate Responsibility Reporting 2011, KPMG International Cooperative, November 2011, The Netherlands
- Krajnc, D., Glavic, P. (2003): A model for integrated assessment of sustainable development, in: Resources, Conservation and Recycling, Vol. 43, Issue 2 (2003), pp. 189-208, Elsevier B.V., Maribor, Slovenia, ISSN (print): 0921-3449, DOI: 10.1016/j.resconrec.2004.06.002
- Krehahn, P., Wohlgemuth, V. (2013): Mobile Computing als Datenquelle für den betrieblichen Umweltschutz, in: GI Edition Proceedings 220 - Informatik 2013 - Informatik angepasst an Mensch, Organisation und Umwelt, S. 985-994, Bonn, 2013, ISBN 978-3-88579-614-5, ISSN 1617-5468
- Krishna, A., Uphoff, N. (1999): Mapping and Measuring Social Capital: A Conceptual and Empirical Study of Collective Action for Conserving and Developing Watersheds in Rajasthan, India, in: Social Capital Working Paper Series, Social Capital Initiative Working Paper No. 13, Washington, DC, United States of America
- Krückhans, B., Meier, H. (2013): Industrie 4.0 – Handlungsfelder der Digitalen Fabrik zur Optimierung der Ressourceneffizienz in der Produktion, in: Dangelmaier, W., Laroque, C., Klaas, A. (Hrsg.) (2013): Simulation in Produktion und Logistik 2013, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 316, Paderborn, zugleich Tagungsband der ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik, Paderborn, 09.-11. Oktober 2013, siehe auch ASIM-Mitteilung Nr. 147, S. 31-40, 1. Auflage, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland, ISBN (print): 978-3-942647-35-9
- Kuhl, M. E., Zhou, X. (2009): Sustainability Toolkit for Simulation-Based Logistic Decisions, in: Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference (M. D. Rossetti, R. R. Hill, B. Johansson, A. Dunkin and R. G. Ingalls, eds.), Austin, TX, USA, 2009, pp. 1466-1473, 1st edition, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Austin, TX, United States of America, ISBN (print): 978-1-4244-5770-0, DOI: 10.1109/WSC.2009.5429294, DOI retrieved on: 12.02.14
- Kuhn A, Rabe, M (Hrsg.) (1998): Simulation in Produktion und Logistik. Fallbeispielsammlung. Springer, Berlin
- Kulcycka, J., Kurczewski, P., Kasprzak, J., Lewandowska, A., Lewicki, R., Witczak, A., J. (2011): The Polish Centre for Life Cycle Assessment - the centre for life cycle assessment in Poland, in: International Journal of Life Cycle Assessment, Vol. 16, Issue 5 (2011), pp. 442-444, Springer-Verlag, Cracow, Poznan, Poland, ISSN (print): 0948-3349, ISSN (online): 1614-7502, DOI: 10.1007/s11367-011-0276-8, DOI retrieved on: 16.09.13
- Küll, R., Stähly, P. (1999): Zur Planung und effizienten Abwicklung von Simulationsexperimenten, in: Biethahn, J., Hummeltenberg, W., Schmidt, B., Stähly, P., Witte, T. (Hrsg.) (1999): Simulation als betriebliche Entscheidungshilfe - State of the Art und neuere Entwicklungen, Physica-Verlag Heidelberg, 1999, ISBN: 978-3-7908-1178-0, DOI: 10.1007/978-3-642-58671-2, S. 1-21
- Kumar, S., Jayswal, S. C. (2013): Manufacturing System Improvement by Discrete Event Simulation, in: VSRD International Journal of Mechanical, Civil, Automobile and Production Engineering, Vol. 3, Issue 8 (2013), pp. 295-300, VSRD International Journals, Uttar Pradesh, India, ISSN (print): 2319 - 2208, ISSN (online): 2249 - 8303
- Kumetz, S., Termath, W. (2008): Nachhaltigkeitsorientierte Gestaltung eines Gießereiprozesses - Kompetenzförderung mit der Simulationssoftware SimGieß, in: bwp@ Spezial 4 - HAT 2008 / lernen & lehren FT 03.1/2, Magdeburg, Deutschland
- Kuo, T. C. (2011): Simulation of purchase or rental decision-making based on product service system, in: International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 52, Issue 9-12 (2011), pp. 1239-1249, Springer-Verlag London Limited, Chung-Li, Taiwan, Republic of China, ISSN (online): 0268-3768, DOI: 10.1007/s00170-010-2768-2, DOI retrieved on: 25.10.13
- Labuschagne, C., Brent, A. C., van Erck, R. P. G. (2007): Assessing the sustainability performances of industries, in: Journal of Cleaner Production, Vol. 13, Issue 4 (2007), pp. 373-385, Elsevier Ltd., Pretoria/Eindhoven, South Africa/The Netherlands, ISSN (print): 0959-6526, DOI: 10.1016/j.jclepro.2003.10.007
- Lambrecht (2009): Konzeptionelle Verbindung von Stoffstromanalyse und Optimierung, (Kapitel 2) in: Schmidt, M., Lambrecht, H., Möller, A. (Hrsg.) (2009): Stoffstrombasierte Optimierung - Wissenschaftliche und methodische Grundlagen sowie softwaretechnische Umsetzung, S. 39-58, Verlagshaus Monsenstein und Vannerdat OHG Münster, ISBN (print): 978-3-86991-016-1
- Landau, K., Luczak, H. (2008): Ergonomie und Organisation in der Montage, 2. Auflage, Hanser Verlag, Aachen, Deutschland, ISBN (print): 978-3-446-21507-8
- Langer, U. (2011): Unternehmen und Nachhaltigkeit Analyse und Weiterentwicklung aus der Perspektive der wissenschaftlichen Theorie der Unternehmung, Dissertation an der Universität Stuttgart, 1. Auflage, Gabler Verlag, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Stuttgart, Deutschland, ISBN (print): 978-3-8349-2665-4

- Law, A. M., Kelton, W. D. (1991): Simulation modeling and analysis, 2nd edition, McGraw Hill Higher Education, New York, USA, ISBN (print): 978-0071165372 (3rd edition), in: Sauerbier, T. (1999): Theorie und Praxis von Simulationssystemen: eine Einführung für Ingenieure und Informatiker, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, 1999, ISBN: 3-528-03866-7
- Law, A.M., Kelton, W.D. (2000): Simulation Modelling and Analysis. 3. Auflage, McGraw-Hill, Boston
- Lawn, P. A. (2003): A theoretical foundation to support the Index of Sustainable Economic Welfare (ISEW), Genuine Progress Indicator (GPI), and other related indexes, in: Ecological Economics, Vol. 44 (2003), pp. 105-118, Elsevier Ltd., Adelaide, Australia
- Lay, G., Copani, G., Jäger, A., Biege, S. (2010): The relevance of service in European manufacturing industries, in: Journal of Service Management, Vol. 21 (2010), pp. 715-726, Emerald Group Publishing limited, Karlsruhe/Milano, Germany/Italy, DOI: 10.1108/09564231011092908, DOI retrieved on: 14.10.13
- Leahu-Aluas, S. (2010): Sustainable Manufacturing – An Overview for Manufacturing Engineers, online veröffentlicht unter: Sustainable Manufacturing Consulting - <http://sustainablemanufacturing.biz/>, Sustainable Manufacturing Consulting, Farnham, Surrey, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland
- Leana, C. R., van Buren III, H. J. (1999): Organizational Social Capital and Employment Practices, in: Academy of Management Review, Vol. 24 (1999), pp. 539-555, Pittsburgh, United States of America
- Lee, G. K. L., Chan, E. (2007): Critical factors for improving social sustainability of urban renewal projects, in: Social Indicators Research, Vol. 85, Issue 2 (2007), pp. 243-256, Springer, Hong Kong, China, ISBN (online): 1573-0921, ISSN (print): 0303-8300, DOI: 10.1007/s11205-007-9089-3, DOI retrieved on: 16.09.13
- Leenders, R. Th. A. J., Gabbay, S. M. (1999): Corporate Social Capital and Liability, Springer Science & Business Media, 1999, ISBN: 978-0792385011
- Lehtonen, M. (2004): The environmental-social interface of sustainable development: capabilities, social capital, institutions, in: Ecological Economics, Vol. 49, Issue 2 (2004), pp. 199-214, Elsevier B.V., Guyancourt, France, ISSN (print): 0921-8009, DOI: 10.1016/j.ecolecon.2004.03.019
- Lei, Y., Djurdjanovic, D., Barajas, L., Workman, G., Biller, S., Ni, J. (2011): DeviceNet network health monitoring using physical layer parameters, in: Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 22, Issue 2 (2011), pp. 289-299, Springer Science + Business Media, LLC, Ann Arbor, MI/Austin, TX/Warren, MI, United States of America, DOI: 10.1007/s10845-009-0291-9, DOI retrieved on: 25.11.13
- Leipziger, D. (2010): The Corporate Responsibility code book, 2nd edition, Greenleaf Publishing Limited, UK, ISBN (print): 9781906093396, ISBN (online): 9781907643729
- Lembcke, F. (2012): Kalkül versus Katastrophe - Kapitel 3 - Massenmedien als Katalysator: Die Wissenschaft des Klimawandels, 1. Auflage, VS Verlag für Sozialwissenschaften, Springer Fachmedien Wiesbaden, Potsdam/Berlin, Deutschland, ISBN (print): 978-3-531-19628-2, ISBN (online): 978-3-531-19629-9, DOI: 10.1007/978-3-531-19629-9, DOI retrieved on: 41572
- Lemessi, M. (2013): Simulationsbasierte Reihenfolgeoptimierung von Fertigungsaufträgen für Montagesysteme mittels eines genetischen Algorithmus unter Beachtung von Reihenfolgebeschränkungen, in: Dangelmaier, W., Laroque, C., Klaas, A. (Hrsg.) (2013): Simulation in Produktion und Logistik 2013, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 316, Paderborn, zugleich Tagungsband der ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik, Paderborn, 09.-11. Oktober 2013, siehe auch ASIM-Mitteilung Nr. 147, S. 87-97, 1. Auflage, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Mannheim/Paderborn, Deutschland, ISBN (print): 978-3-942647-35-9
- Liebl F. (1995): Simulation - Eine problemorientierte Einführung, 2. Auflage, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, überarbeitete Auflage (17. Mai 1995), München, ISBN (print): 978-3486233735
- Lind, S., Johansson, B., Stahre, J., Berlin, C., Fath, A., Heilala, J., Helin, K., Kiviranta, S., Krassi, B., Montonen, J., Tonteri, H., Vantanen, S., Viitaniemi, J. (2009): SIMTER - A Joint Simulation Tool for Production Development, in: VTT Working Paper 125. 49 p. Espoo, VTT - Julkaisija - Utgivare - Publisher, Espoo, Finland, ISBN (print): 978-951-38-7185-7, ISSN (print): 1459-7683, ISSN (online): 1459-7683
- Lin-Hi, N. (2009): Eine Theorie der Unternehmensverantwortung, Dissertation an der Handelshochschule Leipzig (HHL) (Forschungsprofessur "Nachhaltigkeit und Globale Ethik"), Erich Schmidt Verlag GmbH & Co, Berlin, Deutschland
- Lochner, K., Kawachi, I., Kennedy, B. P. (1999): Social Capital: a guide to its measurement, in: Health and Place, Vol. 5, Issue 4 (1999), pp. 259-270, Elsevier Science Ltd., Boston, MA, United States of America, ISSN (online): 1353-8292
- Loewe, M. (2012): Post 2015: How to Reconcile the Millennium Development Goals (MDGs) and the Sustainable Development Goals (SDGs)?, Briefing Paper 18 (2012), Deutsches Institut für Entwicklungspolitik (DIE), Bonn, Deutschland, ISSN (print): 1615-5483
- Lohmann-Haislah, A. (2012): Stressreport Germany 2012. Psychische Anforderungen, Ressourcen und Befinden, 2012, Dortmund, Deutschland

- Lorek, S., Spangenberg, J. (2012): Sustainable Consumption within a Sustainable Economy - debunking buzzwords to develop the content, in: Proceedings of the Global Research Forum on Sustainable Consumption and Production Workshop, 13-15 June, 2012, Rio de Janeiro, Brazil, Rio de Janeiro, Brazil
- Lowitt, E. M., Grimsley, J. (2009): Hewlett-Packard: Sustainability as a Competitive Advantage, Accenture. All rights reserved. Accenture Institute for High Performance, Houston, TX, United States of America
- Luczak, H. (Hrsg.) (1998): Arbeitswissenschaft, 2. Auflage, Springer Verlag Berlin Heidelberg, in: Rudow, B. (2014): Die gesunde Arbeit: Psychische Belastungen, Arbeitsgestaltung und Arbeitsorganisation, 3. Auflage, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München, Deutschland, ISBN (print): 978-3-486-71949-9, ISBN (online): 978-3-486-85578-4
- Luczak, H., Cernavin, O., Scheuch, K., Sonntag, K. (2002): Trends of Research and Practice in "Occupational Risk Prevention" as Seen in Germany, in: Industrial Health, Vol. 40, Issue 2 (2002), pp. 74-100, National Institute of Occupational Safety and Health, Aachen/Wiesbaden/Dresden/Heidelberg, Germany
- Luczak, H., Eversheim, W. (1999): Produktionsplanung und -steuerung - Grundlagen, Gestaltung und Konzepte, 2. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin/Heidelberg/New York, Deutschland/Vereinigte Staaten von Amerika, ISBN (print): 3-540-65559-X
- Lülf, R. (2013): Nachhaltigkeit und organisationales Lernen - Eine transdisziplinäre Analyse, Dissertation an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, 1. Auflage, Springer Fachmedien Wiesbaden, Düsseldorf, Deutschland, ISBN (print): 978-3-658-00304-3, ISBN (online): 978-3-658-00305-0, DOI: 10.1007/978-3-658-00305-0, DOI retrieved on: 25.10.13
- Lynam, J. K., Herdt, R. W. (1989): Sense and sustainability: Sustainability as an objective in international agricultural research, in: Agricultural Economics, Vol. 3, Issue 4 (1989), pp. 381-398, Elsevier B.V., New York, NY, United States of America, ISSN (print): 0169-5150, DOI: 10.1016/0169-5150(89)90010-8
- Machning, M. (2011): Welchen Fortschritt wollen wir – neue Wege zu Wachstum und sozialem Wohlstand, 1. Auflage, Campus Verlag GmbH, Frankfurt/New York, Deutschland/Vereinigte Staaten von Amerika, ISBN (print): 978-3-593-39415-2
- Maclean, R., Tsang, E., Fien, J. (2013): Hong Kong, China Employers' Perspectives on a Carbon-Constrained Economy and How Technical and Vocational Education and Training Should Respond, in: Technical and Vocational Education and Training: Issues, Concerns and Prospects, Vol. 19 (2013), pp. 309-325, Springer Verlag, Hong Kong/Hamilton, VIC, China/Australia, DOI: 10.1007/978-94-007-5937-4_17, DOI retrieved on: 18.11.13
- Magee, L., Scerri, Andy, James, Paul (2012): Measuring Social Sustainability: A Community Centred Approach, in: published online on the 9th February 2012 - The International Society for Quality-of-Life Studies (ISQOLS) 2012, Springer Science + Business Media B.V., Melbourne & Carlton, Australia, DOI: 10.1007/s11482-012-9166-x, DOI retrieved on: 16.09.13
- Mak, M. Y., Peacock, C. J. (2011): Social Sustainability: A Comparison of Case Studies in UK, USA, and Australia, in: 17th Pacific Rim Real Estate Society Conference, Gold Coast. 16-19 Jan. 2011, Springer, Gold Coast, United States of America
- Makhbul, Z. M., Abdullah, N. L., Senik, Z. C. (2013): Ergonomics and Stress at Workplace: Engineering Contributions to Social Sciences, in: Jurnal Pengurusan, Vol. 37 (2013), pp. 125-131, Selangor, Malaysia
- Makhbul, Z. M., Alam, S. S., Azmi, S. M., Talib, N. A. (2011): Ergonomics and Work Stress Issues in Banking Sector, in: Australian Journal of Basic and Applied Sciences, Vol. 5, Issue 9 (2011), pp. 1301-1309, Selangor, Malaysia, ISSN (online): 1991-8178
- Malthus, T. R. (1976): An Essay on the Principle of Population, New York, Norton, (Originally published in 1798.), in: Pezzey, J. C. V., Toman, M. A. (2002): The Economics of Sustainability: A Review of Journal Articles, Discussion Paper 02-03, Resources for the Future, Washington, DC, United States of America
- Mancebo, F. (2013): The Pitfalls of Sustainability Policies; Insights into Plural Sustainableities, in: Challenges in Sustainability, Vol. 1, Issue 1 (2013), pp. 29-40, Licensee Librello, Switzerland, Reims Cedex, France, DOI: 10.12924/cis2013.01010029, DOI retrieved on: 14.10.13
- Mani, M., Johansson, B., Lyons, K. W., Sriram, R. D., Ameta, G. (2013): Simulation and analysis for sustainable product development, International Journal on Life Cycle Assessment (2013) 18, pp. 1129–1136
- Marchand, F., Debruyne, L., Triste, L., Gerrard, C., Padel, S., Lauwers, L. (2014): Key characteristics for tool choice in indicator-based sustainability assessment at farm level, in: Ecology and Society, Vol. 19, Issue 3 (2014), Art. 43, DOI: 10.5751/ES-06876-190346
- Mařík, V., McFarlane, D. (2005): Industrial Adoption of Agent-Based Technologies, in: IEEE Intelligent Systems, Vol. 20, Issue 1 (2005), pp. 27-35, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Prague/ Cambridge, Czech Republic/UK (United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland), ISSN (print): 1541-1672, DOI: 10.1109/MIS.2005.11

- Marler, R. T., Arora, J. S. (2004): Survey of multi-objective optimization methods for engineering, in: *Structural and Multidisciplinary Optimization*, Vol. 26, Issue 6 (2004), pp. 369-395, Springer-Verlag, Iowa City, IA, United States of America, ISSN (print): 1615-147X, ISSN (online): 1615-1488, DOI: 10.1007/s00158-003-0368-6, DOI retrieved on: 11.02.14
- Martens, P. (2006): Sustainability: Science or fiction?, in: *Sustainability: Science, Practice, & Policy*, Vol. 2, Issue 1 (2006), pp. 36-41
- Martin, R. (2005): A Study on the Factors of Regional Competitiveness - A draft final report for The European Commission Directorate-General Regional Policy
- Martinuzzi, A., Tiroch, M. (Hrsg.) (2007): Beiträge zur Tagung Umweltwirtschaft - International, Interdisziplinär und Innovativ, Research Institute for Managing Sustainability der Wirtschaftsuniversität Wien, Wien, Österreich
- März, L., Krug, W., Rose, O., Weigert, G. (2011): *Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik*, 1. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Lindau/Dresden, Deutschland, ISBN (print): 978-3-642-14535-3, ISBN (online): 978-3-642-14536-0, DOI: 10.1007/978-3-642-14536-0
- Matten, D., Wagner, G. R. (1998): Konzeptionelle Fundierung und Perspektiven des Sustainable Development-Leitbildes, in: Steinmann, H., Wagner, G. R. (Hrsg.) (1998): *Umwelt und Wirtschaftsethik*, Stuttgart, Deutschland, S. 51-79
- Matteucci, M., O'Mahony, M., Robinson, C., Zwick, T. (2005): Productivity, Workplace Performance and ICT: Industry and Firm-level Evidence for Europe and the US, in: *Scottish Journal of Political Economy*, Vol. 52 (2005), pp. 359-386, Scottish Economic Society, Oxford/Maiden, MA, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland/United States of America
- Matuszek, G. (2013): *Management der Nachhaltigkeit*, 1. Auflage, Springer Fachmedien Wiesbaden, Kufstein, Österreich, ISBN (print): 978-3-658-02289-1, ISBN (online): 978-3-658-02290-7, DOI: 10.1007/978-3-658-02290-7, DOI retrieved on: 41572
- Maudos, J., Pastor, J. M., Serrano, L. (1998): Human Capital in OECD Countries: Technical Change, Efficiency and Productivity, Working Paper (WP-EC 98-19), Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas, Valencia, Spain
- Mayer, G., Pöge, C. (2013): Quo vadis Ablaufsimulation – Eine Zukunftsvision aus Sicht der Automobilindustrie, in: Dangelmaier, W., Laroque, C., Klaas, A. (Hrsg.) (2013): *Simulation in Produktion und Logistik 2013*, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 316, Paderborn, zugleich Tagungsband der ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik, Paderborn, 09.-11. Oktober 2013, siehe auch ASIM-Mitteilung Nr. 147, S. 12-20, 1. Auflage, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland, ISBN (print): 978-3-942647-35-9
- Mayer, M. (2003): Möglichkeiten der Simulation im Rahmen des betrieblichen Stoffstrommanagements, in: (Tschandl und Posch 2003), S. 43-57, Erwähnung übernommen aus: Wohlgemuth, V. (2005): *Komponentenbasierte Unterstützung von Methoden der Modellbildung und Simulation im Einsatzkontext des betrieblichen Umweltschutzes - Konzeption und prototypische Entwicklung eines Stoffstromsimulators zur Integration einer stoffstromorientierten Perspektive in die auf-tragsbezogene Simulationssicht*, Hamburg, Deutschland
- McDonough, W., Braungart, M. Anastas, P. T., Zimmerman, J. B. (2003): *Cradle-to-Cradle Design*, Environmental Science & Technology, December (2003), pp. 435-441
- McElroy, M. W., Jorna, J. R., van Engelen, J. (2008): Sustainability Quotients and the Social Footprint, in: *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, Vol. 15, Issue 4 (2008), pp. 223-234, John Wiley and Sons Ltd and The European Research Press Ltd, and Published online in Wiley InterScience, VT, United States of America, ISSN (print): 1535-3958, DOI: 10.1002/csr.164
- McKenzie, S. (2008): *Social Sustainability: Towards some definitions*, in: Hawke Research Institute Working Paper Series, No. 27, Stephen McKenzie, Magil, Australia
- McPhee, J., Yeh, W. W.-G. (2004): Multiobjective Optimization for Sustainable Groundwater Management in Semiarid Regions, in: *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 130, Issue 6 (2004), pp. 490-497, ASCE, Los Angeles, United States of America, ISSN (print): 0733-9496, ISSN (online): 1943-5452, DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9496(2004)130:6(490), DOI retrieved on: 02.02.14
- Meadows, D. (2010): *Die Grenzen des Wachstums - Wie wir sie mit Systemen erkennen und überwinden können*, Sustainability Institute, neu bearbeitet von Diana Wright, oekom Verlag, München, ISBN (print): 978-3-86581-199-8
- Meadows, D., Randers, J., Meadows, D. (2012): *Grenzen des Wachstums das 30-Jahre-Update - Signal zum Kurswechsel*, 4. Auflage, Hirzel Verlag, Stuttgart, Deutschland, ISBN: 978-3-7776-2228-6, das englische Original ist erschienen 2004 unter dem Titel *Limits to Growth - The 30-Year Update* bei Chelsea Green Publishing Company, White River Junction, Vermont, USA
- Mebratu, D. (1998): Sustainability and Sustainable Development: Historical and Conceptual Review, in: *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 18, Issue 6 (1998), pp. 493-520, Elsevier Science Inc., Lund, Sweden, ISSN (print): 0195-9255, DOI: 10.1016/S0195-9255(98)00019-5

- Mehra, A., Kilduff, M., Brass, D. J. (2001): The Social Networks of High and Low Self-Monitors: Implications for Workplace Performance, in: *Administrative Science Quarterly*, Vol. 46 (2001), pp. 121-146, by Cornell University, Cincinnatti, OH/Lexington, KY, United States of America, ISSN (print): 4601-0121, ISSN (online): 0001-8392
- Meier, H., Völker, O., Funke, B. (2011): Industrial Product-Service Systems (IP2) - Paradigm shift by mutually determined products and services, in: *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 52, Issue 9 (2011), pp. 1175-1191, Springer-Verlag London Limited, Bochum, Germany, DOI: 10.1007/s00170-010-2764-6, DOI retrieved on: 25.10.13
- Melke, A. (2009): Ökonomie versus Ökologie in der Immobilienwirtschaft: Ein systemtheoretischer Erklärungsansatz, in: Rottke, N. B., Landgraf, Daniel (2009): *Ökonomie versus Ökologie – Nachhaltigkeit in der Immobilienwirtschaft?*, 1. Auflage, Immobilien Manger Verlag, Köln, Deutschland, ISBN (print): 978-3-89984-199-2, Kapitel C 1, S. 275-285
- Meuleman, L. (2013): Cultural Diversity and Sustainability, in: Meulemann, Louis (Ed.) (2013) *Transgovernance - Advancing Sustainability Governance*, pp. 37-81, The Editor(s) and the Author(s), Publisher: Springer Berlin Heidelberg, Brussel, Belgium, ISBN (print): 978-3-642-28008-5, ISBN (online): 978-3-642-28009-2, DOI: 10.1007/978-3-642-28009-2_2, DOI retrieved on: 03.12.13
- Michelsen, G. (2008): Grundlagen einer nachhaltigen Entwicklung, unveröffentlichter Studienbrief des MBA Sustainability Management, Universität Lüneburg, CSM, zitiert aus: Dubielzig, F. (2009): *Sozio Controlling in Unternehmen*, Das Management erfolgsrelevanter sozialgesellschaftlicher Themen in der Praxis, Lüneburg, Germany
- Miciardi, R., Paolucci, M., Robba, M., Sacile, R. (2008): Multi-objective optimization of solid waste flows: Environmentally sustainable strategies for municipalities, in: *Waste Management*, Vol. 28, Issue 11 (2008), pp. 2202-2212, Elsevier Ltd., Genoa/Savona, Italy, ISSN (print): 0956-053X, DOI: 10.1016/j.wasman.2007.10.003, DOI retrieved on: 02.02.14
- Mihelcic, J. R., Crittenden, J. C., Small, M. J., Shonnard, D. R., Hokanson, D. R., Zhang, Q., Chen, H., Sorby, S. A., James, V. U., Sutherland, J. W., Schnoor, J. L. (2003): Sustainability Science and Engineering: The Emergence of a New Metadiscipline, in: *Environmental Science and Technology*, Vol. 37 (2003), pp. 5314-5324, American Chemical Society, Tempe, AZ/various, United States of America
- Miller, G., Pawloski, J., Standridge, C. (2010): A case study of lean, sustainable manufacturing, in: *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, Vol. 3, Issue 1 (2010), pp. 11-32, *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, Allendale, MI, United States of America, ISSN (print): 2013-8423, ISSN (online): 2013-0953, DOI: 10.3926/jiem.2010.v3n1.p11-32, DOI retrieved on: 01.02.14
- Mintzberg, H. (1983): The Case for Corporate Social Responsibility, in: *The Journal of Business Strategy*, Vol. 4, Issue 2 (1983), pp. 3-15, MCB UP Ltd, Montreal, Canada, ISSN (print): 0275-6668, DOI: 10.1108/eb039015
- Mishra, S., Suar, D. (2010): Does Corporate Social Responsibility Influence Firm Performance of Indian Companies?, in: *Journal of Business Ethics*, Vol. 98 (2010), pp. 571-602, Springer, Kharagpur, Inbdia, ISSN (print): 0167-4544, DOI: 10.1007/s10551-010-0441-1, DOI retrieved on: 24.11.13
- Moe, T., Alfsen, K. H., Greaker, M. (2013): Sustaining Welfare for Future generations: A Review Note on the Capital Approach to the Measurement of Sustainable Development, in: *Challenges in Sustainability*, Vol. 1, Issue 1 (2013), pp. 16-26, Oslo, Norway, DOI: 10.12924/cis2013.01010016, DOI retrieved on: 14.10.13
- Mohr, G., Semmer, N. K. (2002): Arbeit und Gesundheit - Kontroversen zu Person und Situation, in: *Psychologische Rundschau*, Band 53, Heft 2 (2002), S. 77-84, Hogrefe-Verlag, Göttingen, Deutschland, ISSN (print): 0033-3042, ISSN (online): 2190-6238, DOI: 10.1026/0033-3042.53.2.77
- Möller, A. (1994): Stoffstromnetze, in: Hilty, L. M., Jaeschke, A., Page, B., Schwabl, A. (Hrsg.) (1994): *Informatik für den Umweltschutz - 8. Symposium, Hamburg 1994, Band II: Anwendungen für Unternehmen und Ausbildung*, Marburg, Metropolis-Verlag, ISBN 3-89518-017-3 (für Band 1 und 2 im Januar 1998)
- Möller, A. (2000): Grundlagen stoffstrombasierter betrieblicher Umweltinformationssysteme, Dissertation an der Universität Hamburg, Projekt Verlag, Hamburg/Bochum, Deutschland/Vereinigte Staaten von Amerika, ISBN (print): 978-3-897-33052-0
- Möller, A. (2009): Weiterentwicklung der Stoffstromanalyse-Ansätze, (Kapitel 3) in: Schmidt, M., Lambrecht, H., Möller, A. (Hrsg.) (2009): *Stoffstrombasierte Optimierung - Wissenschaftliche und methodische Grundlagen sowie softwaretechnische Umsetzung*, S. 59-66, Verlagshaus Monsenstein und Vannerdat OHG Münster, ISBN (print): 978-3-86991-016-1
- Möller, A. (2010): Software-Unterstützung für Routine im betrieblichen Umweltschutz, in: Greve, K., Cremers, A. B. (eds.) (2010): *Integration of Environmental Information in Europe - Proceedings of the 24th International Conference on Informatics for Environmental Protection in Cooperation with InterGeo2010*, Cologne Bonn, 2010, S. 375-382, 1. Auflage, Shaker Verlag, Köln/Bonn, Deutschland, ISBN (print): 978-3-8322-9458-8
- Möller, A., Rolf, A., Page, B., Wohlgemuth, V. (2001): Foundations and Applications of Computer Based Material Flow Networks for Environmental Management, in: C. Rautenstrauch; S. Patig (eds.) *Environmental Information Systems in Industry und Public Administration*, pp. 379-396, Hershey, PA, United States of America

- Moratis, L. (2016): Out of the ordinary? Appraising ISO 26000's CSR definition, in: *International Journal of Law and Management*, Vol. 58, Issue 1, pp.26-47, ISSN: 1754-243X, DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/IJLMA-12-2014-0064>
- Morik, K., Bhaduri, K., Kargupta, H. (2012): Introduction to data mining for sustainability, in: *Data Mining and Knowledge Discovery*, Vol. 24, Issue 2 (2012), pp. 311-324, The Author(s) (Kluwer Academic Publishers Hingham, MA, United States of America), Dortmund/Moffett Field, CA/Baltimore, MD, Germany/United States of America, DOI: 10.1007/s10618-011-0239-5, DOI retrieved on: 27.11.13
- Morioka, T., Saito, O., Yabar, H. (2006): The pathway to a sustainable industrial society – initiative of the Research Institute for Sustainability Science (RISS) at Osaka University, in: *Journal of Sustainability Science*, Vol. 1 (2006), pp. 65-82, Integrated Research System for Sustainability Science and Springer Verlag, Osaka, Japan, DOI: 10.1007/s11625-006-0008-3, DOI retrieved on: 27.11.13
- Morssy, A. (2012): Green Growth, Innovation and Sustainable Development, in: *International Journal of Environment and Sustainability*, Vol. 1 (2012), pp. 38-52, DOI retrieved on: 14.10.13
- Mortensen, R. A., Smith, J. E., Cavanagh (1989): The Importance of Ethics to Job Performance: An Empirical Investigation of Managers' Perceptions, in: *Journal of Business Ethics*, Vol. 8 (1989), pp. 253-260, 1989 Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands, Detroit, United States of America
- Moser, M. R. (1986): A Framework for Analyzing Corporate Social Responsibility, in: *Journal of Business Ethics*, Vol. 5 (1986), pp. 69-72, 1986 by D. Reidel Publishing Company., Worcester, MA, United States of America
- Mühlstedt, J. (2012): Entwicklung eines Modells dynamisch-muskulärer Arbeitsbeanspruchungen auf Basis digitaler Menschmodelle, Ph.D. Thesis, Universitätsverlag Chemnitz, Deutschland, ISBN (print): 978-3-941003-62-0
- Mühlstedt, J., Kaußler, H., Spanner-Ulmer, B. (2008): Programme in Menschengestalt: digitale Menschmodelle für CAx- und PLM-Systeme, in: *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, Heft 2 (2008), S. 79-86, ISSN: 0340-2444
- Müller, C., Koç, E., Mouelhi, M., Özgür, Ç., Noche, B. (2013): Einsatz der Simulation zur Evaluation von Personaleinsatzplanungsergebnissen, in: Dangelmaier, W., Laroque, C., Klaas, A. (Hrsg.) (2013): *Simulation in Produktion und Logistik 2013*, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 316, Paderborn, zugleich Tagungsband der ASIM-Fachtagung *Simulation in Produktion und Logistik*, Paderborn, 09.-11. Oktober 2013, siehe auch ASIM-Mitteilung Nr. 147, S. 325-336, 1. Auflage, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland, ISBN (print): 978-3-942647-35-9
- Müller, M. (2013): Entwicklung einer Methode zur ökonomischen und ökologischen Optimierung von Produktionsprozessen mittels Materialflussanalyse (MFA), Dissertation an der Technischen Universität Wien, Technische Universität Wien, Wien, Österreich, zu finden auch unter: http://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_218015.pdf, heruntergeladen am: 01.04.2014
- Müller-Schoppen, E., Kesper, B. (2011): *Management-Wissen - kompakt*, 1. Auflage, BOD GmbH Verlag, ISBN: 978-3-83702-557-6
- Mullins, L. J. (2007): *Management and Organizational Behaviour - Chapter 2 - Approaches to Organisation and Management*, 8th edition, The Author / Financial Times/ Prentice Hall, Portsmouth, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, ISBN (print): 978-0-27370-888-9
- Munir, F., Yarker, J., Haslam, C., Kazi, A., Cooper, L., Mackay, C., Myron, R. (2009): *Returning to work - The role of depression*, The Mental Health Foundation, London/Glasgow, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland/Scotland, ISBN (print): 978-1-906162-31-3
- Nahapiet, J., Ghoshal, S. (1998): Social Capital, Intellectual Capital and the Organizational Advantage, in: *Academy of Management Review*, Vol. 24, Issue 2 (1998), pp. 242-266, Oxford/London, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland
- Naylor, T. H., Balintfy, J. L., Burdick, D. S., Chu, K. (1966): *Computer Simulation Techniques*, John Wiley, New York, ISBN (print): 978-0471630609, zitiert in: Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., Nicol, D. M. (2005): *Discrete-Event Simulation*, 4th edition, Prentice Hall, ISBN (print): 978-0-13-088702-3
- Nef, R. (1998): Die soziale Verantwortung der Wirtschaft gegenüber dem Staat, *Reflexion* Nr. 40, 1998, S. 9 ff.
- Ness, B. (2013): Sustainability Science: Progress Made and Directions Forward, in: *Challenges in Sustainability*, Vol. 1, Issue 1 (2013), pp. 27-28, Lund, Sweden, DOI: 10.12924/cis2013.01010027, DOI retrieved on: 14.10.13
- Ness, B., Urbel-Piirsalu, E., Anderberg, S., Olsson, L. (2006): Categorising tools for sustainability assessment, in: *Ecological Economics*, Vol. 60, Issue 3 (2006), pp. 498-508, Elsevier B.V., Lund/Tallinn/Copenhagen, Sweden/Estonia/Denmark, ISSN (print): 0921-8009, DOI: 10.1016/j.ecolecon.2006.07.023
- Neto, J. Q. F., Bloemhof-Ruwaard, J. M., van Nunen, J. A. E. E., van Heck, H. W. G. M. (2008): Designing and Evaluating Sustainable Logistics Networks, in: *International journal of production economics*, Vol. 111 (2008), pp. 195-208, Elsevier, Amsterdam/Rotterdam, The Netherlands, ISSN (print): 0925-5273
- Neugebauer, S., Fischer, D., Bach, V., Finkbeiner, M. (2014): Social indicators for meat production – addressing workers, local communities, consumers and animals, in: Schenck, R., Huizenga, D. (eds.), 2014, *Proceedings of the 9th*

- International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2014), 8-10 October 2014, San Francisco, USA, ACLCA, Vashon, WA, USA, pp. 895-905, ISBN: 978-0-9882145-7-6
- Neumayer, E. (1999): Global Warming – discounting is not the Issue but Substitutability is, *Energy Policy*, Vol. 27. (1999), Issue 1, pp. 33–43
- Neumayer, E. (2004): Sustainability and Well-being Indicators, Research Paper No. 2004/XX, UNU (United Nations University), WIDER (World Institute for Development Economics Research), ISSN 1810-2611, also reprinted in Neumayer, E. (2007): Sustainability and Well-being Indicators, in: McGillivray, M. (2007): *Human Well-Being - Concept and Measurement*, Part of the series *Studies in Development Economics and Policy*, pp. 193-213, ISBN (print): 978-1-349-28183-1, ISBN (online): 978-0-230-62560-0, DOI: 10.1057/9780230625600_8
- Neumayer, E. (2010): Weak versus strong sustainability: Exploring the Limits of Two Opposing Paradigms, 3rd (revised) edition, Cheltenham, UK, Edward Elgar Publishing, ISBN: 978-1848448735
- Nord, T. (2006): Corporate Social Responsibility in the Hotel Industry: A Cross Cultural Perspective, Masterthesis at the Stockholm University, Centre for Transdisciplinary Environmental Research - Sustainable Enterprising, Masterthesis, Stockholm University, Centre for Transdisciplinary Environmental Research - Sustainable Enterprising, Stockholm, Sweden
- Norman, W., MacDonald, C. (2004): Getting to the Bottom of “Triple Bottom Line”, in: *Business Ethics Quarterly*, Vol. 14, Issue 02 (April 2004), pp. 243-262, Society for Business Ethics, DOI: <http://dx.doi.org/10.5840/beq200414211>
- Norton, M., Aikawa, T. (2012): Stakeholder Engagement in Developing a Sustainable Biomass Policy for Japan, in: *International Journal of Environment and Sustainability*, Vol. 1 (2012), pp. 1-17, Sendai/Tokyo, Japan, DOI retrieved on: 14.10.13
- Nutzinger, H. G., Radke, V. (1995): Das Konzept der nachhaltigen Wirtschaftsweise: Historische, theoretische und politische Aspekte, in: Nutzinger, H.G. (Hrsg.), *Nachhaltige Wirtschaftsweise und Energieversorgung: Konzepte, Bedingungen, Ansatzpunkte*, Marburg, S. 13–49
- Oates, M. R., Wright, A., Greenough, R., Shao, L. (2011): A new Modelling Approach which combines Energy Flows in Manufacturing with those in a Factory Building, in: *Building Simulation 2011 - Proceedings of the 12th Conference of International Building Performance Simulation Association*, Sydney, 14-16 Nov, pp. 223-230, Sydney, Australia
- Obasan Kehinde, A. (2011): Impact of Job Satisfaction on Absenteeism: A Correlative Study, in: *European Journal of Humanities and Social Sciences*, Vol. 1 (2011), pp. 25-49, JournalsBank® Publishing Inc., Ago/Iwoye, Ogun State, Nigeria, ISSN (print): 2220-9425
- Odeh, K. (2013): Framework for assessing Environmental, Social and Economic Sustainability of ICT Organizations, Ph.D. Thesis, George Mason University Fairfax, VA, USA, ISBN (print): 978-1-3032-7592-0
- OECD, (Organization for Economic Cooperation and Development) (2008): *Measuring material flows and resource productivity*, OECD, Paris, France
- OECD, (Organization for Economic Co-Operation and Development) (2009): *Sustainable Manufacturing AND Eco-Innovation - Framework, Practices and Measurement - Synthesis Report*, OECD, Paris, France
- Oghojafor, B. E. A., Ladipo, P. K. A., Nwagwu, K. O. (2012): An empirical determination of consumers' reaction to nutritional labeling of pre-packaged food products in Lagos, Nigeria, in: *International Journal of Development and Sustainability*, Vol. 1 (2012), pp. 171-185, Lagos, Nigeria, DOI retrieved on: 14.10.13
- Omann, I., Spangenberg, J. H. (2002): Assessing Social Sustainability - The Social Dimension of Sustainability in a Socio-Economic Scenario, in: *Proceedings of the 7th Biennial Conference of the International Society for Ecological Economics*, Sousse, Tunisia, Wien/Köln/Sousse, Austria/Germany/Tunisia
- Oppolzer, A. (2010): Psychische Belastungsrisiken aus Sicht der Arbeitswissenschaft und Ansätze für die Prävention, in: Badura, B., Schröder, H., Klose, J., Macco, K. (Hrsg.) (2010 (a)): *Fehlzeiten-Report 2009 - Arbeit und Psyche: Belastungen reduzieren - Wohlbefinden fördern*, S. 13-22, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN (print): 978-3-642-01077-4, ISBN (online): 978-3-642-01078-1, DOI: 10.1007/978-3-642-01078-1
- ORF (ORF.at) (2015): Weltbank mit neuen Öko- und Sozialstandards, Internet-Artikel vom 05.08.2015, im Internet zu finden unter: <http://orf.at/stories/2292620/>, abgerufen am 08.08.2015
- Ormel, J., Lindenberg, S., Steverink, N., Vonkorff, M. (1997): Quality of Life and Social Production Functions: A Framework for understanding Health Effects, in: *Social Science & Medicine*, Vol. 45, Issue 7 (1997), pp. 1051-1063, Elsevier Science Ltd, Seattle, WA, United States of America, ISSN (print): 0277-9536, DOI: 10.1016/S0277-9536(97)00032-4
- Oti, A. H., Tizani, W. (2012): A Sustainability Extension of Building Information Modelling for Conceptual Steel Design, in: *Proceedings of the CIB W78 2012: 29th International Conference –Beirut, Lebanon*, 17-19 October, Beirut, Lebanon
- Paech, N. (2013): *Befreiung vom Überfluss - Auf dem Weg in die Postwachstumsökonomie*, 5. Auflage, oekom Verlag, München, München/Ulm/Leipzig, Deutschland, ISBN (print): 978-3-86581-181-3

- Page, B. (1991): *Diskrete Simulation. Eine Einführung mit Modula-2*, 1. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, u.a., Deutschland, ISBN (print): 978-3-540-54421-0, ISBN (online): 978-3-642-76862-0, ISSN (print): 0937-7433, DOI: 10.1007/978-3-642-76862-0
- Page, B., Wohlgemuth, V. (2004): *Linking Economic Optimisation and Simulation Models to Environmental Material Flow Networks for Ecoefficiency*, in: L.M. Hilty, E.K. Seifert, R. Treibert (eds.): *Information Systems for Sustainable Development*, pp. 94-108, Hershey, PA, United States of America, ISBN (print): 1-59140-342-1, ISBN (online): 1-59140-344-8
- Page, B., Wohlgemuth, V., Raspe, M. (2008): *Material Flow Analysis for Eco-Efficiency with Material Flow Networks – Concepts and Case Study*, in: Sánchez-Marrè, et.al. (eds.) (2008): *Proceedings of the iEMSs Fourth Biennial Meeting: International Congress on Environmental Modelling and Software (iEMSs 2008)*, pp. 1620-1627, Barcelona, Spain, ISBN (print): 978-84-7653-074-0
- Page, B., Kreutzer, W. (2005): *The Java Simulation Handbook: Simulating Discrete Event System with UML and Java*, 1st edition, Shaker Verlag, Achen, Germany, ISBN (print): 978-3-8322-3771-4, ISSN (print): 0945-0807
- Page, B., Lechler, T., Claasen, S. (2000): *Objektorientierte Simulation in Java mit dem Framework Desmo-J*, 1. Auflage, Libri/Books on Demand GmbH, Hamburg, Deutschland/Vereinigte Staaten von Amerika, ISBN (print): 978-3-8311-0163-4
- Page, B., Rautenstrauch, C. (2001): *Environmental Informatics – Methods, Tools and Applications in Environmental Information Processing*, in: C. Rautenstrauch; S. Patig (eds.) *Environmental Information Systems in Industry und Public Administration*, pp. 2-11, Hershey, PA, United States of America, ISBN (print): 1-930708-02-5
- Paju, M., Heilala, J., Hentula, M., Heikkila, A., Johansson, B., Leong, S., Lyons, K. (2010): *Framework and Indicators for a Sustainable Manufacturing Mapping Technology*, in: Johansson, B., Jain, S., Montoya-Torres, J., Hagan, J., Yücesan, E. (eds.) (2010): *WSC' 10 - Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, pp. 3411 - 3422, 1st edition, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Espo/Gothenburg/Gaithersburg/Baltimore, MD, Finland/Sweden/United States of America, ISBN (print): 978-1-4244-9866-6, ISSN (print): 0891-7736, DOI: 10.1109/WSC.2010.5679031, Data from Conference Proceedings, Data saved: 13.02.2011
- Paridon, H., Bindzius, F., Windemuth, D., Hanßen-Pannhausen, R., Boege, K., Schmidt, N., Bochmann, F. (2004): *Ausmaß, Stellenwert und betriebliche Relevanz psychischer Belastungen bei der Arbeit in: IGA-Report 5 - Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften - HVBG, Berufsgenossenschaftliches Institut Arbeit und Gesundheit - BGAG und BKK Bundesverband*, 1. Auflage, HVBG und BKK BV, Dresden, Deutschland
- Paulus, A. (2005): *Ökonomische und ökologische Effekte der Nutzung des Werkstoffs Aluminium - Ein Beitrag zur Berücksichtigung der Nutzungsphase in der modellgestützten Stoffstromanalyse*, Ph.D. Thesis, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Hilden, 2005
- Pearce, D., Atkinson, G. (1998): *The Concept of Sustainable Development*, in: *Swiss Journal of Economics and Statistics*, Vol. 134, No. 3, pp. 251–269
- Pelenc, J., Ballet, J. (2015): *Strong sustainability, critical natural capital and the capability approach*, in: *Ecological Economics*, Elsevier, Vol. 112 (April 2015), pp. 36–44, ISSN (print): 0921-8009, current URL of the article in the journal: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800915000452>
- Pelenc, J., Ballet, J., Dedeurwaedere, T. (2015): *Weak Sustainability versus Strong Sustainability*, Brief for GSDR 2015, published online under <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/6569122-Pelenc-Weak%20Sustainability%20versus%20Strong%20Sustainability.pdf>, accessed 09.12.2015
- Pelletier, N., Ustaoglu, E., Benoît, C., Norris, G. (2013): *Social Sustainability in Trade and Development Policy*, European Union, Ispra, Italy and Luxembourg (Publications Office of the European Union), ISBN (online): 978-92-79-35408-3, ISSN (online): 1831-9424, DOI: 10.2788/659
- Pennekamp, J. (2011): *Die Bessermacher - Rechenschaft - Kann man Unternehmenserfolg statt in Geld im Beitrag zum Gemeinwohl messen? Man kann. Und immer mehr Betriebe machen mit*, in: *der Freitag*, Nr. 38, 22. September 2011, der Freitag Mediengesellschaft mbh & Co. KG, Hamburg/Berlin, Deutschland, zu finden auch unter: <http://www.freitag.de/autoren/der-freitag/die-bessermacher>, Artikel heruntergeladen am: 12.04.2014
- Perez, J., de Looze, M. P., Bosch, T. Neumann, W. P. (2014): *Discrete event simulation as an ergonomic tool to predict workload exposures during systems design*, in: *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 44 (2014), pp. 298-306, Elsevier, ISSN: 0169-8141, DOI: 10.1016/j.ergon.2013.04.007
- Perez-Carmona, A. (2013): *Growth: A Discussion of the Margins of Economic and Ecological Thought*, in: Meulemann, Louis (Ed.) (2013) *Transgovernance - Advancing Sustainability Governance*, pp. 83-161, The Editor(s) and the Author(s), Publisher: Springer Berlin Heidelberg, Heidelberg, Germany, ISBN (print): 978-3-642-28008-5, ISBN (online): 978-3-642-28009-2, DOI: 10.1007/978-3-642-28009-2_3, DOI retrieved on: 18.11.13
- Petrova, S. L. (2012): *Social Impacts of Mining: A Western Australian Community Case Study*, Ph.D. Thesis (Doctor of Philosophy) at the Curtin University, Perth, Western Australia, Australia

- Petzsch, H. (2003): Strategische Planung der Nachhaltigkeit auf Forstbetriebsebene. Beitrag der Waldwachstumsforschung, in: Forstwissenschaftliches Centralblatt, Ausgabe 122 (2003), S. 231-249, Blackwell Verlag, Berlin, Berlin, Deutschland, ISSN (print): 0015-8003
- Pezzey, J. (1992): Sustainability: An Interdisciplinary Guide, in: Environmental Values, Vol. 1, Issue 4 (1992), pp. 321-362, The White Horse Press, Cambridge, UK, Bristol, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, ISSN (print): 0963-2719, ISSN (online): 1752-7015, DOI: 10.3197/096327192776680034, DOI retrieved on: 16.09.13
- Pezzey, J. C. V., Toman, M. A. (2002 (a)): The Economics of Sustainability: A Review of Journal Articles, in: Resources for the Future Discussion Paper 02-03 (January 2002), Washington, DC, USA, also in: Pezzey, J. and Toman, M. (eds.), The Economics of Sustainability, Ashgate, Aldershot, UK
- Pezzey, J. C. V., Toman, M. A. (2002 (b)): Progress and Problems in the Economics of Sustainability, in: Tietenberg, T., Folmer, H. (eds.) (2002): International Yearbook of Environmental and Resource Economics 2002/2003, Cheltenham and Northampton: Edward Elgar, pp. 165-232
- Pfaffenbichler, P. C., Emberger, G. (2004): Die Bewertung der Nachhaltigkeit innovativer städtebaulicher Maßnahmen mit dem Simulationsmodell MARS, Wien/Leeds, Schweiz
- Phillips, J. (2012): Using a mathematical model to assess the sustainability of proposed bauxite mining in Andhra Pradesh, India from a quantitative-based environmental impact assessment, in: Environmental Earth Sciences, Vol. 67, Issue 6 (2012), pp. 1587-1603, Springer-Verlag, Cornwall, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, ISSN (print): 1866-6280, ISSN (online): 1866-6299, DOI: 10.1007/s12665-012-1601-7, DOI retrieved on: 30.09.13
- Picot, A., Reichwald, R., Wigand, R. T. (1998): Die grenzenlose Unternehmung - Information, Organisation und Management, 3. Auflage, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GmbH, Wiesbaden, 1998, ISBN (print): 978-3-322-93131-3, ISBN (online): 978-3-322-93130-6, DOI: 10.1007/978-3-322-93130-6
- Pimpisit, D., Page, B., Sphe, T., Wohlgemuth, V. (2007): An Environmental Management Information System for Eco-Efficiency of Agro-Industries in Thailand based on Material Flow Networks, in: Hryniewicz, O., Studzinski, J., Romaniuk, M. (eds.) (2007): Environmental Informatics and Systems Research - Proceedings of the 21st International Conference on Informatics for Environmental Protection (EnviroInfo), Warsaw, 2007, pp. 219-227, 1st edition, Shaker Verlag, Warsaw, Poland, ISBN (print): 978-3-8322-6397-3, ISSN (print): 1616-0886
- Pinzler, P. (2011): Immer mehr ist nicht genug. Vom Wachstumswahn zum Bruttosozialglück, 1. Auflage, Pantheon Verlag, München, Deutschland, ISBN (print): 978-3-570-55163-9
- Porter, M. E. (1988): The Competitive Advantage - Creating and Sustaining Superior Performance, 1st edition (June 1, 1998) Ney York Free Press, (the original 1st edition was printed 1985, the reprint in 1988 has a new introduction), ISBN: 978-0684841465
- Porter, M. E., Kramer, M. R. (2006): The Link Between Competitive Advantage and Coporate Social Responsibility, in: Harvard Business Review, Vol. 84, Issue 12 (2006), pp. 78-92, Cambridge, MA, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland/Germany
- Portes, A. (1998): Social Capital: Its Origins and Applications in Modern Sociology, in: Ann. Rev. Social., Vol. 24 (1998), pp. 1-24, Princeton, NJ, United States of America
- Potchanasin, C. (2008): Simulation of the Sustainability of Farming Systems in Northern Thailand, Ph.D. Thesis at the University of Hohenheim, Hohenheim, Germany/Thailand, ISSN (print): 1862-4235
- Pötter, B. (2008): Tatort Klimawandel: Täter, Opfer und Profiteure einer globalen Revolution, 1. Auflage, oekom Verlag, München, Deutschland, ISBN (print): 978-3-865-81121-9
- Pretty, J. N. (1994): Alternative Systems of Inquiry for a Sustainable Agriculture, in: IDS Bulletin, Vol. 25, Issue 2 (April 1994), S. 37-49, DOI: 10.1111/j.1759-5436.1994.mp25002004.x (since 22 May 2009)
- Pretty, J. N. (1995): Participatory learning for sustainable agriculture, in: World Development, Vol. 23, Issue 8 (1995), pp. 1247-1263, Elsevier Ltd., London, United Kingdom, ISSN (print): 0305-750X, DOI: 10.1016/0305-750X(95)00046-F
- Pritsker, A. A. B. (1998): Principles of Simulation Modeling, in: Banks, J. (ed.) (1998): Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice, John Wiley, New York, USA, ISBN: 978-0-471-13403-9
- Pufé, I. (2012): Nachhaltigkeit, UVK Verlagsgesellschaft mbh, Konstanz und München, Konstanz/München/Stuttgart/Ulm, Deutschland, ISBN (print): 978-3-8252-3667-0
- Pufé, I. (2012): Nachhaltigkeitsmanagement, Hanser Verlag, Wolfsburg/München/Krugzell, Deutschland, ISBN (print): 978-3-446-43020-4, ISBN (online): 978-3-446-43154-4
- Pušavec, F., Stoic, A., Kopač, J. (2010): Sustainable Machining Process - Myth or Reality, in: Strojarstvo, Vol. 52, Issue 2 (2010), pp. 197-204, Ljubljana/Slavonski Brod, Slovenia/Croatia, ISSN (print): 0562-1887

- Putnam, R. D. (1995): Bowling Alone: America's Declining Social Capital, in: *Journal of Democracy*, Vol 6, Issue 1 (1995), pp. 65-78, DOI:10.1353/jod.1995.0002, also note, that a retake on the subject has been published under a similar name (*Bowling Alone: The Collapse and Revival of American Community*), in 2000 by Simon & Schuster, under ISBN (print): 0-7432-0304-6
- Rabe von Pappenheim, J. (2009): *Das Prinzip Verantwortung*, 1. Auflage, Gabler Verlag, GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, Deutschland, ISBN (print): 978-3-8349-1431-6
- Rabelo, L., Helal, M., Jones, A., Min, H.-S. (2005): Enterprise Simulation: A Hybrid System Approach, in: *International Journal Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 18, Issue 6 (2005), pp. 498-508, Taylor & Francis Group, Orlando/Gaithersburg, United States of America, DOI: 10.1080/09511920400030138, DOI retrieved on: 16.10.13
- Radermacher, F. J. (2013): Globalisierung und Gerechtigkeit – Einige Überlegungen zu einem schwierigen Thema, in: Moos, T., Radermacher, F. J., Gorka, E., Guise-Rübe, R. (2013): *Verantwortung und Gerechtigkeit im Zeitalter der Globalisierung: Mit einem Geleitwort von Eckhard Gorka und Ralph Guise-Rübe*, 1. Auflage, Olms Verlag, ISBN: 978-3487085326
- Radermacher, F. J., Beyers, B. (2011): *Welt mit Zukunft - Die ökosoziale Perspektive*, 2. Auflage, Murmann Verlag GmbH, Hamburg, ISBN (print): 978-3-86774-111-8
- Ramani, K., Ramanujan, D., Bernstein, W. Z., Zhao, F., Sutherland, J., Handwerker, C., Choi, J.-K., Kim, H., Thurston, D. (2010): Integrated Sustainable Life Cycle Design: A Review, in: *Journal of Mechanical Design*, Vol. 132, Issue 09 10 04 (2010), West Lafayette, IN/Upton, NY/ Urbana, IL, United States of America, DOI: 10.1115/1.4002308, DOI retrieved on: 17.10.13
- Ramsay, H., Scholarios, D., Harley, B. (2000): Employees and High-Performance Work Systems: Testing inside the Black Box, in: *British Journal of Industrial Relations*, Vol. 38 (2000), pp. 501-531, Blackwell Publishers Ltd/London School of Economics, Glasgow, Scotland/United Kingdom, ISSN (online): 0007-1080
- Rautenstrauch, C. (1999): *Betriebliche Umweltinformationssysteme*, 1. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Deutschland, ISBN (print): 978-3-540-66183-2, ISBN (online): 978-3-642-58494-7, ISSN (online): 0937-7433, DOI: 10.1007/978-3-642-58494-7
- Rawls, J. (1999): *A Theory of Justice*, Belknap Press revised edition (September 30, 1999), the 1st edition was published in 1971 by Harvard University Press, ISBN: 978-0674000780
- Reagans, R., Zuckermann, E. W. (2012): Network, Diversity, and Productivity: The Social Capital of Corporate R&D Teams, in: *Organization Science*, Vol. 12, Issue 4 (2012), pp. 502-517, INFORMS, Pittsburgh/Stanford, United States of America, ISSN (online): 1526-5455, DOI: 10.1287/orsc.12.4.502.10637
- Redman, C. L., Grove, J. M., Kuby, L. H. (2004): Integrating Social Science into the Long-Term Ecological Research (LTER) Network: Social Dimensions of Ecological Change and Ecological Dimensions of Social Change, in: *Ecosystems*, Vol. 7, Issue 2 (2004), pp. 161-171, Springer-Verlag, Tempe, AZ/South Burlington, VT, United States of America, ISBN (online): 1435-0629, ISSN (print): 1432-9840, DOI: 10.1007/s10021-003-0215-z
- Reed, M. S., Fraser, E. D. G., Dougill, A. J. (2006): An adaptive learning process for developing and applying sustainability indicators with local communities, in: *Ecological Economics*, Vol. 59, Issue 4 (2006), pp. 406-418, Elsevier B.V., Leeds, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, ISSN (print): 0921-8009, DOI: 10.1016/j.ecolecon.2005.11.008
- Reese, J., Urban, K.-P. (1999): Produktionsplanung mit Hilfe von lokalen Suchverfahren, in: *wisu - das wirtschaftsstudium*, Heft 3 (1999), pp. 318-324
- Reinhard, J., Faist Emmenegger, M., Widok, A. H., Wohlgemuth, V., Junquera, V. (2011): RSB Tool: A Light-Weight LCA Tool für the Assessment of Biofuels Sustainability, in: *Proceedings of the Winter Simulation Conference (WSC) 2011*, Phoenix, AZ, United States of America
- Reinhard, J., Mutel, C., Wernet, G., Zah, R., Hilty, L. M. (2016): Contribution-based prioritization of LCI database improvements: Method design, demonstration, and evaluation, in: *Environmental Modelling & Software*, ISSN: 1364-8152, in press
- Reinhard, J., Zah, R., Wohlgemuth, V., Jahr, P. (2013): Applying Life Cycle Assessment within Discrete Event Simulation: Practical Application of the Milan/EcoFactory Material Flow Simulator, in: Page, B., Fleischer, A. G., Göbel, J., Wohlgemuth, V. (eds.) (2013): *Proceedings of the 27 Conference on Environmental Informatics - Informatics for Environmental Protection, Sustainable Development and Risk Management (EnviroInfo)*, Sept. 2-4, 2013, pp. 532-542, 1st edition, Shaker Verlag, Hamburg, Germany, ISBN (print): 978-3-8440-1676-5, ISSN (print): 1616-0886
- Reinmann, K., Mielke, P. H. (2007): Grundlagen für die Modellierung betrieblicher Nachhaltigkeitsleistung, in: Wittman, J., Wohlgemuth, V. (Hrsg.) (2007): *Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften - Tagungsband des ASIM Workshops 2007*, S. 167-177, 1. Auflage, Shaker Verlag, Berlin, Deutschland, ISBN (print): 978-3-8322-6337-9
- Reisig, W. (2010): *Petrinetze - Modellierungstechnik, Analysemethoden, Fallstudien*, Vieweg + Teubner Verlag, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden, ISBN (print): 978-3-8348-1290-2, ISBN (online): 978-3-8348-9708-4, ISSN: 1615-5432, DOI: 10.1007/978-3-8348-9708-4

- Reitinger, C., Dumke, M., Barosevcic, M., Hillerbrand, R. (2011): A conceptual framework for impact assessment within SLCA, in: *International Journal of Life Cycle Assessment*, Vol. 16, Issue 4 (2011), pp. 380-388, Springer-Verlag, Aachen, Cambridge, Germany/United States of America, ISSN (print): 0948-3349, ISSN (online): 1614-7502, DOI: 10.1007/s11367-011-0265-y, DOI retrieved on: 16.09.13
- Reller, A., Holdinghausen, H. (2011): *Wir konsumieren uns zu Tode – Warum wir unseren Lebensstil ändern müssen, wenn wir überleben wollen*, 2. Auflage, Westend, Augsburg/Frankfurt am Main, Deutschland, ISBN (print): 978-3-938060-38-4
- Reynolds, M., Blackmore, C., Smith, M. J. (2009): *The Environmental Responsibility Reader*, 1st edition, Zed Books, London/New York, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland/United States of America, ISBN (print): 978-1-84813-401-0
- Richter, G. (2000): *Psychische Belastung und Beanspruchung. Stress, psychische Ermüdung, Monotonie, psychische Sättigung*, in: *Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse*, Band 116 (2000), Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, Deutschland, ISSN (print): 0720-1699
- Richter, G. (2010): *Toolbox Version 1.2 - Instrumente zur Erfassung psychischer Belastungen*, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund/Berlin/Dresden, Deutschland, ISBN (print): 978-3-88261-103-8
- Rifkin, J. (2009): *The Empathic Civilization: The Race to Global Consciousness in a World in Crisis*, 1. edition, TarcherPerigee, ISBN: 978-1585427659
- Rinne, U., Zimmermann, K. F. (2012): *Another economic miracle? The German labor market and the Great Recession*, in: *IZA Journal of Labor Policy*, Vol. 1 (2012), pp. 3-24, Springer Verlag, Bonn, Germany, DOI: 10.1186/2193-9004-1-3, DOI retrieved on: 18.11.13
- Robinson, J. (2003): *Squaring the circle? Some thoughts on the idea of sustainable development*, in: *Ecological Economics*, Vol. 48, Issue 4 (2003), pp. 369-384, Elsevier B.V., Vancouver, Canada, ISSN (print): 0921-8009, DOI: 10.1016/j.ecolecon.2003.10.017, DOI retrieved on: 20.02.2014
- Rock, J., Lasch, P., Suckow, F., Badeck, F. (2007): *Nachhaltigkeit von Biomassepotentialen in Kurzumtriebsplanungen unter Klimawandel*, Potsdam, Deutschland
- Rogall, H. (2000): *Von der globalen zur betrieblichen Leitidee der Nachhaltigkeit*, in: Dybe, G., Rogall, H. (Hrsg.) *Die ökonomische Säule der Nachhaltigkeit*, Berlin, S. 21–43
- Rogall, H. (2013): *Nachhaltige Ökonomie - Volkswirtschaftslehre für Sozialwissenschaftler - Einführung in eine zukunftsfähige Wirtschaftslehre*, 2. Auflage, Springer Fachmedien Wiesbaden, ISBN: 978-3-658-01979-2, DOI: 10.1007/978-3-658-01980-8_6
- Rogerson, R. J. (1995): *Environmental and health-related Quality of life: Conceptual and methodological similarities*, in: *Social Science & Medicine*, Vol. 41, Issue 10 (1995), pp. 1373 - 1382, Elsevier Ltd., Glasgow, Scotland, ISSN (print): 0277-9536, DOI: 10.1016/0277-9536(95)00122-N
- Rose, R. (1999): *What does Social Capital add to Individual Welfare? An Empirical Analysis of Russia*, in: *Social Capital Working Paper Series, Social Capital Initiative Working Paper No. 15*, The World Bank, Social Development Family, Environmentally and Socially Sustainable Development Network, October 1999, Washington, DC, United States of America
- Roseland, M. (2000): *Sustainable community development: integrating environmental, economic, and social objectives*, in: *Progress in Planning*, Vol. 54, Issue 2 (2000), pp. 73-132, Elsevier Science Ltd., Burnaby, Canada, ISSN (print): 0305-9006, DOI: 10.1016/S0305-9006(00)00003-9
- Rosén, K., Lindner, M., Nabuurs, G.-J., Jakubowicz, P. P. (2012): *Challenges in implementing sustainability impact assessment of forest wood chains*, in: *European Journal of Forest Research*, Vol. 131 (2012), pp. 1-5, Springer-Verlag, Uppsala/Joensuu/Warszawa, Sweden/Finland/Poland, ISSN (print): 1612-4669, DOI: 10.1007/s10342-011-0571-8, DOI retrieved on: 27.11.13
- Rossing Feldman, T., Assaf, S. (1999): *Social Capital: Conceptual Frameworks and Empirical Evidence*, in: *Social Capital Working Paper Series, Social Capital Initiative Working Paper No. 5*, Washington, DC, United States of America
- Rottke, N. B., Landgraf, Daniel (2009): *Ökonomie versus Ökologie – Nachhaltigkeit in der Immobilienwirtschaft?*, 1. Auflage, Immobilien Manger Verlag, Köln, Deutschland, ISBN (print): 978-3-89984-199-2
- Rozlina, M. S., Awaluddin, M. S., Hamid, S. H. S. A., Norhayati, Z. (2012): *Perceptions of Ergonomics Importance at Workplace and Safety Culture amongst Safety & Health (SH) Practitioners in Malaysia*, in: *Proceedings of the World Congress on Engineering 2012 Vol. 1*, London, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, ISBN (print): 978-988-19251-3-8, ISSN (print): 2078-0958, ISSN (online): 2078-0966
- Rückert-John, J. (Hrsg.) (2013): *Soziale Innovation und Nachhaltigkeit*, 1. Auflage, Springer Fachmedien Wiesbaden, Berlin, Deutschland, ISBN (print): 978-3-531-18182-0, ISBN (online): 978-3-531-18974-1, ISSN (print): 2193-6625, ISSN (online): 2193-6633, DOI: 10.1007/978-3-531-18974-1, DOI retrieved on: 41572

- Rudow, B. (2014): Die gesunde Arbeit: Psychische Belastungen, Arbeitsgestaltung und Arbeitsorganisation, 3. Auflage, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München, Deutschland, ISBN (print): 978-3-486-71949-9, ISBN (online): 978-3-486-85578-4
- Rudtsch, V., Gausemeier, J., Petersen, M. (2013): Multikriterielle Entscheidungsunterstützung für die Synthese von Herstellprozessen zur Fertigung funktional gradierter Bauteile, in: Dangelmaier, W., Laroque, C., Klaas, A. (Hrsg.) (2013): Simulation in Produktion und Logistik 2013, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 316, Paderborn, zugleich Tagungsband der ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik, Paderborn, 09.-11. Oktober 2013, siehe auch ASIM-Mitteilung Nr. 147, S. 469-479, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland, ISBN (print): 978-3-942647-35-9
- Russel, D. K., Farrington, P. A., Messimer, S. L., Swain, J. J. (1998): Incorporating Environmental Issues in a Filament Winding Composite Manufacturing Simulation, in: Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference (D.J. Medeiros, E.F. Watson, J.S. Carson and M.S. Manivannan, eds.), pp. 1023-1028, Huntsville, AL, United States of America
- Russo, F., Comi, A. (2010): A modelling system to simulate goods movements at an urban scale, in: Transportation, Vol. 37 (2010), pp. 987-1009, Springer Science + Business Media, LLC, Calabria/Rome, Italy, DOI: 10.1007/s11116-010-9276-y, DOI retrieved on: 25.10.13
- Saleem, R., Mahmood, A., Mahmood, A. (2010): Effect of Work Motivation on Job Satisfaction in Mobile Telecommunication Service Organizations of Pakistan, in: International Journal of Business and Management, Vol. 5 (2010), pp. 213-222, Islamabad, Pakistan, ISSN (print): 1833-3850, ISSN (online): 1833-8119
- Saltelli, A. (2007): Composite Indicators between Analysis and Advocacy, in: Social Indicators Research, Vol. 81, Issue 1 (2007), pp. 65-77, Springer Netherlands, Ispra, Italy, ISSN (print): 0303-8300, ISSN (online): 1573-0921, DOI: 10.1007/s11205-006-0024-9, DOI retrieved on: 14.03.2014
- Samman, E. (2007): Psychological and Subjective Wellbeing: A Proposal for Internationally comparable Indicators, in: Missing Dimensions of Poverty Data - Workshop, 29-30 May, 2007, Oxford, UK, Oxford, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland
- Sandu, T., Denz, N., Page, B. (2009): Model-Driven Software Development and Discrete Event Simulation - Concepts and Example, in: Automatika (50), 1-2, pp. 17-27
- Sauerbier, T. (1999): Theorie und Praxis von Simulationssystemen: eine Einführung für Ingenieure und Informatiker, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, 1999, ISBN (print): 3-528-03866-7, ISBN (online): 978-3-322-90773-8, DOI: 10.1007/978-3-322-90773-8
- Schader, C., Stolze, M. (2011): Bewertung der Nachhaltigkeit der biologischen Landwirtschaft der Schweiz durch Experten, in: Leithold, G.; Becker, K.; Brock, C.; Fischinger, S.; Spiegel, A.-K.; Spory, K.; Wilbois, K.-P., Williges, U. (Hrsg.) (2011): Es geht ums Ganze: Forschen im Dialog von Wissenschaft und Praxis - 2. Tagungsband der 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, S. 331-335, 1. Auflage, Dr. Köster Verlag, Berlin, Frick, Schweiz
- Schaltegger, S., & Sturm, A. (1990): Ökologische Rationalität: Ansatzpunkte zur Ausgestaltung von ökologieorientierten Managementinstrumenten, Die Unternehmung, Vol. 44 (4), S. 273-290.
- Schaltegger, S., Haller, B., Müller, A., Klewitz, J., Harms, D. (2009): Nachhaltigkeitsmanagement in der öffentlichen Verwaltung, 1. Auflage, Center for Sustainability Management (CSM), Lüneburg, Deutschland, ISBN (print): 3-935630-81-6
- Schaltegger, S., Herzig, C. (2008): Berichterstattung im Lichte der Herausforderungen unternehmerischer Nachhaltigkeit, in: Isenmann, R.; Gómez, J. M., Erich Schmidt Verlag GmbH & Co., Berlin, Deutschland, ISBN (print): 978-3-503-10005-7
- Schaltegger, S., Wagner, M. (2006): Integrative Management of Sustainability Performance, Measurement and Reporting, International Journal of Accounting, Auditing and Performance Evaluation, Vol. 3, No. 1, pp. 1-19
- Schaub, K. G., Storz, W., Landau, K. Nachhaltige Risikobeurteilung von Montageprozessen in der Automobilindustrie, in: Landau, K., Luczak, H. (2008): Ergonomie und Organisation in der Montage, 2. Auflage, Hanser Verlag, Aachen, Deutschland, ISBN (print): 978-3-446-21507-8, Kapitel 2.5, S. 148-177
- Schenk, T. A. (2010): Der Komplexität gerecht werden. Potenziale agentenbasierter Simulationen zur Evaluation kommunikativer Planungsprozesse, in: Raumforschung und Raumordnung (RUR), Band 68 (2010), S. 25-34, Springer-Verlag, Leipzig, Deutschland, ISSN (online): 0034-0111, DOI: 10.1007/s13147-009-0003-0, DOI retrieved on: 25.10.13
- Scherenberg, V. (2011): Nachhaltigkeit in der Gesundheitsvorsorge - Wie Krankenkassen Marketing und Prävention erfolgreich verbinden, Dissertation an der Universität Bremen, 1. Auflage, Gabler Verlag, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Bremen, Deutschland, ISBN (print): 978-3-8349-2869-6
- Schlegel, A., Stoldt, J., Putz, M. (2013): Erweiterte Integration energetischer Betrachtungen in der Materialflusssimulation, in: Dangelmaier, W., Laroque, C., Klaas, A. (Hrsg.) (2013): Simulation in Produktion und Logistik 2013, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 316, Paderborn, zugleich Tagungsband der ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik, Paderborn, 09.-11. Oktober 2013, siehe auch ASIM-Mitteilung Nr. 147, S. 187-196, 1.

- Auflage, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Chemnitz/Paderborn, Deutschland, ISBN (print): 978-3-942647-35-9
- Schlick, C. M. (2011): Ergonomie und Mensch-Maschine-Systeme (Arbeitswissenschaft II), Vorlesungsskript des Lehrstuhls und Instituts für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen, Stand/Version Sommersemester 2011
- Schluep, M., Müller, E., Hilty, L. M., Ott, D., Widmer, R., Böni, H. (2013): Insights from a decade of development cooperation in e-waste management, in: Hilty, L. M., Aebischer, B., Andersson, G., Lohmann, W. (eds.) (2013): ICT4S 2013 - Proceedings of the first International Conference on Information and Communication Technologies for Sustainability, ETH Zurich, February 14-16, 2013, pp. 45-49, Zurich, Switzerland, DOI: 10.3929/ethz-a-007337628, DOI retrieved on: 30.09.13
- Schlumpf, C., Pahl-Wostl, C., Schönborn, A., Jaeger, C. C., Imboden, D. (2001): An Information Tool for Citizens to Assess Impacts of Climate Change from a Regional Perspective, in: Climatic Change, Vol. 51 (2001), pp. 199-241, Luzern/Potsdam/Zurich, Switzerland/Germany
- Schmidt, B. (2013): Soziale Nachhaltigkeit bei der Lieferantenauswahl - Eine conjoint- und kausalanalytische ökonomische Untersuchung, Dissertation an der Universität Stuttgart, 1. Auflage, Springer Fachmedien Wiesbaden, Stuttgart, Deutschland, ISBN (print): 978-3-658-03506-8, ISBN (online): 978-3-658-03507-5, DOI: 10.1007/978-3-658-03507-5, DOI retrieved on: 25.10.13
- Schmidt, M., Lambrecht, H., Möller, A. (2007): Optimisation Approaches in Material Flow Models of Manufacturing Systems, in: Hryniewicz, O., Studzinski, J., Romaniuk, M. (eds.) (2007): Environmental Informatics and Systems Research - Proceedings of the 21st International Conference on Informatics for Environmental Protection (EnviroInfo), Warsaw, 2007, pp. 271-278, 1st edition, Shaker Verlag, Warszawa, Poland, ISBN (print): 978-3-8322-6397-3
- Schmidt, M., Lambrecht, H., Möller, A. (Hrsg.) (2009): Stoffstrombasierte Optimierung - Wissenschaftliche und methodische Grundlagen sowie softwaretechnische Umsetzung, Verlagshaus Monsenstein und Vannerdat OHG Münster, ISBN (print): 978-3-86991-016-1
- Schmidt, O. (2012): Von den Wurzeln der Nachhaltigkeit - Vor drei Jahrhunderten erfand die Forstwirtschaft das Prinzip der Nachhaltigkeit, in: Wald-Wissenschaft-Praxis, LWF aktuell, Nr. 87 (2012), S. 50-51, zu finden auch unter: <http://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/wissenstransfer/dateien/a87-von-den-wurzeln-der-nachhaltigkeit.pdf>
- Schmidt, W.-P., Europe, F. (2008): Developing a Product Sustainability Index (2008), pp. 115-126, OECD - OECD Publishing, Paris, France, ISBN (print): 978-92-64-04412-8
- Schmidt-Bleek, F. (2008): Nutzen wir die Erde richtig?: Von der Notwendigkeit einer neuen industriellen Revolution, 4. Auflage, Fischer Taschenbuch Verlag, Frankfurt, Deutschland, ISBN (print): 978-3596172757, ASIN: B00GM51PKQ
- Schneck, A., Haakh, F., Lang, U. (2004): Multikriterielle Optimierung der Grundwasserbewirtschaftung – dargestellt am Beispiel des Wassergewinnungsgebiets Donauried, in: WasserWirtschaft, Ausgabe 12/2004 (2004), S. 48-59, Springer Fachmedien Wiesbaden, Stuttgart, Deutschland
- Schneider, F., Kallis, G., Martinez-Alier, J. (2009): Crisis or opportunity? Economic degrowth for social equity and ecological sustainability. Introduction to this special issue, in: Journal of Cleaner Production, Vol. 18, Issue 6 (2009), pp. 511-518, Elsevier Ltd., Barcelona, Spain, ISSN (print): 0959-6526, DOI: 10.1016/j.jclepro.2010.01.014
- Schneider, H.-J. (Hrsg.) (1998): Lexikon Informatik und Datenverarbeitung, 4. Auflage, Oldenbourg, München [u.a.], Erwähnung übernommen aus: Wohlgemuth, V. (2005): Komponentenbasierte Unterstützung von Methoden der Modellbildung und Simulation im Einsatzkontext des betrieblichen Umweltschutzes - Konzeption und prototypische Entwicklung eines Stoffstromsimulators zur Integration einer stoffstromorientierten Perspektive in die auftragsbezogene Simulationssicht, Ph.D. Thesis, Hamburg, Deutschland
- Schneider, R. (2008): Measuring Social Dimensions of Sustainable Production, in: Measuring Sustainable Production - Chapter 4, OECD Publishing, pp. 39-47, OECD Publishing, Paris, France, ISBN (print): 978-92-64-04412-8, DOI: 10.1787/9789264044135-en, DOI retrieved on: 16.09.13
- Scholz, C. (2005): Prof. Christian Scholz zur Wahl des Wortes "Humankapital" zum Unwort 2004, Pressestelle der Universität des Saarlandes (Claudia Ehrlich), Online Nachricht vom 20.01.2005, in: idw (Informationsdienst Wissenschaft) im Internet unter: <https://idw-online.de/de/news97616>, abgerufen am 16. März 2014
- Scholz-Reiter, B., Freitag, M., de Beer, C., Jagalski, T. (2005): Modelling Dynamics of Autonomous Logistic Processes: Discrete-event versus Continuous Approaches, in: Annals of the CIRP, Vol. 55, Issue 1 (2005), pp. 413-417, Bremen, Germany
- Schönsleben, P. (2007): Integrales Logistikmanagement Operations and Supply Chain Management in umfassenden Wertschöpfungsnetzwerken - Kapitel 2 - Supply Chain Design, in: Schönsleben - Integrales Logistikmanagement Operations and Supply Chain Management in umfassenden Wertschöpfungsnetzwerken (2007) - Kapitel 2, S.69-174, 5. Auflage, Springer Verlag Heidelberg Dordrecht London New York, Zürich, Schweiz, ISBN (print): 978-3-642-20380-0, ISBN (online): 978-3-642-20381-7, DOI: 10.1007/978-3-642-20381-7, DOI retrieved on: 25.10.13

- Schultz, A. (2002): Methode zur integrierten ökologischen und ökonomischen Bewertung von Produktionsprozessen und -technologien, Dissertation an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Magdeburg, Deutschland, zu finden unter: <http://diglib.uni-magdeburg.de/Dissertationen/2002/axe-schultz.pdf>, heruntergeladen am: 13.02.2011
- Schwaiger, H., Tuerk, A., Pena, N., Sijm, J., Arrasto, A., Kettner, C. (2012): The future European Emission Trading Scheme and its impact on biomass use, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 38 (2012), pp. 102-108, ISSN: 0961-9534, DOI: 10.1016/j.biombioe.2011.07.005
- Schwefel, H. P. (1977): Numerische Optimierung von Computer-Modellen mittels der Evolutionsstrategie - Mit einer vergleichenden Einführung in die Hill-Climbing- und Zufallsstrategie, Birkhäuser Verlag Basel, ISBN (print): 978-3-7643-0876-6, ISBN (online): 978-3-0348-5927-1, DOI: 10.1007/978-3-0348-5927-1, in: Jahr, P. (2010): Entwicklung und Anwendung evolutionärer Algorithmen zur Optimierung von Stoffstromsimulationen, Masterthesis, Hochschule der Technik und Wirtschaft Berlin, 2010, Deutschland
- Sedláček, T., Tanzer, O. (2015): *Lilith und die Dämonen des Kapitals - Die Ökonomie auf Freuds Couch*, Carl Hanser Verlag GmbH und Co. KG, ISBN: 978-3446444577
- Seifert, B. (1999): Richtwerte für die Innenraumluft - Die Beurteilung der Innenraumluftqualität mit Hilfe der Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC-Wert), in: Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz, Band 42 (1999), S. 270-278, Springer-Verlag, Berlin, Deutschland
- Seliger, G. (2012): *Sustainable Manufacturing - Shaping Global Value Creation*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Germany, ISBN (print): 978-3-642-27289-9, ISBN (online): 978-3-642-27290-5, DOI: 10.1007/978-3-642-27290-5
- Serageldin, I. (1996): *Sustainability and the wealth of nations : first steps in an ongoing journey*, Environmentally sustainable development studies and monographs series, No. 5, ESSD Environmentally & Socially Sustainable Development Work in Progress, Washington, D.C., The World Bank
- Seyfang, G. (2005): Shopping for sustainability: can sustainable consumption promote ecological citizenship?, in: *Environmental Politics*, Vol. 14, Issue 2 (2005), pp. 209-306, London/New York, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland/United States of America
- Shao, G., Kibira, D., Lyons, K. (2010): A Virtual Machining Model For Sustainability Analysis, in: *Proceedings of the 30th Computers and Information in Engineering Conference (ASME) - ASME 2010 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference - Volume 3: 30th Computers and Information in Engineering Conference, Parts A and B*, Montreal, Quebec, Canada, August 15–18, 2010, pp. 875-883, 1st edition, ASME (American Society of Mechanical Engineers), Montreal/Quebec, Canada, ISBN (print): 978-0-7918-4411-3, ISBN (online): 978-0-7918-3881-5, DOI: 10.1115/DETC2010-28743, zu finden auch unter: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.165.4589&rep=rep1&type=pdf>, heruntergeladen am: 18.11.2013
- Sharma, R. (2012): Conceptual Framework for Improving Business Performance with Lean Manufacturing and Successful Human Factors Interventions - A Case Study, in: *International Journal for Quality Research*, Vol. 6, Issue 3 (2012), pp. 259-270, Himachal Pradesh, India
- Siisiäinen, M. (2000): Two Concepts of Social Capital: Bourdieu vs. Putnam, in: *Proceedings of the ISTR Fourth International Conference "The Third Sector: For What and for Whom?"* Trinity College, Dublin, Ireland, July 5-8, 2000
- Singh, R. K., Murty, H. R., Gupta, S. K., Dikshit, A. K. (2009): An overview of sustainability assessment methodologies, in: *Ecological Indicators*, Vol. 9, Issue 2 (2009), pp. 189-212, Elsevier Ltd., Bhabha/Mumbai, India, ISSN (online): 1470-160X, DOI: 10.1016/j.ecolind.2008.05.011, DOI retrieved on: 17.10.13
- Singh, R. K., Steel, B. (2008): *Developing a Composite Sustainability Index (2008)*, pp. 97-114, OECD - OECD Publishing, Paris, France, ISBN (print): 978-92-64-04412-8
- Sinokki, M. (2011): Social factors at work and the health of employees, in: *Studies in social security and health*, Vol. 115 (2011), Marjo Sinokki and Kela, Research Department, Helsinki, Finland, ISBN (print): 978-951-669-851-2, ISBN (online): 978-951-669-852-9, ISSN (print): 1238-5050
- Sobel, J. (2002): Can we trust Social Capital, in: *Journal of Economic Literature*, Vol. 40 (2002), pp. 139-154, San Diego, United States of America, im Internet auch zu finden unter: <http://econweb.ucsd.edu/~jsobel/Papers/soccap.pdf>
- Sobhani, A., Wahab, M. I. M., Neumann, W. P. (2015): Investigating Work-Related Ill Health Effects in Optimizing the Performance of Manufacturing Systems, *European Journal of Operational Research* 241 (3), pp. 708-718
- Sokolowski, J. A., Banks, C. M. (2009): *Principles of Modeling and Simulation*, John Wiley & Sons, Los Angeles, United States of America, ISBN (print): 978-0-470-28943-3
- Solding, P., Petku, D., Mardan, N. (2009): Using simulation for more sustainable production systems – methodologies and case studies, in: *International Journal of Sustainable Engineering*, Vol. 2, Issue 2 (2009), pp. 111-122, Taylor and Francis, Jönköping/Guldsmedshyttan/Linköping, Sweden, ISSN (print): 1939-7038, ISSN (online): 1939-7046, DOI: 10.1080/19397030902960994

- Solow, R., M. (1974): The Economics of Resources or the Resources of Economics, *The American Economic Review*, Vol. 64, No. 2, Papers and Proceedings of the Eighty-sixth Annual Meeting of the American Economic Association (May, 1974), pp. 1-14
- Spangenberg, J. H. (2003): Soziale Nachhaltigkeit. Eine integrierte Perspektive für Deutschland, in: UTOPIE kreativ, Rosa-Luxemburg-Stiftung e. V. (Hrsg.), H. 153/154, Seiten 649-661, NDZ Neue Zeitungsgesellschaft Verlag GmbH, Berlin, Köln/Wien, Deutschland/Österreich, ISSN (print): 0863 - 4890 A 13245
- Spangenberg, J. H. (2007): Arbeit, Umwelt, Gerechtigkeit - Konzepte und Strategien zukunftsfähiger Entwicklung, Vortrag und Präsentation auf der Konferenz „Wie »grün« muss DIE LINKE. sein?“ am 12. Mai, 2007, auch zu finden unter: https://www.rosalux.de/fileadmin/rls_uploads/pdfs/Veranstaltungen/2007/gesellschaftspolitisches_forum/pp_spangenberg_kurz.pdf
- Spangenberg, J. H., Fuad-Luke, A., Blincoe, K. (2010): Design for Sustainability (DfS): the interface of sustainable production and consumption, in: *Journal of Cleaner Production*, Vol. 18, Issue 15 (2010), pp. 1485-1493, Elsevier Ltd., Cologne/Hornbæk, Germany/Denmark, ISSN (print): 0959-6526, DOI: 10.1016/j.jclepro.2010.06.002
- Spaniel, O., Hoff, S. (1995): Ereignisorientierte Simulation - Konzepte und Systemralisierung, in: Thomson's Aktuelle Tutorien, Band 7, Thomson, Bonn, 1995, in: Sauerbier, T. (1999): Theorie und Praxis von Simulationssystemen: eine Einführung für Ingenieure und Informatiker, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, 1999, ISBN: 3-528-03866-7
- Spiegel, M. S. (2000): Einsatz deterministischer Optimierungsverfahren bei der Vorauskegung hochbelasteter Turbomaschinen, Herbet Utz Verlag Wissenschaft, Zugleich Dissertation, Technische Universität München (1999), ISBN: 3-89675-706-7
- Spieker, M. (2002): Klassifizierung von Optimierungsverfahren in Supply Chain Management-Systemen, Diplomarbeit an der Universität - Gesamthochschule Paderborn, Diplomica Verlag GmbH, ISBN: 978-3-8386-6640-2
- Spillemaeckers, S., Vanhoutte, G., Taverniers, L., Lavrysen, L., Braeckel, D. v., Mazijn, B., Rivera, J. D. (2004): Integrated Product Assessment – The Development of the Label 'Sustainable Development' for Products Ecological, Social and Economical Aspects of Integrated Product Policy, Belgian Science Policy, Belgium, in: Jørgensen, et al. (2008): Methodologies for Social Life Cycle Assessment, in: *International Journal of Life Cycle Assessment*, Vol. 13, Issue 2 (2008), pp. 96-103
- Spindler, E. A. (2011): Geschichte der Nachhaltigkeit - Vom Werden und Wirken eines beliebten Begriffes, online veröffentlicht unter: <https://www.nachhaltigkeit.info/media/1326279587phpeJPvC.pdf>, Hamm, Deutschland
- Springer (Springer Gabler Verlag (Hrsg.), Gabler Wirtschaftslexikon) (2015): Stichwort: Produktionsfaktoren & Betrieb, online im Internet unter: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de>, besucht am 4. Februar 2015, in Anlehnung an Steven, M. (1998): Produktionstheorie, Gabler Verlag, Wiesbaden, ISBN (print): 978-3-409-12930-5, ISBN (online): 978-3-322-84571-9, DOI: 10.1007/978-3-322-84571-9
- SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen) (2008): Umweltgutachten 2008 - Umweltschutz im Zeichen des Klimawandels, 1. Auflage, Erich Schmidt Verlag, ISBN 978-3-503-11091-9, auch im Internet zu finden unter: http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01_Umweltgutachten/2008_Umweltgutachten_BTD.pdf?__blob=publicationFile
- Stahlmann, V. (2008): Lernziel: Ökonomie der Nachhaltigkeit, 1. Auflage, oekom Verlag, München, Deutschland, ISBN (print): 978-3-86581-099-1
- Stasiskiene, Z., Hopeniene, R., Staskevicius, A., Wehrmeyer, W., Fudge, S., Watt, A., Farsang, A., Steg, L., Venhoeven, L., Perlaviciute, G. (2013): Getting to radical sustainability: are we radical enough for changes?, in: Proceedings of the IAPS International Network Symposium, 2013, A Coruña, Spain, zu finden auch unter: http://www.crisp-futures.eu/download/attachments/1146969/Paper_5.pdf?version=1&modificationDate=1391979136000, heruntergeladen am: 10.03.2014
- Steinhausen, D. (1994): Simulationstechniken, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München, ISBN: 978-3486226560
- Steinmann, H., Schreyögg, G., Koch, J. (2013): Management - Grundlagen der Unternehmensführung Konzepte - Funktionen - Fallstudien, 7. Auflage, Gabler Verlag, Springer Fachmedien Wiesbaden, ISBN (print): 978-3-8349-2213-7, 3. Auflage zitiert in: Wohlgemuth, V. (2005): Komponentenbasierte Unterstützung von Methoden der Modellbildung und Simulation im Einsatzkontext des betrieblichen Umweltschutzes - Konzeption und prototypische Entwicklung eines Stoffstromsimulators zur Integration einer stoffstromorientierten Perspektive in die auftragsbezogene Simulationssicht, Ph.D. Thesis, Hamburg, Deutschland
- Stern D. (1997): The Capital Theory Approach to Sustainability: A Critical Appraisal, in: *Journal of Economic Issues*, Vol. 31, Issue 1, pp. 145-173, auch zitiert in: McElroy, M. W., Jorna, J. R., van Engelen, J. (2008): Sustainability Quotients and the Social Footprint, in: *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, Vol. 15, Issue 4 (2008), pp. 223-234, John Wiley and Sons Ltd and The European Research Press Ltd, and Published online in Wiley InterScience, VT, United States of America, ISSN (print): 1535-3958, DOI: 10.1002/csr.164
- Steurer, R. (2001): Paradigmen der Nachhaltigkeit, in: *Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht*, Band 24, Heft 4 (2001), S. 537-566

- Stiglitz, J. E. (1974): Growth with Exhaustible Natural Resources: Efficient and Optimal Growth Paths, *The Review of Economic Studies*, Vol. 41, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources (1974), Oxford University Press, pp. 123-137
- Stiglitz, J. E., Sen, A., Fitoussi, J.-P. (2009): The Measurement of Economic Performance and Social Progress Revisited, in: Working paper of the Centre de recherche en économie de Sciences Po (OFCE), republished, The Espon, 2013, New York, NY/Cambridge, MA/Strasbourg, United States of America/France, zudem Bericht im Auftrag der von Präsident Sarkozy einberufenen "Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress", Paris, France
- Stindt, D., Sahamie, R. (2012): Review of research on closed loop supply chain management in the process industry, in: *Flexible Services and Manufacturing*, Vol. 26, Issue 1 (2012), pp. 268-293, Springer Science + Business Media, LLC, Augsburg, Germany, DOI: 10.1007/s10696-012-9137-4, DOI retrieved on: 25.10.13
- Stone, R. W., Henry, J. W. (2003): Identifying and Developing Measures of Information Technology Ethical Work Climates, in: *Journal of Business Ethics*, Vol. 46 (2003), pp. 337-350, Statesboro, Georgia/Moscow, Idaho, United States of America, Kluwer Academic Publishers, printed in the Netherlands
- Studt, J. F. (2008): *Nachhaltigkeit in der Post Merger Integration*, 1. Auflage, Gabler Verlag, GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, Hamburg, Deutschland, ISBN (print): 978-3-8349-1397-5
- Stump, B., Badurdeen, F. (2012): Integrating lean and other strategies for mass customization manufacturing: a case study, in: *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 23, Issue 1 (2012), pp. 109-124, Springer Science + Business Media, LLC, Lexington, KY, United States of America, DOI: 10.1007/s10845-009-0289-3, DOI retrieved on: 18.11.13
- Suar, D., Khuntia, R. (2010): Influence of Personal Values and Value Congruence on Unethical Practices and Work Behavior, in: *Journal of Business Ethics*, Vol. 97, Issue 3 (2010), pp. 443-460, Springer, West Bengal/Coimbatore, Tamil Nadu, India, ISSN (print): 1474-6085, ISSN (online): 1573-0697, DOI: 10.1007/s10551-010-0517-y, DOI retrieved on: 25.11.13
- Sünker, H. (2012): Soziale Arbeit und Bildung, in: W. Thole (Hrsg.) *Grundriss Soziale Arbeit*, S. 249-266, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, DOI: 10.1007/978-3-531-94311-4_11, DOI retrieved on: 30.09.13
- Syrjakow, M. (1997): *Verfahren zur effizienten Parameteroptimierung von Simulationsexperimenten*, Dissertation, Universität Karlsruhe, Shaker Verlag, Aachen, 1997, zitiert in: Gehlsen, B. (2004): *Automatisierte Experimentplanung im Rahmen von Simulationsstudien: Konzeption und Realisierung eines verteilten simulationsbasierten Optimierungssystems*, Dissertation, Universität Hamburg, 2004
- Tapaninaho, M., Koho, M., Hanna, P., Heilala, J. (2014): Developing a Concept for Sustainability Indicators and Reporting Systems for Finish Manufacturing Industry, *Proceedings of the 6th Swedish Production Symposium*, Gothenburg, Sweden
- Teixeira, A. (2002): Does inertia pay off Empirical assessment of an evolutionary-ecological model of human capital decisions at firm level, in: FEP Working Papers, No. 124, 2002, see <http://www.fep.up.pt/investigacao/workingpapers/wp124.pdf> for more information, Porto, Portugal, retrieved 25.11.2013
- Teixeira, A. (2002): On the Link between Human Capital and Firm Performance - A Theoretical and Empirical Survey, in: FEP Working Papers, No. 121, 2002, see <http://www.fep.up.pt/investigacao/workingpapers/wp121.pdf> for more information, Porto, Portugal, retrieved 25.11.2013
- Teixeira, A., Fortuna, N. (2003): Human Capital, Innovation Capability and Economic Growth, in: FEP Working Papers, No. 131, 2003, see <http://www.fep.up.pt/investigacao/workingpapers/wp131.pdf> for more information, Porto, Portugal, retrieved 25.11.2013
- Telles, B. M., Petrokas, L., Nakagawa, M. H. (2012): Sustainability Trends and Implementation in Academy and Consulting, in: *Journal on Innovation and Sustainability - RISUS*, Sao Paulo, Vol. 3 (2012), pp. 3-17, DOI retrieved on: 14.10.13
- Teronen, A. (2001): The Economics of Health, Safety and Well-being - Barefoot Economics - Assessing the economic value of developing an healthy work environment, in: *Finish Ministry of Social Affairs and ILO (Hrsg.)*, Helsinki, Finland
- Thiede, S. (2012): *Energy Efficiency in Manufacturing Systems*, 1st edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin/Heidelberg, Germany, ISBN (print): 978-3-642-25913-5, ISBN (online): 978-3-642-25914-2, ISSN (print): 2194-0541, ISSN (online): 2194-055x, DOI: 10.1007/978-3-642-25914-2, DOI retrieved on: 41607
- Thiede, S., Herrmann, C., Kara, S. (2011): State of Research and an innovative Approach for simulating Energy Flows of Manufacturing Systems, in: Hesselbach, J., Herrmann, C. (2011): *State of Research and an innovative Approach for simulating Energy Flows of Manufacturing Systems - Proceedings of the 18th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering*, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, Germany, May 2nd – 4th, 2011, pp.335-340, 1st edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Braunschweig, Germany, ISBN (print): 978-3-642-19691-1, ISBN (online): 978-3-642-19692-8, DOI: 10.1007/978-3-642-19692-8_58
- Thiede, S., Seow, Y., Andersson, J., Johansson, B. (2013): Environmental aspects in manufacturing system modelling and simulation - State of the art and research perspectives, in: *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*,

- Vol. 6, Issue 1 (2013), pp. 78-87, CIRP, Braunschweig/Loughborough/Gothenburg, Germany/United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland/Sweden, ISSN (print): 1755-5817, DOI: 10.1016/j.cirpj.2012.10.004
- Thomas, A., Trentesaux, D., Valckenaers, P. (2012): Intelligent distributed production control, in: *International Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 23 (2012), pp. 2507-2512, Springer Verlag, Nancy, Lille, Valenciennes, Leuven, France/Belgium, DOI: 10.1007/s10845-011-0601-x, DOI retrieved on: 18.11.13
- Treurniet, H. F., Essink-Bot, M.-L., Mackenbach, J. P., van der Maas, P. J. (1997): Health-related quality of life: an indicator of quality of care?, in: *Quality of Life Research*, Vol. 6 (1997), pp. 363-369, Rapid Science Publishers, Rotterdam, Netherlands
- Tridico, P. (2010): Growth, Inequality and Poverty in Emerging and Transition Economies, in: *Transition Studies Review*, Vol. 16 (2010), pp. 979-1001, The Author(s). This article is published with open access at Springerlink.com, Rome, Italy, ISSN (print): 1614-4007, DOI: 10.1007/s11300-009-0116-8, DOI retrieved on: 27.11.13
- Tuner, B. L., Kasperson, R. E., Matson, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen, L., Eckley, N., Kasperson, J. X., Luers, A., Martello, M. L., Polsky, C., Pulsipher, A., Schiller, A. (2003): A framework for vulnerability analysis in sustainability science, in: *PNAS*, Vol. 100, Issue 14, pp. 8074-8079, The National Academy of Sciences, DOI: 10.1073/pnas.1231335100
- Turhan, B. D., Vayvay, O., Birgun, S. (2011): Supply chain reengineering in a paint company using axiomatic design, in: *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 57, Issue 5-8 (2011), pp. 421-435, Springer-Verlag London Limited, Istanbul, Turkey, DOI: 10.1007/s00170-011-3296-4, DOI retrieved on: 25.10.13
- Ukenna, S., Nkamnebe, A. D., Nwaizugbo, I. C., Moguluwa, S. C., Olise, M. C. (2012): Profiling the Environmental Sustainability-Conscious (ESC) Consumer: Proposing the S-P-P Model, in: *Journal of Management and Sustainability*, Vol. 2 (2012), pp. 197-209, Emugu State/Awka/Enugu, Nigeria, DOI: 10.5539/jms.v2n2p197, DOI retrieved on: 14.10.13
- Ulrich H., Probst, G. J. B. (1995): *Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln: Ein Brevier für Führungskräfte*. 4. Auflage, Verlag Paul Haupt, Bern, ISBN: 978-3258051826
- Umeda, S. (2013): Simulation Analysis of Supply Chain Systems with Reverse Logistics, in: Pasupathy, R., Kim, S.-H., Tolk, A., Hill, R., Kuhl, M. E. (eds.) (2013): *WSC' 13 - Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference*, Washington, DC, USA, pp. 3375-3384, 1st edition, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Washington, DC, United States of America, ISBN (print): 978-1-4799-2076-1
- UN (United Nations) (1992): *Agenda 21: Programme of Action for Sustainable Development*, U.N. GAOR, 46th Sess., Agenda Item 21, UN Doc A/Conf.151/26 (1992). Note: This non-binding policy statement was adopted at the United Nations Conference on Environment and Development (UNCED) in, Rio de Janeiro on the 3-14 June 1992, along with the Biodiversity Convention, the Rio Declaration, the UN Framework Convention on Climate Change, and the Statement of Forest Principles. The Agenda 21 sets forth principles and objectives relating to implementation at a national level of policies and actions supporting sustainable development.
- UN (United Nations) (2007): *Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*, 3rd edition, United Nations, New York, United States of America, ISBN (print): 978-92-1-104577-2
- UNEP (United Nations Environment Programme) (2009): *Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products - Social and socio-economic LCA guidelines complementing environmental LCA and Life Cycle Costing*, contributing to the full assessment of goods and services within the context of sustainable development, Benoît, C. UQAM/CIRAIG, Mazijn, B., Gent University (eds.), Paris, France, u.a., ISBN: 978-92-807-3021-0
- UNEP (United Nations Environment Programme) (2011): *Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication - A Synthesis for Policy Makers*, UNEP, 2011, *Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication - A Synthesis for Policy Makers*, www.unep.org/green-economy, United Nations Environment Programme, Watt, France
- Valentin, A., Spangenberg, J. H. (2000): A guide to community sustainability indicators, in: *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 20, Issue 3 (2000), pp. 381-392, Elsevier Science Inc., Wuppertal, Germany, ISSN (print): 0195-9255, DOI: 10.1016/S0195-9255(00)00049-4
- Valentine, S., Godkin, L., Fleischman, G. M., Kidwell, R. (2011): Corporate Ethical Values, Group Creativity, Job Satisfaction and Turnover Intention: The Impact of Work Context on Work Response, in: *Journal of Business Ethics*, Vol. 98, Issue 3 (2011), pp. 353-372, Springer, Oxford/Grand Forks, ND, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland/United States of America, DOI: 10.1007/s10551-010-0554-6, DOI retrieved on: 25.11.13
- Valentine, S., Godkin, L., Fleischman, G. M., Kidwell, R., Page, K. (2011): Corporate Ethical Values and Altruism: The Mediating Role of Career Satisfaction, in: *Journal of Business Ethics*, Vol. 101, Issue 4 (2011), pp. 509-523, Springer, Oxford/Grand Forks, ND, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland/United States of America, ISSN (print): 0167-4544, DOI: 10.1007/s10551-011-0739-7, DOI retrieved on: 25.11.13
- van Breugel, K. (2013): Sustainable Construction: A Challenge for Multiscale Models and Modelling, in: R. Nothnagel and H. Twelmeier (eds.), *Baustoff und Konstruktion*, S. 377-387, Springer Verlag, Delft, Netherlands, DOI: 10.1007/978-3-642-29573-7_37, DOI retrieved on: 18.11.13

- van Marrewijk, M. (2003): Concepts and Definitions of CSR and Corporate Sustainability: Between Agency and Communion, in: *Journal of Business Ethics*, Vol. 44 (2003), pp. 95-105, Kluwer Academic Publishers, Rotterdam, The Netherlands
- Vasantha, G. V. A., Komoto, H., Hussain, R., Roy, R., Tomiyama, T., Evans, S., Tiwari, A., Williams, S. (2013): A manufacturing framework for capability-based product-service systems design, in: *Journal of Remanufacturing*, Vol. 3 (2013), pp. 1-32, Vasantha et al.; licensee Springer., Bedfordshire, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, ISSN (online): 2210-4690, DOI: 10.1186/2210-4690-3-8, DOI retrieved on: 27.11.13
- Vasconcelos, L., Caser, U., Pereira, M. J. R., Gonçalves, G., Sá, R. (2012): MARGOV - building social sustainability, in: *Journal of Coastal Conservation*, Vol. 16, Issue 4 (2012), pp. 523-530, Springer Netherlands, Libon/Faro, Portugal, ISSN (print): 1400-0350, ISSN (online): 1874-7841, DOI: 10.1007/s11852-012-0189-0
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) (2013): VDI 3633 - Entwurf - VDI-Richtlinien - Simulation of systems in materials handling, logistics and production – Terms and definitions, Beuth Verlag, Berlin, Germany
- Veleva, V., Ellenbecker, M. (2001): Indicators of sustainable production: framework and methodology, in: *Journal of Cleaner Production*, Vol. 9, Issue 6 (2001), pp. 519-549, Elsevier Science Ltd., Lowell, MA, United States of America, ISSN (print): 0959-6526, DOI: 10.1016/S0959-6526(01)00010-5
- Venkateswaran, J., Son, Y.-J. (2005): Hybrid system dynamics - discrete event simulation based architecture for hierarchical production planning, in: *International Journal of Production Research*, Vol. 43, Issue 20 (2005), pp. 4397-4429, Taylor & Francis Group, Tucson, AZ, United States of America, ISSN (print): 0020-7543, DOI: 10.1080/00207540400142472, DOI retrieved on: 14.10.13
- Village, J., Searcy, C., Salustri, F., Neumann, W. P. (2015): Design for human factors (DfHF): a grounded theory for integrating human factors into production design processes, *Ergonomics*, DOI: 10.1080/00140139.2015.1022232
- Viswesvaran, C., Schmidt, F. L., Ones, D. S. (2005): Is There a General Factor in Ratings of Job Performance? A Meta-Analytic Framework for Disentangling Substantive and Error Influences., in: *Journal of Applied Psychology*, Vol. 90 (2005), pp. 108-131, PsycINFO Database Record (c) APA, Miami, FL, United States of America, DOI: 10.1037/0021-9010.90.1.108
- Vogt, C. (2012): Nebenläufige Programmierung - Ein Arbeitsbuch mit Unix/Linux und Java, 1. Auflage, Carl Hanser Verlag, Köln/Bergisch Gladbach, Deutschland, ISBN (print): 978-3-446-43201-7, DOI: 10.3139/9783446432017, DOI retrieved on: 41562
- Vollmer, T. (2008): „Heute nicht auf Kosten von morgen und hier nicht zu Lasten von anderswo arbeiten und leben“ - Zukunftsorientierte Berufsbildung für eine nachhaltige Entwicklung, in: Adolph, G., Jenewein, K., Pahl, J.-P., Rauner, F., Spöttl, G., Vermehr, B. (Hrsg.) *lernen & lehren (l&l)*, Band 90 (2008), S. 54-60, Heckner Druck- und Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, Wolfenbüttel, Deutschland, ISSN (print): 0940-7440
- von Haaren, B. (2008): Konzeption, Modellierung und Simulation eines Supply-Chain-Risikomanagements, Dissertation an der Technischen Universität Dortmund, Dortmund, Deutschland
- Vorderwinkel, M., Heiß, H. (2011): Nachhaltige Produktionsregelung, in: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) (Hrsg.) (2011): *Berichte aus Energie- und Umweltforschung*, Band 40 (2011), Wien, Österreich, Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte der Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>, Bericht heruntergeladen am 17.04.2014
- Waddock, S. (2004): Parallel Universes: Companies, Academics, and the Progress of Corporate Citizenship, in: *Business and Society Review*, Vol. 109, No. 1, pp. 5-42
- Wansleben, L. (2011): Wie wird bewertbar, ob ein Staat zu viele Schulden hat? Finanzexperten und ihr Bewertungswissen in der griechischen Schuldenkrise, in: *Berliner Journal für Soziologie*, Band 21 (2011), S. 495-519, VS Verlag für Sozialwissenschaften, Luzern, Schweiz, DOI: 10.1007/s11609-011-0170-z, DOI retrieved on: 25.10.13
- Warr, P. (1990): The measurement of well-being and other aspects of mental health, in: *Journal of Occupational Psychology*, Vol. 63, Issue 3 (1990), pp. 193-210, The British Psychological Society, Blackwell Publishing Ltd, Sheffield, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, ISSN (print): 0305-8107, DOI: 10.1111/j.2044-8325.1990.tb00521.x
- WCED (World Commission on Environment and Development) (1987): *Our Common Future*. Oxford, U.K., Oxford University Press
- WD (Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages) (2004): Der aktuelle Begriff - Nachhaltigkeit, Nr. 6 (2006), "Der aktuelle Begriff" ist eine Kurzinformation der Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages, im Internet abrufbar unter: <http://www.bundestag.de/bic/analysen/index.html>
- Weckström, S. (2011): Working Mothers in Finland: A Cross-Country Comparison of Work to Family Interference, Work Characteristics and Satisfaction with Life, in: *Finnish Yearbook of Population Research*, Vol. 46 (2011), pp. 97-94, Turku, Finland

- Weicker, K. (2015): Evolutionäre Algorithmen - Evolutionäres Problemlösen, 3. Auflage, Springer Vieweg, Springer Fachmedien Wiesbaden, ISBN (print): 978-3-658-09957-2, ISBN (online): 978-3-658-09958-9, DOI: 10.1007/978-3-658-09958-9
- Weisbrod, A. V., Van Hoof, G. (2012): LCA-measured environmental improvements in Pampers® diapers, in: International Journal of Life Cycle Assessment, Vol. 17, Issue 2 (2012), pp. 145-153, The Author(s). This article is published with open access at Springerlink.com, Cincinnati/Strombeek-Bever, United States of America/Belgium, DOI: 10.1007/s11367-011-0343-1, DOI retrieved on: 18.11.13
- Weissenberger-Eibl, M. A. (2003): Unternehmensentwicklung und Nachhaltigkeit, Rosenheim (zugl. Habil.-Schr., Techn. Univ., München, 2003), zitiert aus Langer, U. (2011): Unternehmen und Nachhaltigkeit Analyse und Weiterentwicklung aus der Perspektive der wissensbasierten Theorie der Unternehmung, Stuttgart, Deutschland
- Weizsäcker, E. U. v., Hargroves, K., Smith, M. (2010): Faktor Fünf - Die Formel für nachhaltiges Wachstum, 1. Auflage, Droemer Verlag, ISBN: 978-3-426-27486-6
- Westgaard, R. H., Winkel, J. (2011): Occupational musculoskeletal and mental health: Significance of rationalization and opportunities to create sustainable production systems - A systematic review, in: Applied Ergonomics, Vol. 42, Issue 2 (2011), pp. 261-296, Elsevier Ltd and The Ergonomics Society., Trondheim/Gothenburg/Copenhagen, Norway/Denmark/Sweden, ISSN (print): 0003-6870, DOI: 10.1016/j.apergo.2010.07.002
- Widok, A. (2009): Social Sustainability: Theories, Concepts, Practicability, in: Wohlgemuth, V., Page, B., Voigt, K. (eds.) (2009): Environmental Informatics and Industrial Environmental Protection - Proceedings of the 23rd International Conference on Informatics for Environmental Protection (EnviroInfo), Berlin, 2009, pp. 43-51, 1st edition, Shaker Verlag, Berlin, Germany, ISBN (print): 978-3-8322-8397-1
- Widok, A. H., Jahr, P., Schiemann, L., Wohlgemuth, V. (2012 (c)): Stoffstromsimulation für eine nachhaltige Produktions- und Fertigungsplanung, in: Konzepte, Anwendungen und Entwicklungstendenzen von betrieblichen Umweltinformationssystemen (BUIS), S. 55-67, 1. Auflage, Shaker Verlag, Berlin, Deutschland, ISBN (print): 978-3-8440-1180-7, ISBN (online): ISSN 1616-0886
- Widok, A. H., Schiemann, L., Jahr, P., Wohlgemuth, V. (2012 (a)): Achieving Sustainability through the Combination of LCA and DES integrated in a Simulation Software for Production Processes, in: Laroque, C., Himmelspach, J., Pasupathy, R., Rose, O., Uhrmacher, A. M. (eds.) (2012): WSC' 12 - Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Berlin, Germany, pp. 264-276, Omnipress, Berlin, 9-12 Dec. 2012, ISBN (print): 978-1-4673-4779-2, ISBN (online): 978-1-4673-4781-5, ISSN (print): 0891-7736, DOI: 10.1109/WSC.2012.6465079
- Widok, A. H., Schiemann, L., Jahr, P., Wohlgemuth, V. (2012 (b)): Nachhaltige Produktion durch Verbindung von LCA und Simulation, in: Wittman, J., Page, B. (Hrsg.) (2012): Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften - Tagungsband des ASIM Workshops Hamburg 2012 (Berichte aus der Umweltinformatik), S. 7-18, 1. Auflage, Shaker Verlag, Hamburg, Deutschland, ISBN (print): 978-3-8440-1062-6, ISBN (online): 1616-0886
- Widok, A. H., Wohlgemuth, V. (2011): Simulation and Sustainability - Enhancing Event-Discrete- Simulation Software with Sustainability Criteria, in: Proceedings of the third International Conference on Advances in System Simulation (SIMUL 2011), Barcelona, pp. 182-187, 1st edition, IARA (International Academy, Research, and Industry Association), Barcelona, Spain, ISBN (print): 978-1-61208-169-4
- Widok, A. H., Wohlgemuth, V. (2013): Simulating Sustainability, in: Page, B., Fleischer, A. G., Göbel, J., Wohlgemuth, V. (eds.) (2013): Proceedings of the 27 Conference on Environmental Informatics - Informatics for Environmental Protection, Sustainable Development and Risk Management (EnviroInfo), Sept. 2-4, 2013, pp. 514-522, 1st edition, Shaker Verlag, Hamburg, Germany, ISBN (print): 978-3-8440-1676-5, ISSN (print): 1616-0886
- Widok, A. H., Wohlgemuth, V. (2014 (a)): Verbesserung der Nutzerfreundlichkeit einer Simulationssoftware für die integrierte Betrachtung verschiedener Nachhaltigkeitsperspektiven in Produktionssystemen, in: Proceedings of the 28th International Conference on Informatics for Environmental Protection, S. 801-808, BIS-Verlag, Oldenburg, 2014, ISBN 978-3-8142-2317-9
- Widok, A. H., Wohlgemuth, V. (2014 (b)): Technical Concept of a Software Component for Social Sustainability in a Software for Sustainability Simulation of Manufacturing Companies, in: Proceedings of the International Workshop on Simulation for Energy, Sustainable Development & Environment 2014, S. 75-81, Dime Università di Genova, Genua, Italien, 2014, ISBN 978-88-97999-42-3
- Widok, A. H., Wohlgemuth, V. (2014 (c)): Social Sustainability and Manufacturing Simulation, in: SIMUL 2014 - The Sixth International Conference on Advances in System Simulation, S. 213-220, IARIA, Nizza, Frankreich, 2014, ISBN 978-1-61208-371-1, ISSN 2308-4537
- Widok, A. H., Wohlgemuth, V. (2015): Definition of social sustainability criteria for the simulation of OHS in manufacturing entities, in: EnviroInfo & ICT4S, Adjunct Proceedings (Part 2) - Building the knowledge base for environmental action and sustainability, S. 7-14, University of Copenhagen, 2015, ISBN 978-87-7903-712-0
- Widok, A. H., Wohlgemuth, V. (2016): Integration of a Social Domain in a Manufacturing Simulation Software, International Journal of Service and Computing Oriented Manufacturing, Vol. 2, No. 2, 2016, pp. 138-154

- Widok, A. H., Wohlgemuth, V., Page, B. (2011 (a)): Combining Event Discrete Simulation with Sustainability Criteria, in: Proceedings of the Winter Simulation Conference (WSC) 2011, pp. 859-870, 1st edition, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Phoenix, United States of America, ISBN (print): 978-1-4577-2108-3, ISBN (online): 978-1-4577-2107-6, ISSN (print): 0891-7736, DOI: 10.1109/WSC.2011.6147812
- Widok, A. H., Ziep, T., Wohlgemuth, V. (2011 (b)): Implementation of a modular web-based multi-method Tool for the Assessment of Biofuel Sustainability Standards, in: Pillmann, W., Schade, S., Smits, P. (eds.) (2011): Innovations in Sharing Environmental Observations and Information - Proceedings of the Proceedings of the 25th International Conference Environmental Informatics (EnviroInfo), Ispra, pp. 719-728, 1st edition, Shaker Verlag, Ispra, Italy, ISBN (print): 978-3-8440-0451-9, ISSN (print): 1616-0886
- Widok, A. H., Ziep, T., Wohlgemuth, V. (2011 (c)): RSB/SQCB-Zertifizierungssystem und Multi-Methoden-Webtool zur Erfassung und Bewertung der Nachhaltigkeit von Biokraftstoffen, in: Wittman, J., Wohlgemuth, V. (Hrsg.) (2011): Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften - Workshop Berlin 2011 (ASIM), S. 11-28, 1. Auflage, Shaker Verlag, Berlin, Deutschland, ISBN (print): 978-3-8440-0284-3
- Winkel, J., Westgaard, R. H. (2008): Risk factors of occupational MSDs and potential solutions: past, present and future, in: HESA Newsletter No. 34 June 2008, Gothenburg/Trondheim, Sweden/Norway
- Winkelmann, K., Luczak, H. (2006): Modelling, Simulation and Prospective Analysis of Cooperative Provision of Industrial Services using Coloured Petri Nets, in: International Journal of Simulation, Vol. 7 (2006), pp. 10-26, Aachen, Germany
- Wischmann, S. (2015): Arbeitssystemgestaltung im Spannungsfeld zwischen Organisation und Mensch-Technik-Interaktion - das Beispiel Robotik, in: Botthof, A., Hartmann, E. A. (2015): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0, 1. Auflage, Springer Berlin Heidelberg, ISBN (print): 978-3-662-45914-0, ISBN (online): 978-3-662-45915-7, DOI: 10.1007/978-3-662-45915-7, S. 149-160
- Witte, S., Boehnke, B., Wohlgemuth, V. (2010): Analyse der Materialströme einer idealisierten Automobillackiererei mit Hilfe eines parametrisierten benutzergeführten Simulationsmodells, in: Greve, K., Cremers, A. B. (eds.) (2010): Integration of Environmental Information in Europe - Proceedings of the 24th International Conference on Informatics for Environmental Protection in Cooperation with InterGeo2010, Cologne Bonn, 2010, S. 410-418, 1. Auflage, Shaker Verlag, Köln/Bonn, Deutschland, ISBN (print): 978-3-8322-9458-8
- Wittmann, J., Wohlgemuth, V. (Hrsg.) (2007): Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften, 1. Auflage, Shaker Verlag, Aachen/Berlin, Deutschland, ISBN (print): 978-3-8322-6337-9
- Wöhe, G., Döring, U. (2008): Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre, 23. Auflage, Vahlen Verlag, ISBN (print): 978-3800635245
- Wohlgemuth, V. (2005): Komponentenbasierte Unterstützung von Methoden der Modellbildung und Simulation im Einsatzkontext des betrieblichen Umweltschutzes - Konzeption und prototypische Entwicklung eines Stoffstromsimulators zur Integration einer stoffstromorientierten Perspektive in die auftragsbezogene Simulationssicht, Dissertation an der Universität Hamburg, Shaker Verlag, Hamburg, Deutschland
- Wohlgemuth, V. (2007): Möglichkeiten und Probleme des Einsatzes von Methoden der Modellbildung und Simulation im Kontext des betrieblichen Umweltschutzes, in: Wittman, J., Wohlgemuth, V. (Hrsg.) (2007): Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften - Tagungsband des ASIM Workshops 2007, auch ASIM-Mitteilung AM 110, S. 9-22, 1. Auflage, Shaker Verlag, Berlin, Deutschland, ISBN (print): 978-3-8322-6337-9, ISBN (online): 1616-0886
- Wohlgemuth, V., Bruns, L., Page, B. (2001): Simulation als Ansatz zur ökologischen und ökonomischen Planungsunterstützung im Kontext betrieblicher Umweltinformationssysteme (BUIS), in: Hilty, L. M., Gilgen, P. (eds.) (2001): Sustainability in the Information Society - 15th International Symposium Informatics for Environmental Protection (EnviroInfo), 2001, S. 999-1008, 1. Auflage, Metropolis-Verlag, Zürich, Schweiz, ISBN (print): 3-89518-370-9
- Wohlgemuth, V., Lang, C. V., Gómez, J. M. (2012): Konzepte, Anwendungen und Entwicklungstendenzen von betrieblichen Umweltinformationssystemen (BUIS), 1. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Deutschland, ISBN (print): 978-3-8440-1180-7
- Wohlgemuth, V., Mäusbacher, M. (2008): Analyse umweltrelevanter Daten in SAP und Implementierung einer Beispielanwendung zum Datenaustausch mit betrieblichen Umweltinformationssystemen (BUIS), in: Heinz-Gerd Hegeing (ed.), Axel Lehmann (ed.), Hans Jürgen Ohlbach (ed.), Christian Scheideler (ed.), Proceedings of the 2008 INFORMATIK, Volume 2, pp. 879-884, Gesellschaft für Informatik, Bonn, Deutschland, ISBN (print): 978-3-88579-228-4
- Wohlgemuth, V., Page, B., Kreutzer, W. (2006): Combining discrete event simulation and material flow analysis in a component-based approach to industrial environmental protection, in: Environmental Modelling & Software, Vol. 21, Issue 11 (2006), pp. 1607-1617, Elsevier Ltd., Berlin/Hamburg/Canterbury, Germany/New Zealand, ISSN (print): 1364-8152, DOI: 10.1016/j.envsoft.2006.05.015
- Wohlgemuth, V., Page, B., Mäusbacher, M., Staudt-Fischbach, P. (2004): Component-Based Integration of Discrete Event Simulation and Material Flow Analysis for Industrial Environmental Protection: A Case Study in Wafer Production, in: Minier, P., Susini, A. (eds.) (2004): Sh@ring – EnviroInfo 2004 - Proceedings of the 18th International

- Conference "Informatics for Environmental Protection" (EnviroInfo), Geneva, 2004, pp. 303-312, 1st edition, Editions du Tricorne, Geneva, Switzerland, ISBN (print): 978-28-29-30275-3
- Wohlgemuth, V., Page, B., Witte, A. (2006): Datenaustausch von Ökobilanzdaten zwischen einem SAP-Business Information Warehouse und dem BUIS Umberto unter Nutzung der PAS 1025 und ein Vorschlag zur Erweiterung der PAS 1025 um Bilanz- und Kennzahleninformationen, in: Rey, Lang-Koetz und Tuma, Betriebliche Umweltinformationssysteme - System- und unternehmensübergreifender Daten- und Informationsaustausch, S. 21-38, Shaker, Berlin, Deutschland
- Wohlgemuth, V., Schnackenbeck, T., Mäusbacher, M., Panić, D. (2009): Conceptual Design and Implementation of a Toolkit Platform for the development of EMIS based on the Open Source Plugin-Framework Empinia, in: Wohlgemuth, V., Page, B., Voigt, K. (eds.) (2009): Environmental Informatics and Industrial Environmental Protection - Proceedings of the 23rd International Conference on Informatics for Environmental Protection (EnviroInfo), Berlin, 2009, pp. 139-144, 1st edition, Shaker Verlag, Berlin, Germany, ISBN (print): 978-3-8322-8397-1
- Wohlgemuth, V., Schnackenbeck, T., Panic, D., Barling, R.-L. (2008): Development of an Open Source Software Framework as a Basis for Implementing Plugin-Based Environmental Management Information Systems (EMIS), in: Möller, A, Page, B., Schreiber, M. (eds.) (2008): Environmental Informatics and Industrial Ecology - Proceedings of the 22nd International Conference Environmental Informatics (EnviroInfo), 2008, pp. 584-592, 1st edition, Shaker Verlag, Berlin/Hamburg/Aachen, Germany, ISBN (print): 978-3-8322-7313-2, ISSN (print): 1616-0886
- Wohlgemuth, V., Widok, A. (2013): Konzeption und Entwicklung eines betrieblichen Umweltinformationssystems zur Simulation von Aspekten der Nachhaltigkeit bei Produktionssystemen - Design and Development of an Environmental Management Information System (EMIS) for the Simulation of Sustainability Aspects of Manufacturing Systems, In: Mocosch, Matthias; Urban, Torsten, Umweltinformationssysteme: Definition, Bedeutung und Konzeption, S. 69-79, 1. Auflage, Shaker Verlag, Berlin, Deutschland
- Wolf, M.-A., Chomkamsri, K. (2012): Selecting the Environmental Indicator for Decoupling Indicators, in: Proceedings of the 10th International Conference on EcoBalance (EcoBalance 2012), Berlin/Tokyo, Germany/Japan, zu finden auch unter: http://www.researchgate.net/publication/256378409_Selecting_the_Environmental_Indicator_for_Decoupling_Indicators/file/3deec5226d51077122.pdf, heruntergeladen am: 20.02.2014
- Woolcock, M., Narayan, D. (2000): Social Capital: Implications for Development Theory, Research and Policy, in: World Bank Research Observer, Vol. 15, Issue 2 (2000), pp. 225-249, Washington, DC, United States of America
- Wruse, K. I. (2010): Die politisch-kulturelle Dimension des Leitbildes Nachhaltige Entwicklung - Die Systeme Deutschland und die Schweiz - Ein fraktaler Vergleich, Dissertation an der Universität Duisburg-Essen, Universität Duisburg-Essen, Kirn nahe Duisburg/Essen, Deutschland
- Yahaya, A., Yahaya, N., Bon, A. T., Ismail, S., Ing, T. C. (2011): Stress level and its influencing factors among employees in a plastic manufacturing and the implication towards work performance, in: Elixir Psychology, Vol. 41 (2011), pp. 5923-5941, Elixir, ISSN (online): 2229-712X
- Yazdani, A., Neumann, P., Imbeau, D., Bigelow, P., Pagell, M., Theberge, N., Hilbrecht, M., Wells, R. (2015): How compatible are participatory ergonomics programs with occupational health and safety management systems? Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, Vol. 41, Issue 2, pp. 111-123, ISSN (print): 0355-3140, ISSN (online): 1795-990X, DOI: 10.5271/sjweh.3467, DOI retrieved on 10.04.2016
- YCELP (Yale Center for Environmental Law & Policy) & CIESIN (Center for International Earth Science Information Network) (Emerson, J., Levy, M. A., Esty, D. C., Mara, V., Kim, C., de Sherbinin, A., Srebotnjak, T., Jaiteh, M.) (2010): 2010 Environmental Performance Index, Yale University
- Zaeh, M. F., Prash, M. (2007): Systematic workplace and assembly redesign for aging workforces, in: Production Engineering, Vol. 1, Issue 1 (2007), pp. 57-64, German Academic Society for Production Engineering (WGP), Munich, Germany, ISSN (print): 0944-6524, ISSN (online): 1863-7353, DOI: 10.1007/s11740-007-0001-4, DOI retrieved on: 25.11.13
- Zak, A., Slaby, A., Matusu, R. (2013): Recent Advances in Automatic Control, Information and Communications - Proceedings of the 14th International Conference on Automation & Information (ICAI '13), WSEAS Press, Valencia, Spain, ISBN (print): 978-960-474-316-2, ISSN (online): 1790-5117
- Zapf, D. & Semmer, N. K. (2004): Stress und Gesundheit in Organisationen, in: H. Schuler (Hrsg.) (2004): Organisationspsychologie - Enzyklopädie der Psychologie, Band D-III-3, S. 1007-1053, Göttingen, Hogrefe-Verlag, Zitat übernommen aus: Busch, C., Clasen, J. (2014): Multikulturelle Belegschaften, in: Badura, B., Ducki, A., Schröder, H., Klose, J., Meyer, M. (Hrsg.) (2014): Fehlzeitenreport 2014 - Erfolgreiche Unternehmen von morgen - gesunde Zukunft heute gestalten, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN (print): 978-3-662-43530-4, ISBN (online): 978-3-662-43531-1, DOI: 10.1007/978-3-662-43531-1
- Zhao, F., Ogaldez, J., Sutherland, J. W. (2012): Quantifying the water inventory of machining processes, in: CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 61, Issue 1 (2012), pp. 67-70, CIRP. Published by Elsevier Ltd., West Lafayette, IN, United States of America, ISSN (print): 0007-8506, DOI: 10.1016/j.cirp.2012.03.027, DOI retrieved on: 01.07.12

- Zhou, M., Pan, Y., Chen, Z. (2013): Green Production -- Strategies and Dynamics: A Simulation Based Study, in: Pasupathy, R., Kim, S.-H., Tolk, A., Hill, R., Kuhl, M. E. (eds.) (2013): WSC' 13 - Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference, Washington, DC, USA, pp. 2097-2108, 1st edition, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Washington, DC, United States of America, ISBN (print): 978-1-4799-2076-1
- Zhou, X., Kuhl, M. E. (2011): A Sustainability Toolkit for Simulation: Recent Developments and future Capabilities, in: Proceedings of the Winter Simulation Conference (WSC) 2011, Phoenix, United States of America
- Ziersch, A. M. et al. (2005): "Neighbourhood life and Social Capital: The Implications for Health", in: Social Science and Medicine, Vol. 60 (2005), pp. 71-86, Erwähnung übernommen aus: Conrad, D. (2007): Defining social capital, in: Gupta, K. R., Svendsen, G. L. H., Maii, P. (Hrsg.), Social Capital (Volume 1), Atlantic Publishers and Distributors (p) Ltd., 2008, ISBN: 978-81-269-0955-1, pp. 53-60
- Zimmermann, A. (2012): Basis-Modelle der Geoinformatik, 1. Auflage, Carl Hanser Verlag, Bochum, Deutschland, ISBN (print): 978-3-446-42091-5, DOI: 10.3139/9783446429536, DOI retrieved on: 41562
- Zio, E. (2013): The Monte Carlo Simulation Method for System Reliability and Risk Analysis, 1st edition, Springer-Verlag London, ISBN (print): 978-1-4471-4587-5, ISBN (online): 978-1-4471-4588-2, ISSN: 1614-7839, DOI: 10.1007/978-1-4471-4588-2
- Zuber, P. (2009): Nachhaltigkeit als Leitbild einer entwicklungsbegleitenden Evaluierung, (Kapitel 4) in: Innovationsmanagement in der Biotechnologie: Nachhaltigkeit als Leitbild einer entwicklungsbegleitenden Evaluierung, Gabler Verlag, GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, Frankfurt am Main/Mainz, Deutschland, ISBN (print): 978-3-8349-1319-7, ISBN (online): 978-3-8349-9943-6, DOI: 10.1007/978-3-8349-9943-6_4, DOI retrieved on: 41572
- Zülch, G. (1994): Evaluation of Organizational Changes in Lean Production Systems, Production Management Methods 1994, pp. 161-169
- Zülch, G. (2013): Ergonomische Abbildung des Menschen in der Digitalen Fabrik – Die neue VDI-Richtlinie 4499-4, in: Dangelmaier, W., Laroque, C., Klaas, A. (Hrsg.) (2013): Simulation in Produktion und Logistik 2013, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 316, Paderborn, zugleich Tagungsband der ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik, Paderborn, 09.-11. Oktober 2013, siehe auch ASIM-Mitteilung Nr. 147, S. 53-60, 1. Auflage, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Paderborn, Deutschland, ISBN (print): 978-3-942647-35-9
- Zülch, G. (2014): Evaluating Human Work in the Digital Factory - A New German Guideline - APMS (3) 2014, pp. 35-42
- Zülch, G., Becker, M. (2008): Nachhaltigkeit bei der Planung von Fertigungssystemen: Simulation unter dem Aspekt der leistungsentwicklung einer Belegschaft, in: Advances in Simulation for Production and Logistic Applications, Markus Rabe (ed.), Stuttgart, Fraunhofer IRB Verlag 2008, pp. 377-386, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, Deutschland
- Zülch, G., Stock, P. (Hrsg.) (2010): Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, auch ASIM-Mitteilung Nr. AM 131, ISBN (print): 978-3-86644-558-1, DOI: 10.5445/KSP/1000019635

Eidesstattliche Versicherung

Declaration on oath

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertationsschrift selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

I hereby declare, on oath, that I have written the present dissertation by my own and have not used other than the acknowledged resources and aids.

Berlin/Hamburg, den 23. August 2016

Berlin/Hamburg, 23rd of August 2016

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke at the end, positioned above a horizontal line.

Unterschrift/Signature