

**Analyse sozialer Verwundbarkeit unter den lokalen Klimabedingungen  
Temperatur und Niederschlag. Die SILVIO-Methodologie am Beispiel der  
Cordillera Blanca, Peru**

Dissertation

Zur Erlangung des Doktorgrades an der Fakultät für Mathematik, Informatik und  
Naturwissenschaften im Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg

vorgelegt von

**Tháis A. López Inojosa**

aus Carúpano / Venezuela

Hamburg, März 2020



Tag der Disputation: 23 Juli 2020

Folgende Gutachter empfehlen die Annahme der Dissertation:

Prof.Dr. Martina Neuburger ( Universität Hamburg)

Prof.Dr. Jürgen Scheffran (Universität Hamburg)

## EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Titel: **„Analyse sozialer Verwundbarkeit unter den lokalen Klimabedingungen Temperatur und Niederschlag. Die SILVIO-Methodologie am Beispiel der Cordillera Blanca, Peru“** selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel – insbesondere keine im Quellenverzeichnis nicht benannten Internet-Quellen – benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Ich versichere weiterhin, dass ich die Dissertation oder Teile davon vorher weder im In- noch im Ausland in einem anderen Prüfungsverfahren eingereicht habe und die eingereichte schriftliche Fassung der auf dem elektronischen Speichermedium entspricht.

Hamburg, den 15 April 2020

---

Thaís A. López-Inojosa

## ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit stellt die Methodologie SILVIO (**S**ocia**L** **V**ulnerability **O**rd**e**r-**M**ethodology) vor, eine Methode zur Analyse der sozialen Verwundbarkeit unter dem Einfluss von lokaler Klimaveränderung. Soziale Verwundbarkeit wird hier verstanden als eine Vielzahl von Beziehungen zwischen Gesellschaft und Umwelt, welche die Lebensweise der Betroffenen beeinträchtigen können. Die Methodologie SILVIO basiert zum einen auf der Erstellung eines Index Sozialer Verwundbarkeit aus demografischen, ökonomischen und sozialen Variablen (Social Vulnerability Index - SVI) und zum anderen auf einer Korrelationsanalyse zwischen diesem Index und den beiden gewählten lokalen Klimavariablen Temperatur und Niederschlag (Local Climate Variables – LCV). Die Anwendung von SILVIO erfolgt am Beispiel eines abgegrenzten Untersuchungsgebiets des Departements Huaraz in den peruanischen Anden. Sowohl die Variablen für den Index Sozialer Verwundbarkeit (SVI) als auch die lokalen Klimavariablen (LCV) wurden anhand von Diskussionen und Interviews mit Experten<sup>1</sup> und Kennern der Forschungsregion ausgewählt und von Bewohnern und lokalen Experten aus der Region selbst bewertet.

Für den SVI wurden soziale und demografische Daten aus ökonomischer Perspektive betrachtet, mit statistischen Methoden analysiert und in ein additives und gewichtetes Modell eingebracht. Die verwendeten Daten umfassen die Variablen Bergbau, Tourismus, Landwirtschaft, Migration, Analphabetismus und Gesundheit für das Departement Huaraz in Peru aus den Jahren 2005 bis 2012. Der SVI wurde im Jahr 2017 zur Gegenüberstellung erneut berechnet. Dafür wurden Experten der deutschen Entwicklungszusammenarbeit in Peru zu ihrer Gewichtung der Variablen befragt. Ziel war dabei, die Sichtweise zweier unterschiedlicher Akteursgruppen mit Bezug zur Verminderung der sozialen Verwundbarkeit in der Region miteinander zu vergleichen.

Die Auswahl der beiden lokalen Klimavariablen (LCV) erfolgte auf Grundlage der Literaturrecherche. Die Niederschlagszyklen und Temperaturschwankungen sind

---

<sup>1</sup> In dieser Arbeit wird zur verbesserten Lesbarkeit ausschließlich die männliche Form von Substantiven, die beide Geschlechter betreffen, verwendet. Sie schließt explizit die weibliche Form mit ein.

nach Analyse der Autorin repräsentative Faktoren für die Dynamik des lokalen Klimas in Gletschergebieten, zu denen die Untersuchungsregion dieser Arbeit gehört.

Das zentrale Forschungsinteresse an der Entwicklung der Methodologie SILVIO ist die Beobachtung intermediärer Prozesse in der Dynamik sozialer Verwundbarkeit. Solche Prozesse sind beispielsweise Tendenzen in der Verwundbarkeit und die Beziehung dieser Tendenzen mit anderen Prozessen wie der Veränderung klimatischer Bedingungen über die Zeit.

Für die Erstellung von SILVIO wurden Verfahren der Aggregation von Variablen, der Gewichtung von Einschätzungen sowie die Erarbeitung und Korrelation von Prozessdaten für die Strukturierung eines Indikators der Sozialen Verwundbarkeit SVI vorgenommen. Anschließend erfolgt die Analyse des Verhaltens des SVI unter der Rahmenbedingung sich verändernder lokaler Klimavariablen.

**Deskriptoren:** soziale Verwundbarkeit, lokaler Klimawandel, Peru, Indikatoren, Methodologie, Modellierung

## RESUMEN

Este trabajo presenta la metodología SILVIO (Social Vulnerability Order-Methodology), una metodología para el análisis de la vulnerabilidad social bajo la influencia del cambio climático local. La vulnerabilidad social se entiende aquí como una multitud de relaciones entre la sociedad y el medio ambiente que pueden alterar el estilo de vida de los afectados. La metodología SILVIO se establece con la creación de un índice de vulnerabilidad social a partir de variables demográficas, económicas y sociales (Índice de Vulnerabilidad Social - SVI) y en un análisis de correlación entre este índice y las dos variables climáticas locales seleccionadas: temperatura y precipitación (Variables Climáticas Locales - LCV). La aplicación de SILVIO se basa en el ejemplo de un área de estudio demarcada del departamento de Huaráz en los Andes peruanos. Tanto las variables del Índice de Vulnerabilidad Social (SVI) como las variables climáticas locales (LCV) fueron seleccionadas a partir de discusiones y entrevistas con expertos y conocedores de la región de investigación y evaluadas por residentes y expertos locales del área.

Para el SVI los datos sociales y demográficos se consideraron de diversas fuentes, algunas con perspectiva económica como la minería y otras fuentes con perspectiva demográfica, como Salud. Estos datos se analizaron mediante métodos estadísticos y se incorporaron a un modelo aditivo ponderado. Los datos utilizados incluyen las variables minería, turismo, agricultura, migración, analfabetismo y salud para el departamento de Huaráz (Perú) de 2005 a 2012 y el SVI fue recalculado en 2017 para su comparación. Para ello, se consultó a expertos de la cooperación alemana para el desarrollo en el Perú sobre la ponderación de las variables. El objetivo era comparar las opiniones de dos grupos diferentes de actores con respecto a la reducción de la vulnerabilidad social en la región.

La selección de las dos variables climáticas locales (LCV) se basó en la investigación bibliográfica. Según el análisis del autor, los ciclos de precipitación y las fluctuaciones de temperatura son factores representativos de la dinámica del clima local en las regiones glaciares, a las que pertenece la región de estudio de este trabajo.

El interés central de la investigación en el desarrollo de la metodología SILVIO es la observación de procesos intermedios en la dinámica de la vulnerabilidad social. Tales procesos son, por ejemplo, las tendencias de vulnerabilidad y la relación de estas tendencias con otros procesos como los cambios en las condiciones climáticas a lo largo del tiempo.

En SILVIO se desarrollan procedimientos de agregación de variables, ponderación de estimaciones y correlación de datos de proceso para la estructuración de un indicador de vulnerabilidad social SVI. El comportamiento del SVI se analiza luego en el marco de variación de las condiciones climáticas locales.

Descriptor: vulnerabilidad social, cambio climático local, Perú, indicadores, metodología, modelado

## **ABSTRACT**

This research presents the methodology SILVIO (Social Vulnerability Order-Methodology), a method for the analysis of social vulnerability under the influence of local climate change. Social vulnerability is understood here as a multitude of relationships between society and the environment that can impact on the lifestyles of those affected. The methodology SILVIO is built on the creation of an index of social vulnerability from demographic, economic and social variables (Social Vulnerability Index - SVI) and on a correlation analysis between this index and the two selected local climate variables temperature and precipitation (Local Climate Variables - LCV). The application of SILVIO is based on the example of a demarcated study area of the Huaraz department in the Peruvian Andes. Both the variables for the Social Vulnerability Index (SVI) and the local climate variables (LCV) were selected on the basis of discussions and interviews with experts and persons knowing the research region and evaluated by residents and local experts from the area itself.

For the SVI, social and demographic data were considered from an economic perspective, analyzed using statistical methods and incorporated into an additive and weighted model. The data used include the variables mining, tourism, agriculture, migration, illiteracy and health for the department Huaraz in Peru from 2005 to 2012. The SVI was recalculated in 2017 for comparison. For this purpose, experts from German development cooperation in Peru were asked about their weighting of the variables. The aim was to compare the views of two different groups of actors with regard to reducing social vulnerability in the region.

The selection of the two local climate variables (LCV) was based on the literature research. According to the author's analysis, precipitation cycles and temperature fluctuations are representative factors for the dynamics of the local climate in glacial areas, to which the study region of this paper belongs.

The central research interest in the development of the methodology SILVIO is the observation of intermediate processes in the dynamics of social vulnerability. Such processes are, for example, tendencies in vulnerability and the relationship of these tendencies with other processes such as changes in climatic conditions over time.

SILVIO implies procedures for the aggregation of variables, the weighting of estimations and correlation of process data for the structuring of an indicator of social vulnerability SVI. The behavior of the SVI is then analyzed under the framework of changing local climate conditions.

**Descriptors:** social vulnerability, local climate change, Peru, indicators, methodology, modelling

# DANKSAGUNG

*Der Erfolg eines Projekts wird durch die Hilfe, Unterstützung und eine große Dosis Geduld von vielen Menschen erreicht. Alle zu nennen wird schwierig, weshalb ich mir erlaube allgemein DANKE!! zu sagen. Ich richte mich besonders an diejenigen, die mir nah am Herzen liegen und eng mit mir zusammen an diesem Projekt gearbeitet haben:*

*An meine Eltern, Minerva und Silvio, die mich gefördert haben das Beste aus mir herauszuholen und mir eine Konstante und kontinuierlich gutes Vorbild waren. Ich danke Euch von ganzem Herzen und möchte Euch dazu einladen, diesen Erfolg mit mir zu teilen, er gehört auch Euch.*

*An Felix, für die Geduld, die Unterstützung und die beständige Begleitung bei diesem und allen anderen großen akademischen und persönlichen Erfolgen. Dieses Gelingen widme ich hauptsächlich Dir.*

*An meine Schwiegereltern Wilma und Hans-Wilhelm, die mich so herzlich wie eine Tochter aufgenommen haben. Ihr habt mir ein zu Hause gegeben und mich die Liebe und den Zusammenhalt von Familie in Deutschland spüren lassen.*

*An meine López, besonders an Tatiana, Silvio Dimitri, Alexis und Rafael Eduardo. Danke für das Vorbild und die beständigen motivierenden Worte. Ich liebe Euch.*

*Ein besonderer Dank geht an meine Tutorin Prof.Dr. Martina Neuburger. Der Optimismus und die positive Energie, die Dich antreiben, spiegeln sich in allem wieder, was Du tust. Danke für Deine immerwährende Hilfe, dafür, dass Du eine Problemlöserin bist, und für die Orientierung und akademischen Ratschläge, die Du mir immer gegeben hast. Bei Prof.Dr. Jürgen Scheffran möchte ich mich besonders für die hilfreichen Diskussionen, die vielen Vorschläge und die Erstellung des Zweitgutachtens ganz herzlich bedanken.*

*An Prof. Sebastián Medina für seine reichliche akademische Unterstützung und für eine echte Freundschaft, die uns im Laufe der Zeit zu einer Familie gemacht hat. Danke dass Du immer da warst, mit viel Geduld und ständiger Unterstützung, vor allem beim Korrekturlesen und der Betreuung dieser Arbeit.*

*Mein Dank geht auch an den Tiroler Wissenschaftsfonds (TWF), mit dessen finanzieller Förderung die Datenerhebung in Peru ermöglicht wurde, und an die Abteilung für Forschung und Wissenschaftsförderung der Universität Hamburg, mit deren Unterstützung die Vorstellung dieser Forschungsarbeit beim 7. Internationalen Kongress der International Ecological Environmental Modeling and Software society (IEMSs) 2014 in San Diego finanziert wurde.*

*An Cecilia Cuesta, Ann-Kathrin Petersen, Carlos Dávila, HaGe Wolff und Mary García, für das geduldige Durchlesen, die Verbesserungs- und Korrekturvorschläge dieser Arbeit. Ich bin Euch sehr dankbar für die vielen Stunde und langen Nächte der Zusammenarbeit.*

*Des Weiteren gebührt ein herzliches Dankeschön an Geraldine, Gisela, Kathy, Bohnitto, Isabell, Samiramiss und MaSú, die mir während der Anfertigung der Dissertation zur Seite standen, mich immer unterstützt, inspiriert, aber vor allem liebevoll motiviert haben.*

*Mein ganz besonderer Dank gilt meinen Töchtern, Julia Sophie und Anna Malena. Ihr seid der Antrieb für dieses und alle meine großen Projekte. Danke für Euer Verständnis für die Familienerlebnisse, bei denen ich gefehlt habe, die Urlaube, bei denen ich nicht mitgekommen bin und die vielen Familienaktivitäten, die ich nicht mit Euch teilen konnte. Genießt diesen Erfolg, denn er ist für Euch und nur durch Euch möglich gewesen.*

# INHALTSVERZEICHNIS

Eidesstattliche Versicherung .....	iii
Zusammenfassung .....	iv
Resumen.....	vi
Abstract .....	viii
Danksagung .....	x
Inhaltsverzeichnis.....	xi
Abbildungsverzeichnis .....	xiii
Tabellenverzeichnis .....	xiv
Verzeichnis der Grafiken.....	xvi
<b>1. ALLGEMEINE EINFÜHRUNG .....</b>	<b>17</b>
1.1 Übersicht über den Inhalt .....	18
1.2 Zielsetzung.....	19
1.3 Forschungskonzept und Vorgehensweise.....	20
<b>2. THEORETISCHER RAHMEN .....</b>	<b>24</b>
2.1 Einführung.....	24
2.2 Soziale Verwundbarkeit .....	26
2.3 Anpassungsfähigkeit sozialer Systeme als Ausdruck sozialer Verwundbarkeit.....	30
2.4 Soziale Verwundbarkeit und Klimawandel.....	33
2.5 Lokale Klimabedingungen und Klimaveränderung.....	37
2.6 Das Untersuchungsgebiet .....	42
2.6.1 Exkurs zum Wassermanagement.....	44
2.6.2 Eignung des Untersuchungsgebiets für die Forschungsfrage .....	46
2.7 Index sozialer Verwundbarkeit .....	47
2.8 Grundelemente der Fuzzy-Theorie und <i>Expertones</i> .....	51
2.9 Modellierung und Simulation sozial-ökologischer Systeme .....	52
2.10 Objektivität und lokales Wissen.....	54
2.11 SILVIO als Tool für die vorliegende Fragestellung.....	56
<b>3. DARSTELLUNG DER METHODIK.....</b>	<b>58</b>
3.1 Fuzzy Logik und Mathematik der Unsicherheit .....	59
3.2 Entwicklung der Methodologie SILVIO.....	63
3.3 Mehrwert von SILVIO für die Analyse sozialer Verwundbarkeit .....	82
<b>4. BESCHREIBUNG DER ERGEBNISSE .....</b>	<b>88</b>
4.1 Struktur der SILVIO-Methodologie.....	88
4.1.1 Annahmen .....	89
4.1.2 Computer gestützte Berechnung .....	90
4.1.3 Analyse .....	91
4.2 Datenrecherche, Identifikation und Hierarchisierung von Variablen .....	91
4.3 Auswahl des Konfidenzniveaus, Berechnung der Gewichtungskoeffizienten und statistische Bearbeitung der Daten .....	97
4.4 Berechnung des Index sozialer Verwundbarkeit SVI.....	115

<b>4.5 Lokale Klimavariablen LCV .....</b>	<b>119</b>
<b>4.6 Korrelation von SVI und LCV.....</b>	<b>134</b>
<b>4.7 Vergleichende Analyse .....</b>	<b>139</b>
4.7.1. SVI für verschiedene Konfidenzniveaus .....	139
4.7.2. Vergleich zwischen SVI ( $\alpha: 0,5$ ) und jeder einzelnen der Variablen.....	140
4.7.3 Gültigkeit des Modells .....	142
4.7.4 Vergleich zwischen den Expertengruppen .....	146
<b>4.8 Zusammenfassung Kapitel 4.....</b>	<b>150</b>
<b>5. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUGEN .....</b>	<b>154</b>
5.1 Vorstellung der Zielerreichung.....	155
5.2 SILVIO, Ein Modell zur Analyse der Sozialen Verwundbarkeit unter dem Einfluss von Klimaveränderungen. Grenzen der Forschung.....	160
5.3 Empfehlungen für weiterführende Arbeiten und zukünftige Forschung	162
5.4 Zukünftige Forschung.....	163
<b>6 LITERATUR .....</b>	<b>165</b>
<b>7 ANHANG.....</b>	<b>190</b>
Anhang 1: Befragung 1. Offener Fragebogen.....	190
Anhang 2: Befragung 2. Maßgebliche Variablen in der Region.....	193
Anhang 3: Bewertungen der lokalen Experten.....	195
Anhang 4: Befehle zur Berechnung der kleinste Quadrate-Methode mit MatLab.....	196
Anhang 5: MatLab Berechnung des EXPERTONS.....	199
Anhang 6: MatLab Code zur Berechnung des SVI.....	210
Anhang 7: MatLab Befehle zur Typisierung der Variablen.....	212
Anhang 8: MatLab Code für die Korrelation.....	229
Anhang 9: Befragung deutscher Experten zur Region.....	231
Anhang 10: Vergleichende Grafiken des SVI mit seinen einzelnen Variablen.....	234
Anhang 11: Gewichtung der Variablen durch die deutschen Experten.....	237
Anhang 12: Eigene Publikationen.....	238

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Der Berg Nevado San Juan mit dem gleichnamigen Gletscher, Shallap-Tal, Peru. (Quelle: eigene Aufnahme, 2013) .....	23
Abbildung 2: Faktoren der Verwundbarkeit des Menschen durch Klimaveränderung für Regionen Süd- und Mittelamerikas (Quelle: IPCC 2014, S.1543) .....	26
Abbildung 3: Bewohner des Tals Quebrada Shallap, Peru. (Foto: M. Neuburger, 2010).....	34
Abbildung 4: Zeitliche Veränderung von Temperatur und Niederschlag in Süd- und Mittelamerika (Quelle: IPCC 2014, S.1513) .....	41
Abbildung 5: Berg Nevado San Juan mit gleichnamigem Gletscher, Quebrada Shallap, Peru (Eigene Aufnahme, 2013) .....	42
Abbildung 6: Untersuchungsgebiet Quebrada Shallap östlich von Huaraz im Departement Ancash, Peru (Quelle: Alpenvereinskarte, Cordillera Blanca, Süd (Peru) O/3b 1:100000).....	43
Abbildung 7: Ansicht der Siedlung Paquishca (Eigene Aufnahme, 2013).....	44
Abbildung 8: Untersuchungsgebiet Quebrada Shallap und Umgebung, Provinz Ancash, Peru Quelle: Gurgiser, Kaser, Neuburger, Bregulla (2010 o.S.) .....	47
Abbildung 9: Dynamik eines Systems. (Quelle: Medina S. 2010, Folie 5) .....	53
Abbildung 10: Schematische Darstellung der Entwicklung von Silvio .....	64
Abbildung 11: Im Interview mit Bewohnern des Tals Quebrada Shallap (Eigene Aufnahme, 2013) .....	68
Abbildung 12: Darstellung von Häufigkeitsverteilung und Konfidenzniveau.....	75
Abbildung 13. Lineare Annäherung der Migrationsrate .....	108

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Zuordnung der Bewertungen der Experten $ M _1$ .....	69
Tabelle 2: Einschätzungen der Experten. (Beispiel von Gil-Aluja, J. 1990) .....	70
Tabelle 3: Kumulierte Häufigkeit der Bewertungen $ M _2$ .....	71
Tabelle 4: Normalisierte Häufigkeit der Bewertungen $ M _3$ .....	72
Tabelle 5: Kumulative komplementäre Verteilungsfunktion (Experton).....	73
Tabelle 6: Bewertungen der Experten $ M _1$ .....	93
Tabelle 7: Kumulierte Häufigkeit der Bewertungen $ M _2$ .....	94
Tabelle 8: Normalisierte Häufigkeiten der Bewertungen $ M _3$ .....	95
Tabelle 9: <i>Experton</i> $ M _4$ .....	96
Tabelle 10: Normalisierte Werte ausgewählter Konfidenzniveaus .....	98
Tabelle 11: Normalisierte Koeffizienten $C_G$ der Variablen des SVI .....	99
Tabelle 12: Originaldaten für Peru und Ancash (QUELLE: <a href="#">INEI, 2015</a> ).....	100
Tabelle 13: Ergebnis der Berechnung der Variable Bergbau 2005-2012.....	101
Tabelle 14: Ergebnis der Berechnung der Variable Tourismus 2005-2012.....	102
Tabelle 15: Ergebnis der Berechnung der Variable Landwirtschaft 2005-2012 .....	103
Tabelle 16: Ergebnis der Berechnung der Variable Analphabetismus 2005-2012..	104
Tabelle 17: Ergebnis der Berechnung der Variable Gesundheit 2005-2012 .....	105
Tabelle 18: Ein- und Auswanderungszahlen für das Departement Ancash für die Jahre 1961, 1972, 1981, 1993 und 2007 (in Personen, Quelle: INEI 2015.....	106
Tabelle 18a: Berechnung der Auswanderungsrate .....	106
Tabelle 19: Ergebnisse der Hochrechnung für die standardisierte Migrationsrate 2005-2012 .....	107
Tabelle 20: Basisdaten der sozialen Variablen des SVI für die Anwendung des Modells .....	109
Tabelle 21: Ergebnis der Berechnung der Standardisierung der Variable Intensiver Bergbau 2005-2012.....	110
Tabelle 22: Ergebnis der Berechnung der Standardisierung der Variable Tourismus 2005-2012 .....	111
Tabelle 23: Ergebnis der Berechnung der Standardisierung der Variable Landwirtschaft 2005-2012 .....	111
Tabelle 24: Ergebnis der Berechnung der Standardisierung der Variable Migration 2005-2012 .....	112
Tabelle 25: Ergebnis der Berechnung der Standardisierung der Variable Analphabetismus 2005-2012.....	113

Tabelle 26: Ergebnis der Berechnung der Standardisierung der Variable Gesundheit 2005-2012 .....	114
Tabelle 27: Zusammenfassung aller standardisierten Variablen.....	115
Tabelle 28: Übersicht aller standardisierten Variablen und SVI für die Jahre 2005-2012.....	117
Tabelle 29: Standardisierte Variablen von SILVIO .....	120
Tabelle 30: INEI-Metadaten für die Variable Temperatur (INEI 2014, eigene Übersetzung) .....	121
Tabelle 31: Durchschnittliche Jahreshöchsttemperaturen für das Departement Ancash (Quelle: INEI 2014) .....	122
Tabelle 32: INEI-Metadaten für die Variable Niederschlag (INEI 2014, eigene Übersetzung) .....	123
Tabelle 33: Jahresniederschlagsdaten für das Departement Ancash .....	124
Tabelle 34: Jahresniederschläge und Durchschnittswerte für die Departements Ancash, Cajamarca und Huanuco (in mm).....	125
Tabelle 35: Errechnete Werte der Klimavariablen Niederschlag .....	127
Tabelle 36: Daten der beiden Klimavariablen zur Anwendung im Modell .....	128
Tabelle 37: Ergebnis der Standardisierung der Variable Temperatur 2005-2012 ...	129
Tabelle 38: Ergebnis der Standardisierung der Variable Niederschlag 2005-2012.	131
Tabelle 39: Zusammenfassung der standardisierten Werte der Klimavariablen .....	132
Tabelle 40: Standardisierte Variablen und SVI.....	134
Tabelle 41: Korrelation zwischen standardisierten lokalen Klimavariablen (LCV) und SVI .....	135
Tabelle 42: Ergebnis der Berechnung des $SVI_{2012}$ für verschiedene Konfidenzniveaus .....	139
Tabelle 43: Bewertungen der Variablen des SVI durch deutsche Experten 2017...	143
Tabelle 44: Experten der Bewertung durch deutsche Experten 2017 und normalisierte Koeffizienten $C_i$ für das Konfidenzniveau $\alpha = 0,5$ .....	144
Tabelle 45: Zusammenfassung aller typisierten Variablen und $SVI_{2017}$ für die Bewertung durch deutsche Experten 2017 .....	145

## VERZEICHNIS DER GRAFIKEN

Grafik 1: Zeitliche Entwicklung des SVI .....	118
Grafik 2: Zeitliche Entwicklung der lokalen Klimavariablen .....	133
Grafik 3: SILVIO: Vergleichende Darstellung von SVI2012 mit den Variablen Temperatur und Niederschlag .....	137
Grafik 4: Vergleichende Darstellung des SVI2012 für verschiedene Konfidenzniveaus ( $\alpha$ -Level) .....	140
Grafik 5: Vergleichende Darstellung des SVI2012 mit jeder einzelnen Variable .....	141
Grafik 6: Zeitliche Entwicklung des SVIz aus der Expertenbefragung 2017 .....	146
Grafik 7: Vergleich des zeitlichen Verlaufs zwischen SVI2012 und SVI2017 .....	147
Grafik 8: Vergleichende Darstellung des SVI2017 mit jeder einzelnen Variable .....	148
Grafik 9: Vergleichende Darstellung von SILVIO für SVI2012 und SVI2017 mit den Variablen Temperatur und Niederschlag .....	149

# 1. ALLGEMEINE EINFÜHRUNG

Die vorliegende Arbeit möchte die gesellschaftliche Dynamik in unmittelbarer Umgebung von Gletschergebieten unter dem Einfluss der lokalen Veränderung in Temperatur und Niederschlagszyklen untersuchen, wobei die Analyse, Modellierung und Simulation des sozialökologischen Konzeptes der Verwundbarkeit (Vulnerabilität) im Zentrum des Forschungsinteresses steht. Dabei geht es nicht nur um eine lokale Betrachtung der Beispielregion in der peruanischen Cordillera Blanca, sondern vor allem auch um die Analyse der Verwundbarkeit in den Mensch-Umwelt Beziehungen mittels eines holistischen und systemischen Ansatzes, welcher Gemeinsamkeiten und den Austausch mit der Bevölkerung in der Region und im Land sucht.

Die Veränderungen in der unmittelbaren natürlichen Umgebung, die sozialen Konflikte über die Kontrolle von immer knapper werdenden Wasserressourcen, die Abnahme der landwirtschaftlichen Produktion, wenn diese die einzige Einkunftsquelle für den Lebensunterhalt darstellt, sowie die latenten geomorphologischen Risiken, bewirken, dass die Siedlungen in unmittelbarer Nähe und im Einflussbereich von Gletschern ein hohes Risikopotential für Verwundbarkeit aufweisen und in jüngerer Zeit als *fragil* (Neuburger, M. 2013, o. [Seitenangabe](#)) betrachtet werden können.

Die Untersuchung von Mensch-Umwelt-Beziehungen unter dem Einfluss der lokalen Klimaveränderung und der Versuch Erklärungsansätze zu finden, machen eine Prozessanalyse und Prozessdefinition erforderlich. Der Grad der Interaktion und des Vertrauens zwischen den Hauptakteuren in Mensch-Umwelt-Beziehungen, die geographische Lage und die Gefährdung der Wasserressourcen sind - neben anderen – besonders relevante Faktoren, die in Studien zu geographischen, sozialen und ökologischen Aspekten in den andinen Gletscherregionen zu finden sind (z.B. Carey, Kaser, Lipton u.a.).

## 1.1 Übersicht über den Inhalt

Nach der allgemeinen Einführung werden in Kapitel 2 die Grundlagen des Verwundbarkeitskonzeptes als sozialwissenschaftliche Basis erläutert und die naturwissenschaftlichen Erkenntnisse zum Klimawandel sowie die Verknüpfung von Verwundbarkeit und Klimawandel für die regionale Ebene eingehend betrachtet. Es folgt eine Vorstellung und allgemeine Beschreibung der Untersuchungsregion. Danach werden die mathematischen Grundlagen für die Modellierung und insbesondere die Anwendung von statistischen Methoden und Methoden der Fuzzy Logik (Verwendung von *Expertonen*) vorgestellt. Abschließend wird die Eignung von SILVIO für die vorliegende Fragestellung dargelegt.

Das Kapitel 3 widmet sich der Darstellung der Methodik. Nach einem vertiefenden Exkurs zur Fuzzy Logik und Unsicherheit, wird die Entwicklung der Methodologie SILVIO in sechs Schritten vorgestellt. Ausgehend von der Beschreibung der Informationsrecherche und durchgeführten Befragungen, wird die Verarbeitung der Daten mit Hilfe der Konstruktion von *Expertonen* dargestellt. Die subjektive Komponente bei der Handhabung der Daten wird ebenso wie die statistische Analyse, in diesem Fall Normalisierung und Typisierung der sozialen Daten und der Klimavariablen, erläutert. Die Zusammensetzung des Index Sozialer Verwundbarkeit (Social Vulnerability Index - SVI) und die statistische Korrelation desselben mit den Umweltdaten werden erklärt. Sie beschreiben schließlich die in dieser Arbeit entwickelte Methodologie SILVIO (**SociaL Vulnerability Order-Methodology**), eine Methode zur Analyse der sozialen Verwundbarkeit unter dem Einfluss der Veränderung von Temperatur und Niederschlag. Der Beitrag dieser neuen Methodik zur Untersuchung von Verwundbarkeit, d.h. der Mehrwert von SILVIO für die Analyse sozialer Verwundbarkeit wird am Ende dieses Kapitels ausführlich diskutiert.

Im Kapitel 4 werden Annahmen aufgestellt, Rechnungsdurchläufe der Simulation durchgeführt sowie die Grafiken des SVI und seiner Kombination mit den lokalen klimatischen Variablen analysiert. Die vollständigen Grafiken sind in Anhang 10 (Vergleichende Grafiken des SVI mit seinen einzelnen Variablen) zu finden. Diskutiert werden auch die Ergebnisse der Simulation von SILVIO im Departement

Huaraz. Schließlich erfolgt ein Vergleich zwischen den beiden gebildeten Indizes Sozialer Verwundbarkeit SVI2012 und SVI2017.

Kapitel 5 stellt Ergebnisse und Schlussfolgerungen der Untersuchung vor sowie und gibt Empfehlungen für weitere zukünftige Forschungsaktivitäten.

Kapitel 6 beinhaltet die für diese Arbeit verwendete Literatur und sonstige Quellen während Kapitel 7 den Anhang mit relevantem Material wie Fragebögen, Algorithmen, Datensammlungen, Schätzungen und Berechnungen sowie den Experten bildet.

## **1.2 Zielsetzung**

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Methodologie zur Modellierung und Simulation des sozialökologischen Konzepts der Verwundbarkeit am Beispiel von Gesellschaften in unmittelbarer Umgebung von Gletschergebieten und unter Berücksichtigung lokaler klimatischer Bedingungen. Das vorgestellte Forschungsvorhaben präsentiert ein Computer basiertes Modell, das erstmals sozioökologische Aspekte, die Verwundbarkeit der Bevölkerung und die lokale Klimaveränderung als ein System berücksichtigt. Das Modell soll die Mensch-Umwelt-Beziehungen beschreiben und mögliche Handlungsalternativen für die betroffene Bevölkerung und Entscheidungsträger vorstellen.

Die beschriebene Gesamtzielsetzung lässt sich in drei Teilbereiche – soziale, ökologische und wissenschaftliche Zielsetzungen – untergliedern und in Form von spezifischen Unterzielen näher beschreiben:

### Soziale Ziele

- Identifikation von relevanten Faktoren für Verwundbarkeit der in der Umgebung von Gletschergebieten lebenden Bevölkerung.
- Beteiligung der Bevölkerung bei der Identifikation und Gewichtung der relevanten Variablen für die Gestaltung des Modells.
- Entwicklung einer Methodologie, die Informationen für die involvierten Akteure anbietet, um sie für den Dialog und die Zusammenarbeit zu motivieren.

## Umweltbezogene Ziele

- Einen Beitrag leisten zur Erforschung der Wahrnehmung des Problems der globalen Klimaveränderung und ihrer lokalen Folgen für die Region.
- Die Diskussion und Suche nach Alternativen für den Umgang mit Umweltveränderung bei den Akteuren fördern.

## Wissenschaftliche Ziele

- Anwendung der systemischen Theorie und Modellierung des dynamischen sozial-ökologischen Systems in der Untersuchungsregion.
- Einen Beitrag leisten zur Forschung über Verwundbarkeit.
- Austausch und Rückkoppelung mit bestehenden Forschungsansätzen..

### **1.3 Forschungskonzept und Vorgehensweise**

Die vorliegende Arbeit bedient sich der Methoden der Systemanalyse und Simulation, um das komplexe Gefüge von Akteuren und Beziehungen (sozialökologisches System) zu analysieren, darzustellen und eine umfassende Betrachtung der Forschungsfragestellung zu ermöglichen. Sie beruht sowohl auf der Analyse und Systematisierung der einschlägigen Literatur als auch auf empirischer Feldforschung in der gewählten Untersuchungsregion. Dabei kommen multiple Methoden wie etwa Leitfaden gestützte Interviews, strukturierte und auch partizipative Beobachtungen zum Einsatz. Der Modellierungs- und Simulationsprozess ist Teil eines wissenschaftlichen Forschungszyklus und besteht aus einer logischen Kombination von Elementen, welche im Folgenden beschrieben werden ([Medina, S. 2010, S. 5; Medina, S. und Moya, J. 2017](#)):

- Validierung: Aufgrund der Natur des Forschungsprojekts wird die Anwendung von Methoden der mathematischen Berechnung und Bestätigung an Hand eines bekannten Beispiels (Basissystem) notwendig, um zu kontrollieren. Damit möchte man herausfinden, ob die den Daten zugrunde liegenden Informationen ausreichend sind und ob das Model aussagekräftig ist. Anderenfalls muss die Daten- und Informationsgrundlage erweitert oder neu ausgesucht werden.

- Vergleich: Darüber hinaus wird an Hand des Basissystems simuliert, ob in den Ergebnissen Unterschiede zu dem zu entwickelnden mathematischen Modell bestehen.
- Simulation und Analyse: Über die Programmierung des mathematischen Modells und seine kontinuierliche Validierung wird die Ergebnisanalyse und Suche nach kritischen Punkten (Knoten- oder Konfliktpunkte) durchgeführt.
- Systemanalyse: Bei der Entwicklung des vorgestellten mathematischen Modells werden Methoden der Analyse dynamischer Systeme und der Untersuchung weicher Systeme (*soft systems*) angewandt.
- Interpretation der Ergebnisse: Durch die Analyse und Bewertung der Ergebnisse können Antworten hinsichtlich der zu Beginn gesetzten Ziele und Fragestellung gegeben werden.

Diese Elemente sind auch Grundlage für die vorliegende Arbeit und werden an den Forschungskontext nach Bedarf angepasst. Dabei lässt sich die Vorgehensweise für die Entwicklung dieser Arbeit in 5 Phasen einteilen, die wie folgt beschrieben sind:

#### Phase 1: Inhaltliche und organisatorische Vorbereitung, Informationsrecherche

In dieser Phase wurden die Thematik und die damit zusammenhängenden Konzepte ausgearbeitet und in den Kontext gesetzt. Weiterhin erfolgten die Recherche und die Klassifizierung der Literatur zum Forschungsthema sowie von Daten, Statistiken, Projekten und anderen Veröffentlichungen. Es wurden Gespräche mit Fachleuten in Peru, Deutschland und Österreich durchgeführt und über eine Internetrecherche weltweit Forschungszentren identifiziert, die in verwandten Themengebieten oder in der Untersuchungsregion gearbeitet haben.

#### Phase 2: Erarbeitung der theoretischen Grundlagen, konzeptionelle Verfeinerung des Forschungsdesigns

Als Vorbereitung der Reise in die Forschungsregion sind die vorhandenen Daten im Hinblick auf eine präzise und klar abgegrenzte Definition der Variablen und Indikatoren des zu untersuchenden Systems analysiert worden. Darauf folgte die Vorbereitung des Forschungsaufenthaltes: Arbeitsplanung, Identifizierung der zu besuchenden Personen und Institutionen, Ausarbeitung von Fragebögen und

Interviewleitfäden sowie von Schemata zur Informationsverarbeitung, Planung der Teilnahme an Veranstaltungen wie Seminaren, Workshops, Versammlungen mit den im Thema involvierten Akteuren (Stakeholder).

Phase 3: Feldstudie in der Forschungsregion (Peru), konzeptionelle Verfeinerung der Forschungsstruktur, Modellierung des Systems

Diese Phase beinhaltete schwerpunktmäßig die Durchführung von Feldstudien in Peru, bestehend aus Interviews und strukturierten Beobachtungen sowie der Teilnahme an Veranstaltungen mit den Stakeholdern. Es wurde versucht, einen persönlichen Kontakt zu den Forschungszentren im Land aufzubauen, die sich bisher mit der zu untersuchenden Problematik der Verwundbarkeit in der Region, beschäftigt haben. Außerdem wurden Besuche bei Institutionen und Forschungseinrichtungen durchgeführt, bei denen, neben der Informationsbeschaffung, auch nach der Möglichkeit gefragt wurde, das eigene Forschungsthema und den eigenen Ansatz vorstellen zu können. In dieser Phase wurde auch die Identifikation des Systems sowie des Modellierungsverfahrens weitgehend abgeschlossen. Bei den Arbeiten vor Ort wurde auf die Kontakte zu Fachinstitutionen in Peru wie dem nationalen meteorologischen Dienst SENAMHI<sup>2</sup>, der nationalen Wasserbehörde ANA<sup>3</sup> sowie zum Umweltministerium aufgebaut.

Phase 4: Bewertung und Analyse des Modells, Interpretation des Modells

Im Anschluss an die Feldforschung begann der Prozess der Auswertung der erhobenen Daten und Informationen aus Interviews, Befragungen, strukturierten Beobachtungen und Veranstaltungsteilnahmen. Die Verfeinerung des Modells und die präzise Definition der Akteure, Indikatoren, Prozesse und Beziehungen zwischen den Elementen des Systems gehörten in einem zweiten Schritt ebenso dazu wie die Validierung der Ergebnisse. In dieser Arbeitsphase, wurde ein Teil der vorläufigen Ergebnisse auf mehreren thematisch relevanten Fachtagungen vorgestellt.

Phase 5: Simulation, schriftliche Ausarbeitung und Vorstellung

---

<sup>2</sup> Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

<sup>3</sup> Autoridad Nacional del Agua

Im finalen Abschnitt bekam das Modell den letzten Schliff, und die Ergebnisse der SILVIO Methodologie wurden interpretiert. Auf Basis der Resultate, die auch in einem Diskussions- und Austauschprozess mit Fachleuten validiert wurden, sind Empfehlungen als Beitrag zur Erklärung der Forschungsproblematik entwickelt worden. Die Schlüsse und Empfehlungen wurden in dieser Phase niedergeschrieben und zusammen mit den übrigen Kapiteln der Forschungsarbeit in die endgültige Form gebracht.



**Abbildung 1: Der Berg Nevado San Juan mit dem gleichnamigen Gletscher, Shallap-Tal, Peru. (Quelle: eigene Aufnahme, 2013)**

## 2. THEORETISCHER RAHMEN

*“Despite more than a decade’s worth of collective research experience on the concept, vulnerability still means different things to different people.” (Cutter, S. 1996, S.531)*

### 2.1 Einführung

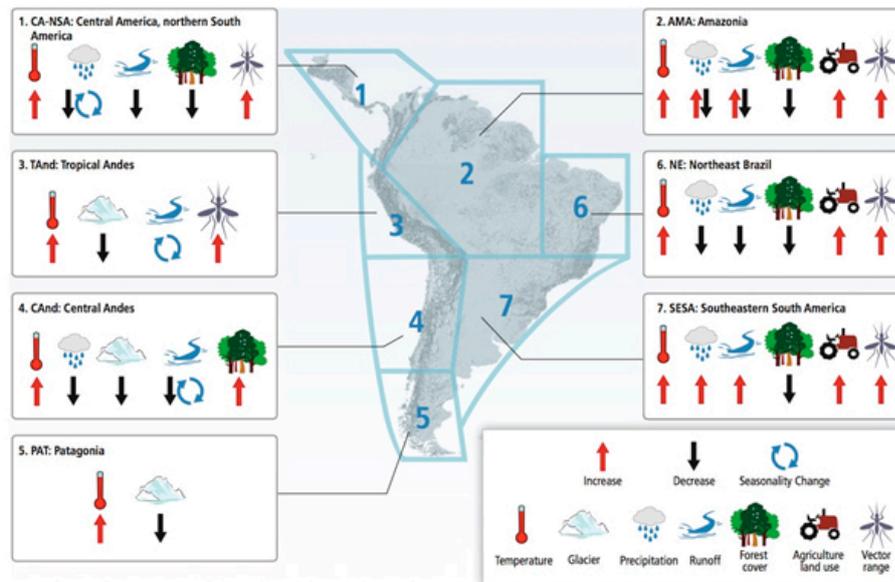
Zunächst wird das Konzept der Verwundbarkeit definiert, welches die Grundlage für die hier neu entwickelte Methodologie SILVIO darstellt. Dabei ist es wichtig klarzustellen, dass das vorgestellte Konzept von Verwundbarkeit keine eigene Idee ist, sondern die thematische Zusammenstellung der Überlegungen anderer Autoren. Verwundbarkeit ist in der Literatur aus diversen Blickwinkeln beschrieben worden, welche jeweils unterschiedliche Perspektiven und Schwerpunktsetzungen der Autoren widerspiegeln. Es gibt somit eine Reihe von Definitionen, die Verwundbarkeit beschreiben. Einige davon werden im Folgenden beispielhaft vorgestellt. Für die vorliegende Arbeit lässt sich das Verständnis des Konzepts der Verwundbarkeit mit folgenden Begriffen beschreiben: Bedrohung, multivariables System, Auswirkung auf Menschen, zeitgebundener Prozess, verbunden mit dem Anpassungsvermögen und von klimatischen Veränderungen beeinflusst.

Verschiedene Autoren betrachten Verwundbarkeit in Zusammenhang mit teilweise sehr unterschiedlichen Aspekten. Jedoch sind alle einig in der Feststellung, dass Verwundbarkeit ein heterogenes Konzept ist, (Mallick, B. 2014). In Bezug auf den Aspekt der *Bedrohung* wird Verwundbarkeit unter anderem als „*Gefahr von Hitzewellen und Trockenperioden mit negativen Folgen für die menschliche Gesundheit, das Bauwesen und die Land- und Forstwirtschaft*“ definiert (UBA 2015, S.3). In diesem Sinne wird sie auch als *“Störempfindlichkeit bezüglich Schädigung und fehlendes Reaktions- und Anpassungsvermögen“* verstanden (IPCC 2014, S.1530, eigene Übersetzung). Cutter betrachtet Verwundbarkeit als potenzielle Bedrohung des Verlusts menschlichen Lebens (Cutter, S. 1996).

Ein weiterer Aspekt von Verwundbarkeit wird als Anpassungsvermögen verstanden, hier beispielhaft hinsichtlich des Klimawandels oder gegenüber Klimaveränderungen:

„Da sich die traditionellen Formen des Lebens und Arbeitens recht flexibel an die neuen Rahmen-/Grenzbedingungen angepasst haben, sind die Verwundbarkeiten jedes einzelnen Haushalts und der jeweilige Handlungsspielraum dynamischer geworden...“ (Neuburger, M. et al. 2012, eigene Übersetzung). „Verwundbarkeit ist abhängig von der Person, der Art des Ereignisses und den gegen die Gefährdung unternommenen Maßnahmen. Manche Personen können stärker verwundbar gegenüber demselben Ereignis sein als andere und manche können gar nicht verwundbar sein. Ein Verwundbarkeit erzeugendes Ereignis kann durch Reaktionen zum Schutz vor dem Ereignis kompensiert oder von vorne herein vermieden werden.“ (Scheffran, J. et al 2010, eigene Übersetzung, Gioli, G. 2016, S.165-166). „Die nachteiligen Auswirkungen des globalen Klimawandels sind ungleichmäßig zwischen den Regionen und Ländern verteilt, da sie letztendlich von der Verwundbarkeit und Anpassungsfähigkeit unterschiedlicher natürlicher und sozialer Systeme abhängen.“ (Grasso, M. et al. 2013, eigene Übersetzung), „die Anpassung ist Teil eines ständigen Prozesses und [sie] wird tatsächlich durch eine klare Zielsetzung zur Verminderung der Verwundbarkeit bewältigt“ (IPCC, 2014, eigene Übersetzung). Anpassungsfähigkeit wird allgemein als sehr bedeutend für Verwundbarkeit genannt, wie diese Zitate unterschiedlicher Quellen verdeutlichen.

Besonders verwundbar sind die Menschen durch direkte Auswirkungen der Veränderung in der natürlichen Umgebung. Bemerkenswerte Beispiele hierfür sind der Rückgang der Gletscher und die Veränderung in der Wasserführung von Haupt- und Nebenflüssen, die durch Veränderungen in den Meeren hervorgerufene Reduktion der Erträge aus dem Fischfang oder der allgemeine Anstieg der Temperatur, der eine Ausbreitung tropischer Krankheiten wie Denguefieber, Gelbfieber und Malaria begünstigt (siehe Abbildung 2). Diese Umweltveränderungen und ihre Folgen werden vom Weltklimarat (Intergovernmental Panel on Climate Change) als soziale Verwundbarkeit bezeichnet (IPCC 2014, S.1543). In der hier vorgelegten Arbeit wird Verwundbarkeit als soziales Konzept betrachtet und folgt dabei der Definition und Interpretation zahlreicher Autoren wie Adger, N. 2010, Ancash 1995, Ancash 1987, Ancash 2008-2009, Ancash 2005, AlpS 2009, Barnett, T. et al. 2007, Beaumont, L. et al. 2010, Ecodes, o.J., Carrere, J. 1998, Con, M. 2009, Cutter S. et al. 2009, Garcia, G. 2010, Georges, C. 2004, Hernandez, J. 2008, IPCC 2014, Mark B. et al. 2010, Minam, 2010, Vittal, H. et al. 2019).



**Abbildung 2: Faktoren der Verwundbarkeit des Menschen durch Klimaveränderung für Regionen Süd- und Mittelamerikas (Quelle: IPCC 2014, S.1543)**

## 2.2 Soziale Verwundbarkeit

Soziale Verwundbarkeit ist eine Eigenschaft einer Person oder Personengruppe, bestimmt durch eine Vielzahl von Beziehungen zwischen Gesellschaft und Umwelt, wobei individuelle und strukturelle Faktoren einbezogen werden müssen, die die Lebensweise der Betroffenen beeinträchtigen können.

Um diese Eigenschaft zu analysieren, wurde soziale Verwundbarkeit als zentrales Forschungsinteresse in dieser Arbeit unter Verwendung der Perspektiven der Nicht-Linearität (Adger, N. et al. 2004), der Betroffenheit (Neuburger, M. 2002), der Zeit- und Raumabhängigkeit (Cutter, S. 2003) und der Objektivität (Sahui, J. o.J.) betrachtet.

Unter nicht-linearen Systemen werden solche verstanden, deren Ausgangssignal nicht in proportionaler Beziehung zum ihrem Eingangssignal steht. Solche Systeme können deutlicher komplexer als lineare Systeme sein (Aracil, J. 1978), (Kaplan, D. 1995). In Bezug auf die Perspektive der Nicht-Linearität wird in der Sozialwissenschaft die soziale Verwundbarkeit als Teil eines nicht-linearen.

multivariablen und multidimensionalen Prozesses in einem System beschrieben, der für sein Verständnis einer holistischen Analyse bedarf.

Die Konsequenz ist, dass viele Beziehungen und Teilprozesse wegen ihres komplexen, vieldeutigen und schwierig zu beschreibenden Charakters unterschätzt oder nicht beachtet werden und deswegen den Vertrauensgrad der Analyse verringern (oder anders ausgedrückt die Unsicherheit erhöhen). Die Definitionen von sozialer Verwundbarkeit verschiedener Autoren weisen zahlreiche Gemeinsamkeiten und Übereinstimmung auf. Trotzdem ist es schwierig Methoden zur Analyse sozialer Verwundbarkeit in der Literatur zu finden. Dies könnte mit dem hohen Maß an Unsicherheit im Prozess oder, wie von (Adger, N. et al. 2004) beschrieben, mit der hohen Komplexität bei der Modellierung nicht-linearer menschlicher Prozesse zusammenhängen.

Um diese komplexen Zusammenhänge analysieren zu können wird in dieser Arbeit der Ansatz der Betroffenheit als Teil des Konzepts für soziale Verwundbarkeit verwendet. „...Sozialanalyse enthält sowohl die Dimension der Betroffenheit und Regenerationsfähigkeit als auch die Handlungs- und Reaktionsmöglichkeiten einer Bevölkerungsgruppe gegenüber ökologischen Krisensituationen.“ (Neuburger, M. 2002, S.23). Betroffenheit bedeutet hier sowohl die Betroffenheit auf psychologischer Ebene - Ängste und Unruhe der Bewohner - als auch die Betroffenheit in physischer Hinsicht – Erdbeben, Hochwasser, Krankheiten. Durch die Fokussierung auf den Aspekt der Betroffenheit, wird eine Perspektive eingenommen, die eine Reduktion der Komplexität ermöglicht und die spezifisch ist für die untersuchte Personengruppe, in diesem Fall die Bewohner der Untersuchungsregion.

Das Verständnis von Verwundbarkeit wird hier als ein zeit- und raumabhängiges Konzept verwendet, so wie von Cutter als *Potenzial für Verlust* durch Umweltrisiken beschrieben: „Da Verluste mit der Zeit geographisch und zwischen sozialen Gruppen variieren, verändert sich auch Verwundbarkeit über die Zeit und im Raum.“ (Cutter, S. 2003, S.252). Verwundbarkeit kann zwar durch spontane Ereignisse stark beeinflusst bzw. sichtbar werden, ergibt sich aber aus einer individuellen und strukturellen Entwicklung heraus, in welcher die zeitliche Dimension eine bedeutende Rolle spielt. Auch die geographische Verortung der betrachteten Personen oder Bevölkerung ist in vielerlei Hinsicht maßgeblich für deren Verwundbarkeit. Seit den letzten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts sind ungewöhnliche, extreme

Umwelt Ereignisse aufgetreten, welche (die Region) Lateinamerika ernsthaft getroffen haben und die Verwundbarkeit des menschlichen Systems, d.h. soziale Verwundbarkeit, für Umweltkatastrophen auf außerordentliche Weise beeinträchtigt hat (IPCC 2014). Details zur räumlichen Abhängigkeit werden später im Zusammenhang mit der Beschreibung des Untersuchungsgebiets vertieft.

Die zeitliche Dimension der sozialen Vulnerabilität ist dabei wichtiger als üblicherweise in der Literatur beschrieben und stellt einen der am wenigsten beachteten Aspekte dar, wenn man sich mit dem Begriff beschäftigt (Cutter S. 1996, Cutter S. 2016). Extreme Veränderungen und Ereignisse sind bedeutend, aber es ist gleichzeitig umso notwendiger, soziale Verwundbarkeit durch allmählich fortschreitenden lokalen klimatischen Wandel zu verstehen (Neuburger, M. 2013, Neuburger, M et al. 2018). Auch zu betonen ist, dass Verwundbarkeit alltäglichen zeitlichen Veränderungen unterliegt (Neuburger, 2002). Spezifisch als zeitgebundener Prozess wird Verwundbarkeit im folgenden Zitat betont. *„Jenseits der Veränderungen des durchschnittlichen jährlichen Niederschlags und der Temperatur, die eher längerfristig auftreten, sind es insbesondere die Veränderungen in den Jahreszeiten und deren Variabilität, die kurzfristige ökologische Wirkungen haben können“* (GIZ-EI Sira, 2009, S.7 eigene Übersetzung). Intensität (Dauer) und Periodizität (Häufigkeit) des Auftretens von Gefährdungseignissen sind entscheidend für die Ausprägung der Verwundbarkeit. Einige Autoren beschreiben das Ausmaß von Verwundbarkeit als eine graduelle Abstufung von Gefährdung bis Resilienz. Verwundbarkeit wird auch dargestellt in Einstufungen, Graden und Niveaus, *„Verwundbarkeit ist der Grad, zu welchem ein System, Subsystem oder die Komponente eines Systems dazu neigt, Schaden zu erleiden, wenn es einer Gefährdung ausgesetzt ist“* (Turner, B.L et al 2003, S.2 eigene Übersetzung). *„Die Interaktion zwischen ‚der Bedrohung‘ und ‚der Verwundbarkeit‘ erzeugt ‚desaströse‘ Umstände, die katastrophal oder chronisch sein können, je nach der zeitlichen Dauer.“* (Ruiz, N. 2011, S.65 eigene Übersetzung).

Der Aspekt der Objektivität ist für die Untersuchung der sozialen Verwundbarkeit in dieser Arbeit besonders wichtig (Weber, M. 1949). Damit ist die bedeutende Rolle gemeint, die die kulturelle und persönliche Prägung des Betrachters spielt bei der Identifizierung, Auswahl und Kategorisierung der zu untersuchenden Aspekte. Objektivität im Kontext sozialer Verwundbarkeit orientiert sich in dieser Arbeit am Konzept von Max Weber, welches von (Shils, E. und Finch, H. 1949) beschrieben

wird. Verwundbarkeit basiert immer auf einer subjektiven Interpretationsbasis (zum Beispiel in sozialer Hinsicht). Ziel ist jedoch, eine möglichst objektive Sichtweise für die Analyse und anschließende Modellierung einzunehmen.

Eine Besonderheit der vorliegenden Arbeit ist die Betrachtung sozialer Vulnerabilität durch eine Korrelationsanalyse mit Prozessen lokaler klimatischer Veränderung. Dabei liegt der Fokus auf den betroffenen Bevölkerungsgruppen und der Untersuchung ihres Anpassungsvermögens in ihrer geographischen Umgebung. In diesem Zusammenhang erscheint es als eine erkenntnisreiche Analyse herauszufinden, in welchem Maße die Menschen verwundbarer gegenüber dem Klimawandel geworden (Cutter S., 1996, Cutter et al. 2008) und inwieweit Vulnerabilität und Anpassungsfähigkeit (Resilienz), zwei unterschiedliche Konzepte sind, die sich gegenseitig beeinflussen (Turner, B.L. 2010). Soziale Verwundbarkeit als System betrachtet, kann eine negative Dynamik hinsichtlich der sich selbst verstärkenden negativen Entwicklung ihrer Variablen aufweisen, die sich im Laufe der Zeit bemerkbar macht und eher noch verstärkt (Kaztman, R., o.D.). *„Es ist in diesem Zusammenhang eine zentrale Aufgabe, die Verwundbarkeit in der Bevölkerung gegenüber dem Klimawandel und die damit zusammenhängenden Risiken zu verringern: einerseits zum Zweck der Minderung der Treibhausgasemissionen durch den Schutz des Waldes als CO<sub>2</sub>-Senke und andererseits für die Anpassung der Ökosysteme und der Bevölkerung an die Auswirkungen des Klimawandels“* (GIZ-EI Sira, 2009, S.4, eigene Übersetzung).

Ein gut definiertes Modell der sozialen Verwundbarkeit und eine gute Definition der Beziehungen zwischen den Variablen, die die Umwelt beschreiben, vereinfacht die Simulation des Prozesses. Bei einer Durchsicht der Modelle zur Analyse von sozialer Verwundbarkeit (Adger, N. 1999, Adger, N. 2004, Prato, T. 2006, 2008, 2008a, 2008b, 2009, 2010, Lozán, J. L. und Kasang, D. 2015, Lozan, J.L et al 2018, Lozan, J.L et al 2018b, Gurgiser W.et al 2016, ATCPS 2018) sind als relevante Grundstrukturen für ihre Modellierung unter Berücksichtigung der lokalen Umweltveränderungen zu verstehen: a) die Notwendigkeit, die Analyse der derzeitigen Verwundbarkeit auf Basis historischer Daten vorzunehmen, b) die Erfordernis, einen konzeptionellen Rahmen zu entwickeln, der die wichtigsten bei der Modellierung der Verwundbarkeit zu beachtenden Grundprinzipien erklärt, aber auch die betroffene Bevölkerung mit einbezieht, c) das Forschungsinteresse an einer

relevanten Grundstruktur für die Modellierung, welche die Synergie zwischen Verwundbarkeit und Umweltdynamik betrachtet.

### **2.3 Anpassungsfähigkeit sozialer Systeme als Ausdruck sozialer Verwundbarkeit**

Eine Schlüsselfragestellung bei der Analyse der Dynamik von Verwundbarkeit ist: Was bedeutet es, sich an eine Veränderung der Umgebung anzupassen und wie wird die Anpassungsfähigkeit ausgelöst? Scheffran erklärt Anpassungsfähigkeit als „eine Fähigkeit, auf klimatische Reize zu reagieren und Handlungen auszuführen, die den Schaden minimieren oder kompensieren“ (Scheffran, J. et al. 2010, S.3; Scheffran, J. 2018, S.320 und S.321) bzw. „die Fähigkeit, auf Veränderungen, die sich ergeben, zu „reagieren“ oder sich „darauf vorzubereiten“, (Scheffran, J, et al. 2013, S.20). Die Definition der Anpassungsfähigkeit von Scheffran beschreibt diese als die Eigenschaft (beispielsweise eines Systems) sich anzugleichen und eine Aktion oder Reaktion auf einen externen Einflussfaktor auszuüben. Beide Aspekte werden auch vom Weltklimarat IPCC hervorgehoben und in seinem Bericht aus dem Jahr 2014 stellt dieser seine eigene Definition von Anpassungsfähigkeit auf (IPCC 2014, S.1530, eigene Übersetzung): "[die] Eigenschaft eines Systems, erfolgreich auf Klimawandel und Klimavariabilität zu reagieren, einschließlich der Adaptation in beiden Fällen". Das Erkennen dieser "Fähigkeit" ist eine Grundvoraussetzung für die Entwicklung und Umsetzung von Maßnahmen, die darauf abzielen, die gravierenden Auswirkungen auf das System zu kompensieren oder zu minimieren.

Es gibt Studien, welche die Erklärung von Verwundbarkeit nicht nur auf eine Risikoanalyse beschränken, sondern versuchen, diese auch durch Sensitivität, Nachhaltigkeit und Anpassungsfähigkeit des Systems zu beschreiben (Turner, B.L. 2003, Mark, B. et al. 2010). Für Systeme mit der Besonderheit der Mensch-Umwelt-Paarung, d.h. sozioökologische Systeme, ist es bei der Untersuchung praktisch unmöglich, ein direktes Maß zwischen der Dimension der Verwundbarkeit und dem Grad der Anpassungsfähigkeit des Systems zu etablieren. Soziale Systeme darstellen auch einen zusätzlichen Schwierigkeitsgrad für Entscheidungsträger, wenn diese sich die besonderen Merkmale der menschlichen Siedlungen und des geographischen Umfelds, welches sie analysieren möchten, das Komplexität erhöht. Inwieweit eine Gesellschaft sich wieder zu erholen vermag, hängt von ihrer Fähigkeit ab, auf Veränderungen zu reagieren und sich an einen neuen Zustand anzupassen

oder geeignete Lösungen für ihre Probleme zu finden (Scheffran, J. 2010). Darüber hinaus gibt es eine direkte zunehmende Beziehung zwischen der Verwundbarkeit und der Empfindlichkeit der Betroffenen und noch direkter, aber invers, ist die Beziehung zwischen Verwundbarkeit und Anpassungsfähigkeit, d.h. *"Die Verwundbarkeit (in einem System) steigt ..., wenn die Anpassungsfähigkeit gering ist"* (Schuler, S. 2009, S.8).

Die Eigenschaft eines Systems, sich an Veränderungen in der Umwelt anzupassen (*adaptive capacity*) ist anwendbar auf ökologische Systeme und soziale Systeme (Gunderson, L. und Holling, C. 2002, Cinner J. et al. 2018). Die zuvor genannten Autoren betonen, dass sich die Anpassungsfähigkeit in sozialen Systemen in der Fähigkeit staatlicher Stellen (lokaler oder höherer Ebene) zum Lernen, zum Ansammeln von Erfahrung und Wissen sowie zur Flexibilität in den Entscheidungsprozessen und in der Existenz von Machtstrukturen, die den Bedürfnissen aller Beteiligten gerecht werden, widerspiegelt. Hier wird Anpassungsfähigkeit verstanden als eine Eigenschaft, die präventive und nützliche Maßnahmen in sozialen Gruppen zulässt, angesichts etwaiger Ereignisse, die durch signifikante Veränderungen der klimatischen Bedingungen, wie z. B. der Temperaturen oder Niederschlagszyklen, hervorgerufen werden. Wenn ein System eine hohe Anpassungsfähigkeit besitzt, kann es sich selbst neu konfigurieren, ohne wesentliche Änderungen in seinen Funktionen zu erfahren (Folke, C. et al, 2002).

Ein wichtiger Aspekt bei der Analyse der Verwundbarkeit in sozialen Systemen ist die Frage, wie ausgeprägt sich die funktionale Dynamik des Untersuchungssystems darstellt. Diese bestimmt den Antrieb des Systems in Folge eines Extremereignisses zu reagieren, d.h. seinen Widerstand, seine Anpassung oder sein irreversibles Verschwinden.

Die Veränderung klimatischer Bedingungen hat im Allgemeinen eine bedeutende Auswirkung auf die soziale Verwundbarkeit. Sie überfordert in vielen Fällen die Antwortkapazität der lokalen und/oder nationalen Regierung bzw. Behörden (Scheffran, J. et al. 2010). Auf der anderen Seite ist es nicht einfach möglich, eine direkte Beziehung aufzuzeigen, die eine bestimmte Anpassung als Folge des lokalen Klimawandels (lokale Klimaveränderung) nachweist. Gesellschaften haben intrinsische Eigenschaften zur Anpassung an die Veränderung klimatischer Bedingungen, und diese Fähigkeiten sind mit "kollektivem Handeln", d.h. Handeln als

soziale Gruppe, verbunden. Die Kehrseite dieser Medaille ist, dass Entscheidungen, die gemeinsam getroffen werden, niemals die Bedürfnisse aller vollständig befriedigen. Man könnte behaupten, dass die Bedürfnisse „zu einem bestimmten Grad“ erfüllt sind, wenn man sie als Funktion der Zufriedenheit ausdrückt. Die unregelmäßige Verteilung dieser Bedürfnisse und damit auch der individuellen Verwundbarkeit hat eine dynamische Struktur: *„Jeder beliebige Bedürfnis für die Untersuchung der Verwundbarkeit muss sich der dynamischen Struktur derselben (Verwundbarkeit) stellen“* (Adger et al. 2005, S.81). Ein Vorschlag der Nichtregierungsorganisation CARE zur Minimierung der großen und ungleichen Auswirkungen des Klimawandels auf lokaler Ebene, d.h. in den Gemeinden, zielt im Wesentlichen darauf ab, die Bemühungen zu bündeln, um "hochfunktionale adaptive Projekte" durchzuführen (CARE 2012, S.2).

Es ist generell eine große Herausforderung, die Anpassungsfähigkeit eines Systems zu identifizieren und zu messen. Eine Möglichkeit, die Anpassungsfähigkeit von Gesellschaften an ein Ereignis drastischer Veränderung zu "messen", stellt die Analyse von Szenarien mit Instrumenten zur Entscheidungsfindung wie Inzidenzmatrizen dar (Lopez, T., Medina, S. 2000, Scheffran, J. 2010, Adger, N. et al. 2004, Adger, N. et al. 2005). Im Fall der Verwendung des in dieser Arbeit entwickelten Index für soziale Verwundbarkeit (SVI) wird dies erreicht, indem die Indexstruktur Variablen berücksichtigt, welche die direkten Auswirkungen der Anpassungsfähigkeit wiedergeben (analog zu Yohe, G., Tol, R. 2002). Die Beschreibung der Entscheidung über die Variablen, die diesen Index bilden, sowie ihre Interpretation erfolgen in Kapitel 4. Die theoretischen Grundlagen für die Erstellung sozialer Indizes ebenso wie die Struktur eines Systems, das ihre Anwendung ermöglicht, werden in Unterkapitel 2.7 dargestellt.

Angesichts der Notwendigkeit, die Analyse von sozialökologischen Systemen zu bereichern, wird in dieser Arbeit ein Vorschlag zur Entwicklung eines Index für soziale Verwundbarkeit vorgestellt, der auf lokalem Wissen basiert und mit lokalen Klimaveränderungen in Verbindung gebracht werden kann.

## 2.4 Soziale Verwundbarkeit und Klimawandel

Wie zu Beginn dieses Kapitels beschrieben, ist soziale Verwundbarkeit ein Konzept, welches auch bereits für die Forschungsregion erkannt und beschrieben wurde. Im Laufe der Zeit haben viele Disziplinen einen Beitrag dazu geleistet, um das Konzept der sozialen Verwundbarkeit zu strukturieren und zu definieren.

Otto et al. beschreiben das Vorhandensein unterschiedlicher interdisziplinärer Forschungsgruppen zur Thematik sozialer Verwundbarkeit und den Beitrag, den jede Forschungsrichtung mit ihrer eigenen Terminologie zur Definition derselben beisteuert (Otto I. et al. 2017). Eine bemerkenswerte neuere Definition gibt Schellnhuber mit der Einführung des Begriffs der „differenzierten sozialen Verwundbarkeit“. Er beschreibt damit den unterschiedlichen Grad negativer Auswirkungen klimatischer Faktoren auf betroffene soziale Gruppen oder Individuen (Schellnhuber HJ. et al. 2016).

Die Gletschergebiete Perus könnten eine der verwundbarsten Ökoregionen der Welt sein und sie sind akut bedroht (GIZ-EI Sira 2011). Die Hochgebirgs- und Gebirgszonen sind sensibel für klimatische Schwankungen. Zahlreiche Studien belegen die Auswirkung des Klimawandels auf Natur, Wasserknappheit und soziale Probleme; Menschen, die in der Nähe von Gletschern wohnen, sind besonders von solchen natürlichen Bedrohungen betroffen (Carey, M. 2004, Barnett, T. 2007, Vuille, M. et al. 2007, SUP 2011, Gruber, E. o.J.). Die peruanische *Cordillera Blanca* beherbergt drei Viertel der tropischen Gletscherfläche der Erde (Vuille, M., Kaser, G. 2008), und ihre Bevölkerung ist hochgradig gefährdet durch die Veränderung der Wasserverfügbarkeit „70 % der tropischen Andengletscher liegen in Peru. Sie sind zugleich die am besten untersuchten tropischen Gletscher“ (Kasang, D. 2018, S.4) Laut der peruanischen Wasserbehörde ANA befinden sich dort (in der Cordillera Blanca) 755 Gletscher mit einer Gesamtfläche von 527,62 Km<sup>2</sup> (ANA, 2014).

Unter den vielfältigen Auswirkungen, die durch klimatische Veränderungen bedingt werden, ist besonders das Abschmelzen der Gletscher hervorzuheben. Die Bevölkerung in der Nähe von Gletschern lebt in einem hochgradig strukturierten Mensch-Umwelt-System im Sinne von einer Koexistenz mit der Natur und Wasserverfügbarkeit. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf ein Gebiet, in dem klimatische Veränderungen und ihre Folgen auf die ansässige Bevölkerung

besonders markant sind: das Tal *Quebrada Shallap*, welches Teile der Verwaltungsdistrikte *Independencia* und *Huaraz* im Departement *Ancash* einnimmt (López, T. et al. 2012).

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wird ein Computer basiertes Modell erstellt, das erstmals auch sozialökologische Aspekte, die soziale Verwundbarkeit der menschlichen Siedlungen und die lokale Klimaanalyse im Kontext des Klimawandels mit einschließt. Wegen der Schwierigkeit, Daten für die lokale Ebene zu bekommen, war es notwendig, Methoden der Näherung und Schätzung von Daten auf dieser Ebene anzuwenden. Regionale Daten strukturieren die Modellrechnungen für alle untersuchten Variablen im Zeitraum von 2005 bis 2012. Für diesen Zeitraum stehen für alle Variablen Daten zu Verfügung.

Bei der Modellierung von Mensch-Umwelt-Systemen können Methoden wie *downscaling* (Runterskalierung) oder Rückschlüsse von Szenarien notwendig werden ebenso wie die statistische oder mathematische Verarbeitung von vorhandenen Daten, wie z.B. in der einschlägigen Literatur von Prato, T. (2006, 2008, 2008a, 2008b, 2009, 20010, 2014). Diese Methoden eröffnen die Möglichkeit, lokale Systeme unter Nutzung globaler Phänomene zu untersuchen, d.h. unter Nutzung vorhandenen Wissens über den Prozess auf der jeweiligen Ebene.



**Abbildung 3: Bewohner des Tals Quebrada Shallap, Peru. (Foto: M. Neuburger, 2010)**

Im vorliegenden Fall ist neben der Identifikation der innerhalb des Systems gegebenen Bedingungen, die als ideal für die Entwicklung eines Indexes Sozialer Verwundbarkeit (SVI) angesehen wurden, auch die holistische Vision in das Modell integriert worden. Hierzu zählt insbesondere die Verbindung der Analyse des SVI, der auf sprachlichen Variablen basiert, mit Variablen lokaler bzw. regionaler klimatischer Bedingungen, welche durch numerische Daten beschrieben werden. Die Klimaveränderungen sind per se ein dynamisches Gefüge komplexer, nicht linearer, instabiler und diffuser Beziehungen. Obwohl der in dieser Arbeit vorgestellte SVI Teil eines Modells auf lokaler Ebene ist, werden die benötigten Daten in den meisten Fällen nur auf regionaler Ebene erhoben. In diesen Fällen wurden Anpassungen und Schätzungen vorgenommen (siehe Kapitel 4).

Die Heterogenität der natürlichen Umwelt und ihre Empfindlichkeit gegenüber menschlicher Beeinträchtigung ist ein Thema, das, obwohl keinesfalls neu, von zunehmender Bedeutung ist, da es mit dem menschlichen Wirken zusammenhängt. Der Verlust von Biodiversität und natürlichen Ressourcen auf unserem Planeten geschieht mit einer atemberaubenden Geschwindigkeit, was von vielen Studien dargestellt und bestätigt wird, unter ihnen der Weltklimarat der Vereinten Nationen IPCC, der in seinem Jahresbericht 2014 in einem eigenen Kapitel über seine Auswirkungen, Anpassung und Verwundbarkeit berichtet ([IPCC, 2014](#)).

Die ständige Reaktion von Ökosystemen auf klimatische Veränderungen ist eine *erwartete*, aber nicht in einer vorhersehbaren Dimension ([Neuburger, M. 2013](#)) erfolgende Antwort der Natur. Insbesondere bei Aussagen zu regionalen oder lokalen Folgen bleiben die Informationen und Vorhersagen sehr vage. Paradoxerweise bleibt der Einfluss des Menschen, obwohl beständig kritisiert, in den Analysen zur Interdependenz von Umweltschäden, weitgehend unberücksichtigt. Außerdem existierten zum Zeitpunkt der Feldforschungen nur wenige Forschungsarbeiten, die den Einfluss von sozialer Verwundbarkeit und Bedrohung Betroffener durch den globalen Klimawandel thematisieren und ihre Analysen erklären ([Schuler, S. 2009](#)). Was hier hervorgehoben werden soll ist, dass trotz der großen Zahl von Werken und Literatur über Mensch-Umwelt-Beziehungen und ihrer Interdependenzen, als Besonderheit in der Analyse dieser Arbeit die Wirkung von Klimaveränderungen auf die Dynamik des Systems integriert wird.

Die nicht-Berücksichtigung von anthropogenen Einflussfaktoren bei der Untersuchung und Modellierung von Umweltsystemen ist eine kurzsichtige Interpretation des Zustands des Systems (López, T., Tonella, G. 2003). Die immer häufiger auftretenden und wiederkehrenden Umweltkatastrophen machen verstärkte Anstrengungen erforderlich, um die menschliche Komponente in die Analyse und Modellierung von Prozessen klimatischer Variation einzubeziehen. Es ist auch nötig, die Untersuchung und Modellierung der Wechselwirkung beispielsweise zwischen Wasserressourcen und Bevölkerung zu erweitern, um die zahlreichen und interessanten Verknüpfungen innerhalb dieses Systems zu extrahieren (Mark, B. et al. 2010).

Die Auslassung der menschlichen Komponente in der Betrachtung der Folgen wird auch in der Analyse und Modellierung der Problematik der Gletscherschmelze offensichtlich und bei der Interpretation der Ergebnisse beibehalten. Dabei hat die Reduktion der Beobachtung des Menschen und seiner Aktion zu einer externen und nicht-systemischen Variable, die Informationen aus der Modellierung von Umweltsystemen fragmentiert (Gunderson, L. 2005). Abgeleitet aus der vorhergehenden Aussage, wird soziale Verwundbarkeit in der vorliegenden Arbeit als ein komplexes System betrachtet, in welchem die Vielzahl von Beziehungen zwischen Gesellschaft und Umwelt unter Berücksichtigung individueller und struktureller Faktoren beschrieben werden. In dieser Arbeit wird ein Instrument zur Analyse und Erforschung sozialer Systeme erstellt, das die große und sehr enge Beziehung zwischen diesen Systemen und der Umwelt berücksichtigt.

Soziale Systeme haben keine klassische Formalisierung (Aracil, J. 1978). Darüber hinaus wird von dem genannten Autor die Verwundbarkeit in Verlustgraden definiert, aber sie wird im Modellierungsprozess nicht quantifiziert, weil man menschliche Charakteristiken (z.B. Ansichten und Werte) nicht berücksichtigt. Carey schlägt vor, dass die Zunahme der Anfälligkeit für Naturkatastrophen eine umgekehrte Funktion der Klarheit in der Kommunikation zwischen Einheimischen, Wissenschaftlern und Entscheidungsträgern ist (Carey, M. 2004). Die Berücksichtigung und Einbeziehung der Meinung der lokalen Bevölkerung ist notwendig für die Entwicklung und Modellierung von Vulnerabilitätsstudien. Diese Notwendigkeit, theoretische Rahmen zu entwickeln, die die Einbeziehung der psychologischen, soziologischen und kulturellen Perspektive bei der Wahrnehmung des Risikos in Betracht zieht, wurde von Kasperson in den späten achtziger Jahren vorgestellt (Kasperson et al., 1988).

Die Möglichkeit, die lokale menschliche Komponente mit dem Modell von Verwundbarkeit zu verknüpfen, sowie die bestehende Erfahrung und Arbeiten von Experten über das System "Quebrada Shallap, Peru" bildeten die Grundlage für die Idee der Entwicklung eines Index für Soziale Verwundbarkeit (SVI). Mit Hilfe des hier vorgestellten methodischen Rahmens soll der Einfluss lokaler Klimaveränderungen auf diesen Index analysiert werden.

## 2.5 Lokale Klimabedingungen und Klimaveränderung

Auch wenn das Problem des Klimawandels als globales Phänomen gilt, muss der Mensch mit seinen Folgen auf lokaler Ebene zurechtkommen. Hierbei sind das Auftreten und die Verteilung von Niederschlägen von besonderer Bedeutung, da diese für die Verfügbarkeit von Wasser maßgeblich sind.

Für Peru ist die Wahrscheinlichkeit, unter den sich andeutenden Veränderungen zu leiden, sehr hoch, da eine große Anzahl tropischen Gletscher auf seinem Territorium zu finden sind und etwa 60% der Bevölkerung des Landes mit Wasser versorgen ([ANA 2014, S.6](#), [IPCC 2014, S.1524](#)). Die Realität ist, dass in Peru und anderen Andenländern „(...) *Gletscher schmelzen und dass dieser Prozess mit einem Anstieg der globalen Temperatur verbunden ist. Die Folgen werden nicht nur für die Bewohner unmittelbar benachbarter Gebiete bemerkbar sein, sondern auch für Personen, die viele Kilometer vom Gletscher entfernt leben*“ ([Young, K. 2006, S.67, eigene Übersetzung](#)). Die vorliegende Untersuchung konzentriert sich auf ein solches Gebiet, in dem der Klimawandel und seine Folgen für die ansässige Bevölkerung von herausragender Bedeutung sind ([López T. et al 2012](#)).

In dieser Arbeit wird die Veränderung der Umwelt auf Ebene des Untersuchungsgebiets als lokaler Klimawandel verstanden. Wie bereits erwähnt, ist der Prozess der Modellierung der klimatischen Bedingungen in der Region mit der lokalen Temperatur- und Niederschlagsentwicklung verknüpft; ein Wirkungszusammenhang, der von zahlreichen Forschungsarbeiten untersucht wurde, u.a. ([Adger, N. et al 2005](#), [Barnett, T. et al. 2007](#), [Beaumont, L. et al. 2010](#), [Bury J. et al. 2009](#), [CARE, 2012](#), [Carey, M. 2004](#), [Carey, M. 2010](#), [Cooley, H. et al. 2012](#), [Cutter S. et al. 2009](#), [Garcia, G. 2010](#), [Georges, C. 2004](#), [Grasso, M. et al. 2013](#), [IPCC 2014](#) , [Jeffrey T. 2009](#), [Juen, I. 2006](#), [Kaser, G. 2001](#), [Mark B. et al.](#)

2010, Neuburger, M. et al. 2012, Neuburger, M., Kaser G. 2013, Ovando, N. 2008, Rabatel A. et al. 2012, Ruiz, V. 2012, Vuille, M., Kaser, G. 2008).

*„Die Gletscher der Cordillera Blanca versorgen über ihr Schmelzwasser Millionen Menschen mit dem kostbaren Nass. Gerade für die trockenen Küstenregionen spielen die eisigen Speicher eine wichtige Rolle. Doch sie ziehen sich auf Grund des Klimawandels immer weiter zurück“ (Fraser, B. 2012, S.2).* Auch wenn der Niederschlag relevant ist, so ist er im Gletschersystem nicht so entscheidend wie die Temperatur: *„Seit den 1970er Jahren hat sich die Region um 0,1 Grad Celsius pro Jahrzehnt erwärmt (...)“* obwohl *„(...) die Temperaturen dort auch weiterhin relativ niedrig bleiben (...) werden die Gletscher in niedrigeren Höhen jedoch verschwinden. (Rabatel, A. et al 2012, S.87).* Die Temperatur spielt eine aktivere Rolle als der Niederschlag als Hauptursache für das Abschmelzen.

Eine während der Feldforschungen festgestellte Beobachtung ist, dass die Nutzung und der Umgang mit der Umwelt im Gebiet der Cordillera Blanca laut Aussagen der Bevölkerung seit jeher Bestandteil des kulturellen Erbes sind. Die natürliche Dynamik mit der die Bewohner des Untersuchungsgebiets koexistieren und auf die sie reagieren, hat dazu geführt, dass sie sich selbst und ihre Lebensweise besonders mit der lokalen Realität identifizieren. Diese Identifikation über eine kontinuierliche Anpassung an den Wandel der klimatischen Bedingungen basiert mehr auf sozio-kulturellen Aspekten als auf einer erlernten wissenschaftlichen Methodik (MINAM-Duran, 2010). Als Beispiel hierfür werden die selbst organisierten Wasserkomitees genannt (mehr Details dazu folgen im Unterkapitel 2.6.1).

Dennoch wird Huaraz als eine für den Klimawandel sehr anfällige geographische Region beschrieben (z.B. Beaumont, L. et al. 2010). Forschungsarbeiten im Untersuchungsgebiet spiegeln den kontinuierlichen Rückgang der lokalen Gletscher wider, wobei dieser Rückgang mit den Auswirkungen veränderter Niederschlagszyklen und Trockenheitsperioden in Verbindung gebracht wird (Kaser, G. 2001). Der Weltklimarat der Vereinten Nationen IPCC hebt außerdem dem Einfluss hervor, den der Gletscherschwund auf die unmittelbar angrenzenden menschlichen Gesellschaften hat, genauer gesagt dessen Einfluss auf die soziale Verwundbarkeit (IPCC 2014). *„Das Abschmelzen der Gletscher in den tropischen Anden begann mit einigen Schwenkungen schon nach der kleinen Eiszeit (16. bis 19. Jahrhundert), aber die Rückzugsrate (Rückgang der Fläche um 20-50%) hat sich seit*

Ende der 70er Jahre rasant beschleunigt.“ (IPCC 2014, S.1522, eigene Übersetzung). Die Auswirkungen des Gletscherschwunds in den tropischen Anden zählen zu den Phänomenen, die Konflikte zwischen Wassernutzern einer bereits hochgradig verwundbaren Bevölkerung vertiefen können. Das Abschmelzen gefährdet auch die Entwicklung anderer für das Einkommen der Bewohner bedeutender Aktivitäten, wie der Tourismus (IPCC 2014).

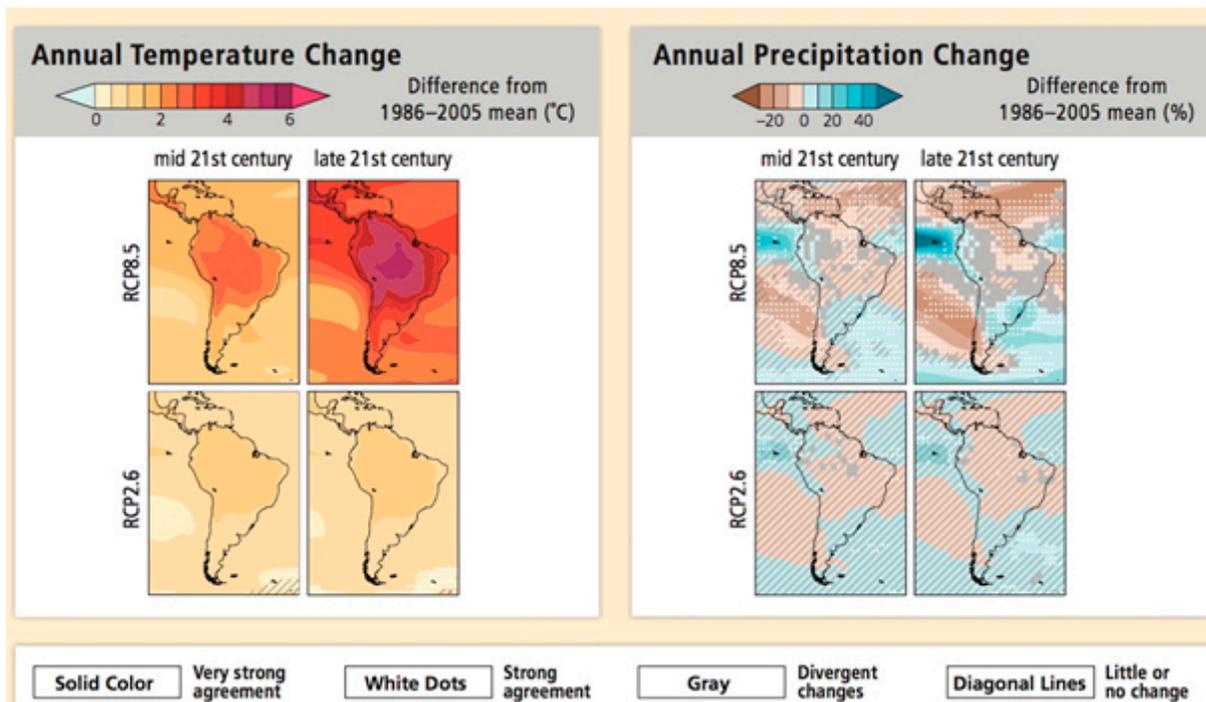
Eine andere Studie mit dem Titel "Nationale Strategie zum Klimawandel" (ENCC 2014) weist darauf hin, dass die an sich bereits problematische Situation nicht das Endergebnis der Problematik ist, sondern vielmehr die Ursache für viele weitere soziale Probleme, wie zum Beispiel die erzwungene Migration, den Rückgang der landwirtschaftlichen Nahrungsmittelproduktion sowie Gesundheitsprobleme. Am Schluss der ENCC Studie heißt es: "Das Interesse des Staates an der Bewältigung des Klimawandels beruht auf der Besorgnis über seine negativen Auswirkungen auf nationaler Ebene. Diese werden deutlich im Rückgang der Gletscher und beim Zugang zu den dazugehörigen Wasserressourcen, in den ungewöhnlichen Temperaturschwankungen auf dem Festland und im Meer, in der Veränderung der historischen Muster der Niederschläge (...) sowie der Zunahme der Intensität und Häufigkeit von extremen Klimaereignissen." (Minam 2015, o.S.).

Der Rückgang der Gletscher zählt zu den zahlreichen Auswirkungen, die der Klimawandel mit sich bringt. Die besondere Verwundbarkeitssituation von Huaraz und die "Dynamik der Klima-Gletscher-Wasser-Gesellschaft" (*climate-glaciers-water-society dynamics*) wird von Carey als eine beschrieben, die Menschen mit wohlhabenden und mit prekären Lebensbedingungen auf das gleiche Verwundbarkeitsniveau setzt. „Bewohner, die in der Nähe von Gletschern oder direkt in gletschergespeisten Wassereinzugsgebieten leben, tragen die höchsten Kosten für den Rückgang der Gletscher, da sie oft mit ihrem Leben, ihren Familien und ihren Gemeinschaften zahlen.“ (Carey 2010, S.3). Ein Beispiel für die Brisanz der aktuellen Situation ist, dass die durch den Temperaturanstieg bedingte Höhenverschiebung der Schneegrenze und damit der gesamten Höhenzonierung zunächst in erster Linie zu höheren und häufigeren Niederschlägen führt: „In dem Maße, in dem die Gletscher abschmelzen, steigt der Abfluss in den Flüssen und es kann passieren, dass Menschen denken ‚Wir haben mehr Wasser, weil der Abfluss höher ist‘, aber am Ende ist das [nur] eine Momentaufnahme, denn was vom Gletscher noch übrig ist, ist immer weniger.“ (TERRAM 2009, S.2).

Im Jahr 2008 verhandelte Peru zum ersten Mal vertreten durch das Umweltministerium MINAM bei der 14. Weltklimakonferenz (Vertragsstaatenkonferenz der UN-Klimarahmenkonvention) und es begann die sogenannte erste Verpflichtungsperiode zur Emissionsminderung im Rahmen des Kyoto-Protokolls. Peru hatte seine Gletschergebiete und ländlichen Siedlungen bereits gegenüber dem Klimawandel für hochgradig gefährdet erklärt. Im selben Jahr erklärt Peru die soziale Anpassung an den Klimawandel als eine nationale Aufgabe (Minam 2010).

Ebenfalls im Jahr 2008 lud die Weltbank Experten aus der ganzen Welt ein, um sich an dem Projekt „Anpassung an die Auswirkungen des schnellen Schwunds der Gletscher in den tropischen Anden“ zu beteiligen (CARE, 2012, S.1-3, eigene Übersetzung), „um die Wahrscheinlichkeit einer künftigen Vergletscherung und die Verwundbarkeit der andinen Wirtschaftsformen, Energieversorgung und menschliche Populationen zu verstehen [...]“. Der Erfolg des Anden-Projekts der Weltbank und anderer Klimaanpassungsprogramme weltweit wird in gleicher Weise vom Verständnis sozialer Beziehungen und Machtverhältnisse abhängen, wie von der Erkenntnis, wie viele Kubikmeter Wasser pro Sekunde in einem Jahr aus einem Gletscher gespeist ins Tal fließen (Carey, M. 2010).

Die extreme klimatische Variabilität hat große Gebiete in Mitleidenschaft gezogen, mit weitreichenden Auswirkungen auf die sozialen und natürlichen Systeme. Im peruanischen Nordwesten wird ein Anstieg der Niederschläge verzeichnet, der durchschnittliche Wert der Erwärmung betrug fast 0,1°C pro Jahr und der Rückgang der Gletscher hat sich intensiviert und erreicht für die Andenländer kritische Werte (IPCC 2014), siehe Abbildung 4.



**Abbildung 4: Zeitliche Veränderung von Temperatur und Niederschlag in Süd- und Mittelamerika (Quelle: IPCC 2014, S.1513)**

Es gibt gute Modelle und Modellsimulationen, die den Niederschlag in Millimetern pro Quadratmeter mit hoher Präzision erfassen und vorhersagen können, aber die meisten von ihnen versuchen nicht die Auswirkungen auf menschlicher Ebene zu messen. Glücklicherweise existieren bereits Forschungsarbeiten einer Gruppe von Autoren wie Carey, M. 2004, Young, K. 2006, Vuille, M., Kaser, G. 2008, Bury J. et al. 2009, Mark B. et al. 2010, Neuburger, M. et al. 2012, um nur einige von ihnen zu nennen, die soziale Verwundbarkeit im Zusammenhang mit der Beobachtung von Klimaveränderungen für wichtig erachten und sie auf die gleiche Ebene mit den physikalischen Parametern stellen.

Der lokale Klimawandel kann als ein großes Subsystem beschrieben werden, als eine Art Schirm, der das Gebiet abdeckt, in dem die Aktionen, Aktivitäten und Mensch-Umwelt-Beziehungen stattfinden, und gleichzeitig Druck ausübt. Dieser große Schirm wird in der vorliegenden Untersuchung durch klimatische Variablen und aus der Perspektive lokaler Experten dargestellt - Ingenieure, Soziologen, Glaziologen, NRO Aktivisten und lokale Einwohner aus dem Gebiet der Quebrada Shallap. Forschung und entsprechende Datenerzeugung zielen darauf ab, zu einer begründeten und angemessenen Entscheidungsfindung beizutragen.

## 2.6 Das Untersuchungsgebiet



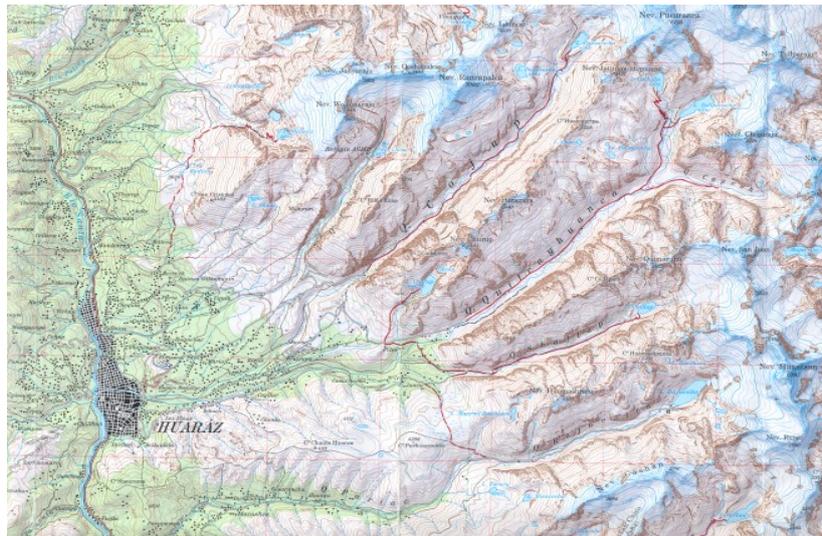
**Abbildung 5: Berg Nevado San Juan mit gleichnamigem Gletscher, Quebrada Shallap, Peru (*Eigene Aufnahme, 2013*)**

*Die Quebrada Shallap, Huaraz-Peru, ist eine heterogene Zone aus geographischer, demografischer, sozialer, wirtschaftlicher und klimatischer Sicht“ (Neuburger, M. 2013, mündliche Aussage).*

Zahlreiche Autoren (Carey, M. 2004; Young, K. 2006; Vuille, M., Kaser, G. 2008; Bury J. et al. 2009; Mark B. et al. 2010; Neuburger, M. et al. 2012), haben das Gebiet der Quebrada Shallap in Peru als besonders verwundbar beschrieben.

Das ausgewählte Untersuchungsgebiet befindet sich im Departement Ancash, einer Verwaltungseinheit im Nordwesten Perus mit Huaraz als Hauptstadt, gelegen in einer Bergregion, die als peruanische *Cordillera Blanca* bezeichnet wird. Das Gebiet weist ein reichhaltiges kulturelles und natürliches Erbe auf, das sich in der vielfältigen Kultur seiner ländlichen Siedlungen und seinen geschützten Naturräumen äußert. Das genaue geographische Untersuchungsgebiet (Abbildung 6) befindet sich in einem Bereich, der den Flusslauf der *Quebrada Shallap* umfasst und sich vom *Nevado San Juan*, einem Berg mit einer Höhe von fast 6.000 m, im Osten bis zum südwestlichen Stadtrand von Huaraz (auf etwa 3.000 m Höhe) erstreckt. Die Quebrada Shallap wird vom Gletscher San Juan gespeist und entwässert über den Rio Santa in den Pazifik. Das Gebiet umfasst die Ortschaften Llupa, Unchus, Junco, Paquish-Ca, Coyllur, Ichoca und Los Pinos. Es handelt sich hierbei um kleinste

ländliche Siedlungen. Administrativ umfasst das Gebiet Teile der Bezirke Independencia und Huaraz.



**Abbildung 6: Untersuchungsgebiet Quebrada Shallap östlich von Huaraz im Departement Ancash, Peru (Quelle: Alpenvereinskarte, Cordillera Blanca, Süd (Peru) O/3b 1:100000)**

Die wichtigsten wirtschaftlichen Aktivitäten im Departement Ancash sind Bergbau, Tourismus, Landwirtschaft und Energieerzeugung aus Wasserkraft (Villanueva, R. 2011). Die Region wird von der nationalen Regierung genau beobachtet, da sie reich an wichtigen natürlichen Ressourcen wie Oberflächengewässer und Bergbauvorkommen ist. Der Bergbau in Ancash trägt mit 9,6% monetärem Beitrag zum nationalen BIP aus dem Bergbau bei, dem drittichtigsten Wirtschaftssektor des Landes (INEI, 2013). Trotz des wirtschaftlichen Beitrags dieser geographischen Region zum nationalen BIP, betrug die Armutsquote im Departement Ancash 2014 27,4% bei einer Gesamtbevölkerung von 1.063.459 (INEI 2014). Der in diesem Zusammenhang verwendete Armutsbegriff folgt Chang, der in Armut lebende Bevölkerung mit spontanen menschlichen Siedlungen, prekären Wohnverhältnissen in gefährdeten Gebieten und ungeordneter territorialer Besetzung verbindet (Chang 2005). Bemerkenswert ist, dass sich die Armutsquote von Ancash zwischen 2004 und 2009 von 32% auf 22% verringert hat und scheinbar in den Folgejahren bis 2014 wieder anstieg (UNSAM 2010). Die statistischen Daten zeigen in dieser Zeit für

Ancash auch eine Zunahme der Säuglingssterblichkeit (21/1000) und der Migration (INEI 2014), von daher ist es möglich, dass beide Phänomene der Bevölkerung in Armut zuzuordnen sind. Der Analphabetismus beträgt laut der Nationalen Statistik- und Informationsbehörde Perus 12,4% für das gesamte Departement Ancash (INEI 2015).

Die Armutsquote im Bezirk *Huaraz* liegt bei 30,6% (Gini-Koeffizient<sup>4</sup> = 0,34) und einer Gesamtbevölkerung von 57.499 sowie 36,4% (Gini-Koeffizient = 0,33) in *Independencia* mit 64.322 Einwohnern. Die genannte Bevölkerung wohnt mehrheitlich in der Stadt Huaraz (alle Angaben sind für das Jahr 2012, INEI 2015).



**Abbildung 7: Ansicht der Siedlung Paquishca (Eigene Aufnahme, 2013)**

### **2.6.1 EXKURS ZUM WASSERMANAGEMENT**

Die AQUASTAT Webseiten der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) zum Wasserhaushalt in Peru, erwähnen das Wassermanagement sowie die Rolle der Bewässerungskomitees in der Wasserverwaltung: *"Das nationale Wasserressourcen-Managementsystem ist Teil*

<sup>4</sup> Gini Koeffizient ist eine Verteilungsmessung der beschriebt der Statistischemessung, Null ist die perfekte Gleichheit und Eins beschreibt maximal Ungleich" (El coeficiente de gini es una medida que expresa la dispersion estadística, "donde cero expresa la igualdad perfecta y uno expresa la maxima desigualdad " )Allison, P. 1978

*des nationalen Umweltmanagementsystems und umfasst die Gesamtheit der Institutionen, Grundsätze, Normen, Verfahren, Techniken und Instrumente, mit Hilfe derer der Staat ein integriertes, partizipatives und multisektorales Management, eine nachhaltige Nutzung, Erhaltung, Schutz der Qualität und Erhöhung der Verfügbarkeit der Wasserressourcen ausführt und absichert."* (FAO 2015, o. Seitenangabe – eigene Übersetzung). Dort werden gleichzeitig Regierungsprogramme vorgeschlagen, die sich auf das Thema Bewässerung konzentrieren und folgende Aspekte thematisieren (ibid.):

- *Verschlechterung der Wasserqualität*
- *geringe Effizienz von Bewässerungs- und Entwässerungssystemen*
- *schwache institutionelle und rechtliche Rahmenbedingungen*
- *Gebühreneinnahmen übersteigende Betriebs- und Wartungskosten*
- *Verwundbarkeit gegenüber Klimaschwankungen und -veränderungen, einschließlich extremer klimatischer Ereignisse und des Rückgangs der Gletscher.*

Dasselbe Dokument beschreibt auch die aktive und entscheidende Rolle der Bewässerungskomitees. Ihre wesentlichen Aufgaben sind der Betrieb, die Wartung und die Organisation von kleinen Bewässerungssystemen. Ganz überwiegend sind die Bewässerungskomitees bereits seit vielen Jahren tätig und umfassen eine große Anzahl aktiver Mitglieder. Über die gesamte Fläche Perus verteilt ist die Anzahl dieser Komitees hoch und sie sind besonders wichtig für die Dynamik der Dörfer in der Gebirgsregion des Landes (Sierra), wie auch im Fall der Quebrada Shallap in Huaraz. Die Bedeutung dieser Komitees liegt nicht nur in der Verwaltung, Verteilung und Planung der Wasserressourcen, sondern auch in der Bewältigung von Konflikten zwischen Dörfern rund um das Wasser. Allgemein übernehmen die Bewässerungskomitees das Wassermanagement in den Regionen (Fraser, B. 2012), (Neuburger, M. u.a. 2012), (Weiss, S. 2014).

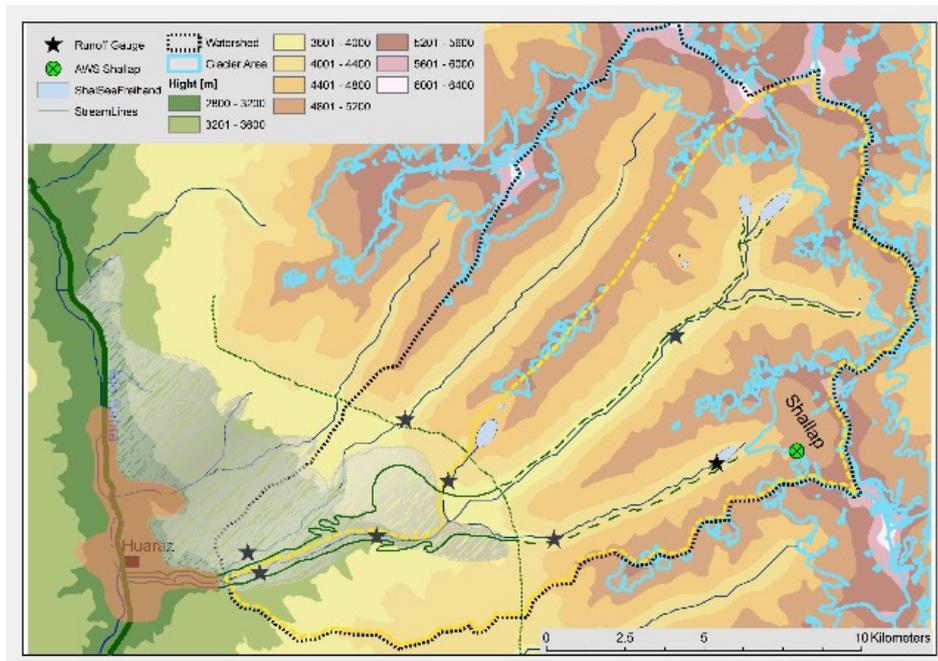
In Gesprächen mit Präsidenten der Bewässerungskomitees im Flusseinzugsgebiet Quebrada Shallap wurde berichtet, dass der Staat diese Gruppen und ihre Aktivitäten kaum unterstützt. Die Befragten drückten auch aus, dass sie sich in den geltenden Wasserrechtsvorschriften nicht berücksichtigt fühlten und dass es Fälle von Konflikten mit ihren Aktivitäten gegeben hat (FAO, 2013). Zu den Konfliktsituationen um den Zugang zu Wasser für die Trinkwasserversorgung, die Bewässerung und die

Energieerzeugung, mit denen sich die Bewässerungskomitees auch beschäftigen, kommt noch hinzu, dass die Anzahl der betroffenen Menschen in dem hier untersuchten System äußerst bedeutend ist (Fraser B. 2012).

## 2.6.2 EIGNUNG DES UNTERSUCHUNGSGEBIETS FÜR DIE FORSCHUNGSFRAGE

Die *Cordillera Blanca* im Departement *Ancash* ist eine Gegend mit hohem Naturpotenzial und Gletschervorkommen. Entsprechend der Vorhersagen des Klimawandels für die tropischen Anden haben die Bewohner dieser Region bereits in den letzten Jahren einen tragischen Veränderungsprozess erlebt, gekennzeichnet von häufigeren Naturkatastrophen und Wasserstress, (Carey, M. 2010). In dieser Arbeit werden Gletscher und Bevölkerung in einer engen Beziehung betrachtet. Vor allem da sich die in der Region lebende Bevölkerung als vom Wasser abhängige Gesellschaft entwickelt hat, stellt sie ein hervorragendes Beispiel für die Entwicklung eines Index Sozialer Verwundbarkeit dar. Dieser Index beinhaltet lokale Indikatoren, die wiederum multidimensionale Variablen beinhalten wie industriellen Bergbau, Tourismus, Wanderungsbewegungen der Bevölkerung und Veränderungen der landwirtschaftlichen Produktion.

Die Gegend von Huaraz ist ein für soziale Konflikte sehr sensibles Gebiet und gleichzeitig eine sowohl in sozialer als auch in geographischer Hinsicht höchst verwundbare Region. Es existieren bereits zahlreiche wissenschaftliche Veröffentlichungen mit unterschiedlicher Zielsetzung über dieses Gebiet, beispielsweise von Carey (2004 und 2010), Georges (2004), IPCC (2014), Jeffrey (2009), Juen (2006), Kaser (1997, 2001 und 2003), López-Moreno (2017), Mark (2010), Neuburger (2012 und 2013), Schauwecker (2014), Villanueva (2011), Vuille (2007 und 2008) und (Rumbos, 2018). Aufgrund dieser Tatsache und dadurch vorteilhafter Ausgangsbedingungen ist die Region als Fallbeispiel für die vorliegende Forschungsarbeit ausgesucht worden.



**Abbildung 8: Untersuchungsgebiet Quebrada Shallap und Umgebung, Provinz Ancash, Peru *Quelle: Gurgiser, Kaser, Neuburger, Bregulla (2010 o.S.)***

Die Entwicklung der Situation in der peruanischen *Cordillera Blanca* ist dabei im weltweiten Vergleich keine Ausnahme und ihre Analyse und Verständnis kann als Fallstudie zum Vergleich mit Hochgebirgsregionen in anderen Teilen der Erde dienen (Young, K. 2006).

## 2.7 Index sozialer Verwundbarkeit

Indikatoren sind ein Instrument der Entscheidung, eine Unterstützung für Entscheidungsträger in allen Bereichen der Gesellschaft und eine Möglichkeit, bedeutsame Information zu gruppieren oder zusammenzufassen; Information, die z.B. in irgendeinem geographischen Gebiet generiert wurde und die aufgrund ihrer Aussagekraft für einen bestimmten betrachteten Sachverhalt ausgewählt wurde (Quiroga, R. 2009). Ein Index ist ein Modell. Daher werden alle Informationen, die aus diesem Modell gewonnen werden können, oder anders gesagt, die Variablen, aus denen es besteht, als beschreibend betrachtet und als ein Abbild des Systems angenommen, das sie repräsentieren (Rincon M. 2009). Die Quantifizierung der Variablen eines Index (als eine Summe von Indikatoren) kann ein äußerst schwieriger Prozess sein, so wie im Fall der Anwendung auf das Konzept er

Verwundbarkeit. *"Qualitative Informationen können nicht immer quantifiziert werden und umgekehrt. Gegenwärtig können beide Ansätze verwendet werden, um dieselben Fragen zu beantworten. Indikatoren, Indizes und Mindmaps sind die häufigsten Aggregationsformen für ermittelte Verwundbarkeit und für Informationen zur Anpassungsfähigkeit zum Vergleich von Regionen."* (IPCC 2014, Kap. 21, S. 1172 – eigene Übersetzung).

Bei Durchsicht der Literatur zur Konstruktion von Indikatoren im sozioökonomischen Bereich (beispielsweise [Adger, N. 2004](#), [Cutter S. 2003](#), [Giraldo, J.A. 2008](#), [Rincon, M. 2009](#), [GIZ-EI Sira 2009](#), [Ruiz N. 2011](#), [Magaña, V. 2012](#), [NEAS, o.J.](#), [Cdam, o.J.](#)) lassen sich bestimmte kennzeichnende Aspekte hinsichtlich der Charakterisierung derjenigen Punkte beobachten, die ein sozialökologischer Indikator erfüllen muss. Es ist wichtig anzumerken, dass es höchst schwierig ist, ein klares und präzises Konzept von Verwundbarkeit zu etablieren, was seine Verwendung allgemein erschwert und den Gebrauch spezifischer Variablen oder Indikatoren erforderlich macht ([Cutter 1996](#)). Die wichtigsten Charakteristika, die in oben zitierten Arbeiten zur Konstruktion von Index und Indikatoren zu finden sind, werden im Folgenden aufgezählt:

- basierend auf einer klar definierten und präzisen Grundlage, aber mit der Eigenschaft Umweltveränderungen zu messen und die Qualität der Messung zu bewerten;
- Form der Sammlung, Berechnung und Interpretation punktueller, dynamischer und für alle Anwender leicht verständlicher Daten;
- durch kollektive Beteiligung konzipiert und politisch akzeptiert;
- anwendbar auf verschiedene zu untersuchende Einheiten und für verschiedene Maßstäbe (aggregiert oder disaggregiert) und mit einem metasystemischen Ansatz;
- fokussiert auf die Untersuchung und Diffusion der relevantesten und interessantesten Probleme in den sozialökologischen Systemen;
- gewichtet durch die Akteure/Gesellschaften, auf welche die Maßnahmen oder Entscheidungen, die sich aus dem Indikator ableiten, angewendet werden;
- verfügt über eine Struktur, die an Ort und Zeit gebunden ist, um Trends, Zukunftsszenarien oder die Identifikation neuer Bedrohungen, d.h.

überraschende Synergien und Dynamiken, vorherzusagen. Dabei wird klargestellt, dass die Modellierung ein Abbild der Realität ist und dass "...sie niemals zukünftige Szenarien mit absoluter Sicherheit vorhersagen kann". (Lira, H., Medina, S. 2000, S. 57).

Die hier genannten besonderen Charakteristika sind Grundlage und/oder maßgebliche Schritte bei der Strukturierung eines Indikators oder auch eines Index. Wie bereits erwähnt, kann die Analyse der sozialen Verwundbarkeit durch die Entwicklung und Untersuchung von Indikatoren durchgeführt werden. Ein Index für soziale Verwundbarkeit beschreibt traditionell Armut, Bevölkerungsentwicklung, soziale Resilienz, Umweltschäden, Existenz ethnischer Gruppen, Ungleichheitskoeffizienten und/oder Nachhaltigkeitsindizes (z.B. OAS 1993, Chang I. 2005, Bebbington, A. 2006, Quiroga R. 2009, Magaña V. 2013). Die Art und Weise, mit der die Klassifizierung, Gewichtung und Hierarchisierung erreicht wird, obliegt dabei der Sichtweise des Modellierers. Die Analyse und Erforschung der Gefährdung oder des Risikos für Verwundbarkeit ist "eine wissenschaftliche Tätigkeit und zugleich ein Ausdruck der Kultur" (Kasperson et al. 1988, S.181). In der hier vorgelegten Arbeit wird im Gegensatz dazu ein Index für soziale Verwundbarkeit präsentiert, der auf der Einschätzung und Gewichtungen der lokalen Bevölkerung basiert.

Die Einbeziehung lokaler Bevölkerung in den Problembeschreibungs- und Entscheidungsfindungsprozess liefert einen großen Beitrag zu den Ideen und minimiert die Ablehnung der betroffenen Gemeinschaften gegenüber den nachfolgenden Handlungen (Carey, M. 2005), (Scheffran, J. 2010). Die Ablehnung durch die Bevölkerung bei der Durchführung von Programmen, die im Prinzip dazu bestimmt sind, deren Lebensqualität zu verbessern, ist einer der teuersten und am schwierigsten zu bewältigenden Prozesse. Es wird versucht, "ein System" zu verbessern, das nicht bereit ist, verändert zu werden. Darauf Bezug nehmend fordert Dr. G. Kaser von der Universität Innsbruck (Fraser, B. 2012, S.3) zur Übernahme von Verantwortung auf: „*Trotzdem sollten die Ergebnisse die Peruaner, insbesondere die politischen Entscheidungsträger, dazu bringen, sich endlich mit dem drohenden Problem der Wasserknappheit auseinander zu setzen*“.

Die Entwicklung der Quebrada Shallap als Siedlungsgebiet einer wasserabhängigen Gesellschaft hat die Autorin dazu bewegt, gerade hier einen Index Sozialer

Verwundbarkeit zu entwickeln. Dieser multidimensionale Index wird durch lokale Indikatoren strukturiert und sein multivariabler Charakter ist durch die Vielfalt der verwendeten Variablen zu erklären, zum Beispiel Nutzung der natürlichen Ressourcen oder Einkommensquellen und ihre Bedeutung für die Familien. Generell, wenn man die klimaabhängige Dynamik sozialökologischer Systeme verstehen möchte, muss man Wissenschaftler, Ingenieure, Politiker, Wirtschaftsakteure, Zivilgesellschaft und all jene, die mit ihren Forschungsansätzen zum Untersuchungsobjekt beitragen, mit einbeziehen. Es besteht vor allem auch eine spezifische Notwendigkeit, holistische Analysen zu entwickeln. Daher ist es wichtig herauszufinden, wie Mensch-Umwelt-Systeme auf Klimaveränderungen reagieren. Diese Fragestellung könnte man auch im Licht des Prinzips „*Vox populi, vox Dei*“ („*Volkes Stimme ist Gottes Stimme*“) betrachten. Häufig bedingt durch Machtstrukturen und die wirtschaftliche Situation, beruht die Reaktion der Bevölkerung gegenüber klimatischen Veränderungen auf ihrer Ideologie und auf ihren sozialen Beziehungen und nicht auf wissenschaftlichen Erkenntnissen über Umweltprozesse (Carey, M. 2010, Law, T., Zhang, W. 2009, Ulanowicz, R. 2009).

Bei der Analyse des untersuchten Systems wurde der Ansatz von Crozier befolgt, der vorschlägt, die Gesellschaft von Huaraz zu analysieren und sie als Organisation zu betrachten. Crozier definiert in seiner Arbeit "Das bürokratische Phänomen" (Crozier M. 1969) das Modell der strategischen Analyse oder des funktionalistischen Studiums einer Organisation, wobei der Akteur als eine unstrukturierte, durch gemeinsame Interessen verbundene Gruppe innerhalb einer Organisation definiert wird. In der Organisation interagiert jeder der Akteure mit den anderen über die Ressourcen, die jeder einzelne verwaltet und die notwendig sind, damit ein oder alle anderen Akteure ihre Rolle in der Organisation erfüllen können. Diese Interaktion erfolgt durch Erleichterung oder Einschränkung des Zugriffs der anderen Akteure auf die Ressource(n). Auf diese Weise werden Machtverhältnisse geschaffen, in denen ein Akteur Macht über einen anderen hat, wenn er eine Ressource verwaltet, die ein anderer benötigt.

Auf der Suche nach Mechanismen, die eine engere Verbindung zwischen empirischer Arbeit und theoretischer Analyse ermöglichen, wurde in dieser Arbeit eine Analyse der Verwundbarkeit in der Quebrada Shallap in Huaraz, Peru, nach dem interpretativen Kontext-System (Fuenmayor, A. et al. 1991) mit Croziers strategischem Analysemodell als konzeptioneller Grundlage durchgeführt. Die

Basisbestandteile in seinem Analysemodell werden von ihm definiert als „*Die Verhaltensweisen und Einstellungen von Individuen und Gruppen in einer Organisation basieren auf den Machtverhältnissen, die zwischen ihnen bestehen. Denn jede Gruppe versucht strategische Faktoren zu beherrschen, die durch die verschiedenen Quellen der Unsicherheit in der Organisation erzeugt werden, und ihre Macht entsteht in dem Maß, in dem es ihnen gelingt, diese Unsicherheiten zu kontrollieren.*“ (Crozier, M. 1969 S.134, eigene Übersetzung).

Basierend auf dieser Perspektive wurden Informationen gesammelt, die zur Modellierung des Systems benötigt wurden. Aus dem Umfrageprozess wurde eine Vorstellung gewonnen, wie die Bevölkerung die Politik der Wasserbewirtschaftung in Bezug auf das Gebiet und den Prozess der Veränderung der klimatischen Bedingungen sieht. Der Crozier-Ansatz ist auch eine Begründung für den Einsatz des Indexes Sozialer Verwundbarkeit (SVI) im Forschungsgebiet.

## **2.8 Grundelemente der Fuzzy-Theorie und *Expertones***

Sozialökologische Systeme sind Großteils als diffus oder *Fuzzy* zu bezeichnen, d.h. durch unpräzise und vage Informationen charakterisiert. Sie sind Strukturen, in denen besonders intrinsisches Wissen und Expertenkenntnisse von Bedeutung sind. Ein Beispiel für die wissenschaftliche Beschäftigung mit dieser Art von Systemen findet sich bei Prato (Prato, T. 2005), der einen methodischen Rahmen für die Untersuchung der Landnutzung unter Verwendung von Szenarien der Unsicherheit vorstellt. In sieben klar definierten Schritten wird der konzeptionelle Rahmen geschaffen, der das Konzept der Unsicherheit mit Hilfe einer *fuzzy Basis* anwendet. Ein Jahr später schlägt derselbe Autor (Prato, T. 2006) vor, *Fuzzy-Sets* in diesen Ansatz zu integrieren, um den Klimawandel und das Risiko in dynamischen Systemen zu untersuchen. Dieser strukturiertere Rahmen ist als Instrument für Entscheidungsträger auf allen Ebenen des Prozesses konzipiert. Er eignet sich angesichts des diffusen Wesensmerkmals des Konzepts besonders für die Analyse der Verwundbarkeit, wobei die Notwendigkeit besteht, Methoden für ihre Untersuchung und Analyse zu entwickeln, die objektiv und an jedem geographischen Ort anwendbar sind (Adger, N. 1999).

Das Experton ist „eine von Kaufmann und Gil Aluja erfundene Methode zur Aggregation von Expertenmeinungen“ (Gil-Lafuente, A. 2017.). Der Einsatz von *Expertonen* (Gil-Aluja, J. 2004) wird zum Beispiel für Entscheidungsprozesse zur Bewertung von Gefährdungen und Risiken verwendet. Diese Methode ist von besonderem Nutzen, wenn einerseits Informationen zur Risikobewertung kaum vorhanden sind und andererseits ein Prozess durch eine hohe Veränderungsrate dynamischer Variablen charakterisiert ist, wie zum Beispiel im Fall des aktuell zu beobachtenden Rückgangs der Gletscher. Das Verhalten der Gletscher führt dazu, dass das System nicht der Annahme von Normalität entspricht, die bei einer Modellierung beruhend auf der Wahrscheinlichkeitstheorie angenommen würde. Die Unsicherheit und die Subjektivität der Ausgangsinformation sind die ausschlaggebenden Faktoren für die Anwendbarkeit dieser Methode auf die Risikoanalyse. Die Anwendung von *Expertonen* hat sich bereits in anderem Zusammenhang bewährt wie zum Beispiel bei der Entscheidungsfindung im Kontext hoher Unsicherheit bei der ökonomischen Analyse (Lira, H., Medina, S. 2000) oder der Umweltsystemanalyse (López, T. Medina, S. 2000).

Die Einschätzungen und Meinungen der lokalen Bevölkerung wurden in dieser Arbeit mit Hilfe von *Expertonen* analysiert und modelliert, um als unterscheidbare Variablen für die zu untersuchende geographische Region ausgedrückt zu werden. Die Entscheidung für die Verwendung der *Expertone* begründet sich aus der Natur des untersuchten Systems. Dieses Werkzeug eignet sich auch hervorragend für die Hierarchisierung von Kriterien angesichts der Art der erhaltenen Informationen, die im Rahmen der Systemidentifizierung und der Erhebungen erzielt wurden. Eine detaillierte Darstellung der Fuzzy-Theorie, der Verwendung von *Expertonen* und des Umgangs mit Unsicherheit erfolgt in Kapitel 3.

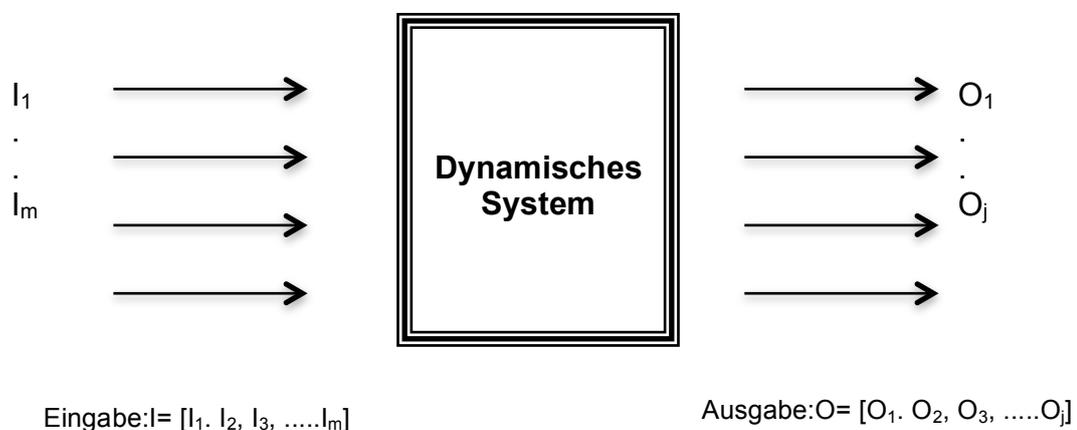
## **2.9 Modellierung und Simulation sozial-ökologischer Systeme**

Die Beziehung, welche die Elemente eines Systems und die möglichen Handlungen mit ihren Wirkungen verbindet, ist die Essenz des Modells. In Entscheidungsprozessen wird die Wahl einer Handlung (unter mehreren möglichen) unter Berücksichtigung der Auswirkung durchgeführt, die jede Handlung erzeugen wird, und so das Modell des Systems entwickelt.

Die Erstellung eines Modells weist charakteristische Phasen auf. Diese sind: 1) die Konzeptualisierung (historische Daten), 2) die Formulierung (Octave, MatLab, Simulink) und 3) deren Bewertung (Ergebnisanalyse) (Medina, S. 2010). Mathematische Modelle geben das Verhalten eines Systems in Form von Beziehungen zwischen Variablen (Gleichungen) an, deren Auflösung analytisch oder durch Simulation geschehen kann.

Simulation ist ein Prozess, der alle Schritte vom Experimentieren bis zur Bewertung des Modells umfasst. Die Simulation ist ein Werkzeug, welches das Verständnis ermöglicht und den Vorteil der Anpassung, Wiederholung und Berichtigung bietet. „Die Simulation ist der Prozess des Entwurfs eines Modells eines realen Systems und damit durchgeführter Versuche, mit dem Ziel, das Verhalten des Systems zu verstehen oder neue Strategien zu bewerten - innerhalb vorgegebener Grenzen für ein bestimmtes Kriterium oder ein Set von Kriterien - für die Funktionsweise des Systems.“ (Shannon, R. und Johannes, J. 1976, S.723). Die Anwendung der Simulation auf ein soziales System, das wiederum soziale Phänomene hervorruft, wird als computergestützte soziale Simulation bezeichnet (Trejo, D., Medina, S. 2015).

Ein System wird hier betrachtet als ein Prozess, der auf bestimmte Eingaben (I) reagiert, um Ausgaben (O) zu erzeugen (siehe Abbildung 9); es "... definiert die verschiedenen Elemente, die die Beschreibung bilden, sowie die zwischen ihnen auftretenden Einflüsse" (Aracil, J. 1978, S.53 – eigene Übersetzung).



**Abbildung 9: Dynamik eines Systems. (Quelle: Medina S. 2010, Folie 5)**

Die Abbildung 9 zeigt für eine schrittweise Eingabe I, die entsprechende Ausgabe O, wenn eine Transformation oder eine Reihe von Beziehungen des dynamischen Systems eingetreten ist.

Einige Modelle sozialökologischer Systeme basieren auf Fuzzy-Logik. Die Klassifizierung der Modelle auf diffuser Grundlage stellt keine Anpassung an die traditionelle Definition dar, sondern ist Teil der Fuzzy-Modelle. Der Umgang mit der Unsicherheit im Prozess der Aggregation von Meinungen der in dieser Arbeit entwickelten Methodologie erfolgt durch ein Modell basierend auf Fuzzy-Logik wie im Fall der von Jaime Gil Aluja entwickelten Methodik ([Gil-Aluja, J. et al. 1990](#)).

Mit dem Ziel, das Verständnis der Struktur der vorgeschlagenen Methodologie zu erleichtern, werden in Kapitel 3 die Begrifflichkeiten der Fuzzy-Methodik definiert, die dem Modell in dieser Arbeit zugrunde liegen.

## 2.10 Objektivität und lokales Wissen

Beim Studium eines Systems sind die thematische Interpretation und die Auswahl der Experten Aspekte, durch welche Objektivität erzeugt und verstärkt wird. Bei der thematischen Interpretation von Verwundbarkeit - Verwundbarkeit hier verstanden wie in der Einführung in Kapitel 2.1 beschrieben - besteht die Schwierigkeit, dieses Wissen in einem einzigen Wissenskörper zu versammeln. Die Entscheidung für die Auswahl der Probleme, die sich ergeben, wenn man Vulnerabilität als thematischen Dreh- und Angelpunkt wählt, ist auch nicht weniger subjektiv, weil dabei unsere Wertvorstellungen, Prinzipien und Ideale ins Spiel kommen. Ein Beispiel hierfür ist Webers Verständnis von Werturteilen (*value judgements*): "*Unter Werturteilen versteht man, sofern nichts anderes impliziert oder ausdrücklich angegeben ist, praktische Bewertungen der unbefriedigenden oder befriedigenden Eigenschaften von Phänomenen, die unserem Einfluss unterliegen. Die Problematik liegt im Handlungsspielraum ("Freiheit") einer bestimmten Wissenschaft von derartigen Werturteilen.*" ([Weber, M. 1949, S.1 – eigene Übersetzung](#)).

Der zweite Aspekt ist die Auswahl von Experten für das zu untersuchende Thema. Diese helfen bei der Identifizierung und Einschätzung der Relevanz der Kriterien, welche die thematischen Variablen ausmachen und definieren. In diesem

Zusammenhang behauptet Max Weber (Weber, M. 1949, S.63): *"...in unseren Wissenschaften (d.h. Sozialwissenschaft) haben persönliche Werturteile dazu geführt, wissenschaftliche Behauptungen zu beeinflussen, ohne explizit eingeräumt zu werden. Sie haben eine fortwährende Verwirrung verursacht und zu verschiedenen Interpretationen wissenschaftlicher [Behauptungen] geführt, an Stelle von Behauptungen darüber, was unter bestimmten Umständen möglich ist, und das sogar im Bereich der Festlegung einfacher zufälliger Zusammenhänge zwischen Fakten, je nachdem, ob die Ergebnisse die Chancen, die persönlichen Ideale zu verwirklichen erhöhten oder verringerten, d.h. die Möglichkeit, etwas Bestimmtes zu wünschen."*

Die Experten sind selbst ein Teil des betrachteten Systems und bei der Auswahl spielt hier nicht so sehr ihre akademische Bildung und theoretisches Fachwissen die Hauptrolle sondern ihre persönliche Lebenserfahrung. Eine Überlegung, die auch von Weber geteilt wird (Weber, 1949,S.97, eigene Übersetzung): *"Um diese Sichtweise zu verteidigen, muss man nicht der Meinung sein, dass jeder so spezialisiert werden sollte wie möglich. Man kann im Gegensatz dazu diese Ansicht in Frage stellen, weil man nicht die ultimativen und größten persönlichen Entscheidungen sehen möchte, die eine Person in Bezug auf ihr Leben treffen muss, und die mit ihrer spezialisierten Ausbildung verwechselt werden"*.

Im hier untersuchten Fall trifft zum Beispiel die repräsentative Gruppe sogenannter "Bewässerungskomitees" (*Comites de Regantes*) die Entscheidungen über die Nutzung und die Maßnahmen für den Zugang zu den Wasserressourcen. Das Wissen der Vertreter dieser Gruppe, welches sie als Experten für das Untersuchungsgebiet Quebrada Shallap auszeichnet, kommt in der Definition der Organisation dieser Bewässerungskomitees zum Ausdruck (ITACAB, o.D. S1 – eigene Übersetzung):

- Das Bewässerungskomitee ist eine Organisation von Bewässerungswassernutzern innerhalb der Gemeinde und ist Teil der kommunalen Organisationsstruktur, für die es von der Agrarbehörde anerkannt ist.
- Das Landwirtschaftsministerium gewährt den Mitgliedern der Komitees eine gerechte, vernünftige und im Einklang mit den gesellschaftlichen Interessen stehende Wassernutzung.

- Es [das Komitee] unterliegt einer Satzung und vertritt die Wassernutzer als Autorität [Behörde].
- Das Bewässerungskomitee setzt sich aus dem Vorstand und der Generalversammlung zusammen. Der Vorstand besteht aus: einem Präsidenten, einem Vizepräsidenten, einem Sekretär, einem Schatzmeister und zwei weiteren Mitgliedern. Die Generalversammlung ist das Zusammentreffen aller Nutzer des Kanals [Wasserressourcen zur Bewässerung].

Die Entscheidungsträger sind hier selbst Nutzer der Wasserressourcen zum Zweck der Bewässerung, d.h. Teil des Systems für das sie als Autorität fungieren und Entscheidungen im Interesse aller treffen. Daher werden sie im Kontext der vorliegenden Forschungsarbeit als Experten bezeichnet, die das eingangs genannte Kriterium (lokale Wissensträger zu sein) erfüllen. Dies ist auch der Grund warum hier 10 Vertreter (zum Teil Vorsitzende) von Bewässerungskomitees als Befragte ausgewählt und ihre Einschätzungen für die Erstellung des Expertons verwendet wurden. Als lokale Experten werden sie so in die Untersuchung mit einbezogen und dieser Gruppe wird folglich bewusst eine höhere Bedeutung beigemessen als anderen Bewohnern oder als den Experten, die nicht aus der Region stammen.

## **2.11 SILVIO als Tool für die vorliegende Fragestellung**

SILVIO ist eine Methodologie, die dazu dient, die Auswirkung der Klimaveränderung (quantitativ) auf die soziale Verwundbarkeit (qualitativ) zu untersuchen. Der Mehrwert dieser Methodik ist die Handhabung qualitativer Information mit Hilfe eines *fuzzy* Basisindex. Das Verfahren der Aggregation ist bisher durch Experten für die Thematik und geographische Region über die Analyse und Zuordnung ihrer Erfahrungen erfolgt. Jetzt, mit SILVIO, ist dies strukturierter möglich. Die Vorstellung dieses methodischen Werkzeugs ist eine Neuerung: es aggregiert qualitative Information (durch *Defuzzyfizierung*, in numerischen Werten ausgedrückt) und quantitative (auf Zahlen basierende) Information, wodurch man eine Übersicht der Beschaffenheit des Systems hinsichtlich des Zustands seiner Verwundbarkeit erhält. Die Betrachtung sowohl der sozialen als auch der natürlichen Aspekte in der

Forschungsregion, macht die Verwendung von SILVIO vorteilhaft für die Analyse der Verwundbarkeit in sozial-ökologischen Systemen.

Es werden bereits verschiedene Studien über das Thema des Gletscherschwunds erarbeitet (z.B. [Kaser, G. et al 1997](#)), Daten, Karten, Satellitenbilder und Vorhersagen über die ökologische Verwundbarkeit in den betroffenen Gebieten sind ebenfalls vorhanden; aber von dem, was man weiß, ist nur wenig über das lokale Wissen, die Betroffenheit und die Wahrnehmung der Bevölkerung in der unmittelbaren Umgebung von Gletschern bekannt. Wie erleben sie die Veränderung der Gletscher? Welches sind ihre Strategien in Reaktion auf und zum Umgang (Anpassung) mit Verwundbarkeit? Wie verändern sich die nicht formalisierten Machtstrukturen in den betroffenen Gebieten? Alle diese Fragen umreißen einen sehr interessanten Bereich für weitere Forschung und Analyse. Diese Forschungsarbeit beabsichtigt ein Computer basiertes Modell zu entwickeln, welches erstmalig für die Region sozialökologische Aspekte, Verwundbarkeit und lokale Klimavariablen im Kontext fuzzy-dynamischer Systeme verknüpft. Das betrachtete System ist viel umfassender als das betrachtete Modell, für das hier der theoretische Rahmen präsentiert wird. Daher beabsichtigt es nicht, eine endgültige Antwort zur Modellierung und zur Bewertung von Aspekten wie Verwundbarkeit, Resilienz oder Überlebensstrategien sozialer Gruppen zu geben.

### 3. DARSTELLUNG DER METHODIK

*„Die Verhaltensweisen und Einstellungen von Individuen und Gruppen in einer Organisation berufen sich notwendigerweise auf die Machtbeziehungen, die zwischen ihnen bestehen. Jede Gruppe versucht aber strategische Punkte zu beherrschen, welche durch die verschiedenen Quellen der Unsicherheit hervorgebracht werden, die in der Firma [Organisation] existieren, und ihre Macht wird in dem Maße erzeugt in dem es ihnen gelingt, diese Unsicherheiten zu kontrollieren.“ Crozier, 1969 eigene Übersetzung*

In dieser Arbeit wird ein methodologisches Vorgehen zur Analyse der sozialen Verwundbarkeit unter dem Einfluss lokaler Klimaveränderungen, SILVIO (**Social Vulnerability Order-Methodology**) genannt, präsentiert. Bei der Entwicklung der SILVIO-Methodologie zeigte sich, dass einer der hauptsächlichsten Unsicherheitsfaktoren in der Klassifizierung und Gewichtung der unterschiedlichen Variablen und der mit ihr verbundenen Subjektivität liegt. Die Beteiligung der lokalen Bevölkerung an den Entwicklungen in ihrem Umfeld und den Prozessen zur Entscheidungsfindung ist essentiell und von großer Bedeutung für den Prozess der Analyse der sozialen Vulnerabilität. Die Zusammenstellung des reichen und wertvollen Wissens der Betroffenen, das teilweise im Laufe der Generationen durch Anekdoten weitergetragen wurde, ist ein grundlegendes Merkmal, welches zur Auswahl der in dieser Arbeit vorgestellten Variablen diente. Gleichzeitig ist es aber auch der größte Unsicherheitsfaktor für die Modellierung.

Um die Struktur der Dynamik in der Quebrada Shallap und die Machtbeziehungen, die zwischen Personen in der Region herrschen, beschreiben und interpretieren zu können, verwendet diese Untersuchung Methoden der Systemanalyse und Simulation, die das Verständnis des Untersuchungsgegenstands erleichtern. Die Daten, auf die sich dieses Modell stützt, wurden aus der Analyse und Systematisierung der Literatur sowie durch empirische Feldforschung (Interviews) im Untersuchungsgebiet zusammengetragen. In diesem Zusammenhang wurden leitfadengestützte Interviews auf soziale Systeme angewendet. Fuzzy Systems, haben als Grundbasis die Fuzzy Logik. (Klir, G und Yuan, B. 1995)

Die Fuzzy Logik erlaubt es, die den linguistischen Variablen anhaftende Ungenauigkeit und Unsicherheit in die Systemmodellierung einzubeziehen. Dieses innovative Vorgehen ist die Basis des neuen von Zadeh vorgestellten Paradigmas und besitzt die außergewöhnliche Besonderheit, eine passende Struktur für die „Granulierung“ der Information bei der Systemanalyse anzubieten. „Granulierung“ wird von Zadeh als ein hierarchischer Prozess definiert, der „die Zerteilung des Ganzen“ repräsentiert (Zadeh, L.1997, S.115).

Lotfi Zadeh entwickelte in den 60er Jahren die *multivalued set theory*, führte den Begriff fuzzy, Fuzzy Set and Fuzzy System in die technische Literatur ein und „begründete damit eine zweite Welle des Interesses an der *multivalued mathematical structure* von Systemen zu Topologien“ (Kosko, B. 1992, S. 16 ,eigene Übersetzung).

Zur Erarbeitung der SILVIO-Methodologie wurde die Modellierung sozialer und ökologischer Systeme unter Nutzung diffuser Perspektive herangezogen (Andriantiatsaholiniaina, L. 2001, Berkes, F. 2008, De Lameda, B. 1999, López, T. Medina, S. 2000, Prato, T. 2005, 2006, 2008, 2008b, 2009, 2010, 2014, Youseffi, H. 2011, Wagemann, C. 2007). Das folgende Unterkapitel widmet sich der Thematik der Fuzzy-Theorie und des Umgangs mit Unsicherheit.

### 3.1 Fuzzy Logik und Mathematik der Unsicherheit

Die Mathematik der Unsicherheit kann als der große Paradigmenwechsel des 20. Jahrhunderts in der Modell- und Simulationswissenschaft bezeichnet werden. Traditionell wird Wissenschaft mit Präzision, Spezifizierung und Konsistenz assoziiert und jegliche Manifestation des Unspezifischen, der Unschärfe oder der Ungenauigkeit hatte keinen Platz in dieser Welt. Ein außergewöhnlicher Schritt in diesem Paradigmenwechsel der Wissenschaft ist die Arbeit von Lotfi Zadeh und seine Beschreibung der Personalisierung in der Bewertung von Konzepten sowie des Vagen und Ungenauen in den Definitionen. „...in almost all of human reasoning and concept formation the granules are fuzzy [...] The fuzziness of granules, their attributes and their values is characteristic of ways in which humans granulate and manipulate information“, schreibt Zadeh (Zadeh, L. 1997, S.116) in seiner Einführung in die Theorie der Fuzzy-Sets. George Klir nimmt Bezug darauf und formuliert es

folgendermaßen: "Die Mitgliedschaft in einer diffusen Menge ist keine Aussage oder Negation, sondern eine Frage des Grades" (Klir, G. und Yuan, B. 1995). Fuzzy-Logik ist eine Methodik, die es ermöglicht, die Lösung von Problemen unter Verarbeitung vager, mehrdeutiger oder ungenauer Informationen zu erhalten. In der Fuzzy Theorie wird alles als eine Frage des Ausmaßes betrachtet. Gleichzeitig, basiert die Theorie auf drei Konzepten menschlicher Kognition: *Detailgenauigkeit*, *Gruppierung* und *Beziehungen*. Sie rationalisiert einen großen Teil unserer „Volkspychologie“. Fuzzy Theorie reduziert schwarz-weiß Logik und Mathematik auf spezielle Grenzfälle grauer Beziehungen.

Die traditionelle Mengenlehre charakterisiert eine ordinäre Teilmenge *Crisp* (d.h. es lässt sich eindeutig feststellen, ob ein Element zu den Werten einer Menge gehört oder nicht) einer universellen Menge  $X$ , definiert durch eine charakteristische Funktion. Diese Funktion identifiziert, welche Elemente von  $X$  zur Menge gehören und welche nicht. Die charakteristische Funktion einer ordinären Menge  $A$  weist jedem Element der universellen Menge  $X$  zwei mögliche Werte zu, nämlich 1, wenn das Element zu  $A$  gehört, oder 0, wenn es nicht dazugehört. Wenn die zuvor identifizierte charakteristische Funktion Werte annimmt, die in dem Intervall  $[0,1]$  enthalten sind, d.h. dass die Zugehörigkeit zu der Menge einem Grad (einer graduellen Abstufung) zugeordnet ist, dann wird diese Teilmenge Fuzzy-Set genannt. Bei dem Versuch das Konzept dieser erweiterten charakteristischen Funktion in Kurzform zu beschreiben, wird das Fuzzy-Sets vollständig durch eine Funktion der Zugehörigkeit oder Mitgliedschaft charakterisiert, die wie folgt definiert ist:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) / x \in X\}, \quad (*)$$

Dabei wird  $\mu_A(x)$  als Grad der Zugehörigkeit des Elements  $x$  in der diffusen Menge  $A$  dargestellt.

Die Anwendung von *fuzzy* Konzepten erfordert keine tiefgründige Kenntnis der Systeme oder etwa den Umgang mit exakten Gleichungen und präzisen Zahlenwerten. Die *fuzzy* Modellierung ermöglicht die Nutzung von Kenntnissen, Erfahrungen und Informationen über subjektive Konzepte oder sprachliche Variablen die nicht innerhalb genauer numerischer Bereiche verortet werden können, wie beispielsweise: sehr wenig, ziemlich nahe, hellbraun. Fuzzy-Sets hängen folglich

---

\* López T. und Medina S. 2000

immer vom Kontext ab, in dem sie gebildet werden (López T. und Medina S. 2000, Klir, G. und Yuan, B. 1995, Kosko, B. 1992, Mendaña, C. und López, E. 2001, Zimmermann, H. 1993).

Es gibt dazu Kriterien, die versuchen, die bei der Meinungsbildung zu verwendende Methodik zu klassifizieren, wie zum Beispiel:

- Der Prozess der Übertragung von subjektiven Meinungen in Funktionen der Zugehörigkeit, und
- Die Verwendung von Fuzzy-Sets als Werkzeug zum Umgang mit Unsicherheit und zur Gewichtung der Informationen von Experten.

Schließlich sind Systemidentifikation, data mining und Fuzzy Theorie die Grundlage für die Entwicklung eines Modells, das versucht, die Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die soziale Verwundbarkeit der Bevölkerung in der unmittelbaren Umgebung eines Gletschers in der peruanischen *Cordillera Blanca* abzubilden.

Ein Experton ist die algorithmische Darstellung der Meinung oder Einschätzung eines oder mehrerer Experten in einer Matrix, die eine skalierte Abbildung der relevanten Variable enthält. Das *Experton* ermöglicht die Darstellung und Verwendung von Aggregationsprozessen; durch ein *Experton* werden Eigenschaften und Konzepte unter Verwendung von Gewichtungsfunktionen hierarchisiert. Im Jahr 1986 schlugen Arnold Kaufmann und Jaime Gil Aluja eine neue Delphi-Methode vor, die sie Fuzzy-Delphi-Methode nennen (Mendaña, C. und López, E. 2001). Diese Methode beschreibt die Schritte zur Erstellung eines Expertons und hält die folgenden Bedingungen ein:

- Verwendung einer dekadischen Skala oder Set von 11 möglichen Werten in einem Intervall mit der oberen Grenze 1 und der unteren Grenze 0, nämlich: 0;0,1;0,2;0,3;0,4;0,5;0,6;0,7;0,8;0,9;1.
- Die menschliche "Ungenauigkeit" wird berücksichtigt, wenn die Bewertung durch Experten erfolgt.
- Die Gewinnung der Meinung oder des Sinneseindrucks von n Experten (n endlich) in Bezug auf das untersuchte System mittels einer sogenannten Fuzzy-Zahl  $A_i$ ,  $i = 1, 2, 3 \dots n$ . Jeder Experte weist hierbei diejenige Fuzzy-Zahl zu, die seine Meinung in einem Set von Fuzzy-Zahlen am besten repräsentiert. Für die Bewertungen sind unter anderem bestimmte

mathematische Operationen wie Addition, Maximal- und Minimalwert anwendbar, ohne den Inhalt der Information zu verwerfen und mit gültiger mathematischer *Rigorousität*. *"Als Bewertung wird die Zuordnung eines numerischen Werts, positiv, negativ oder null, zu einem Objekt (konkret oder abstrakt), durch einem Experten verstanden. Eine Bewertung ist der Ausdruck eines Wahrheitsniveaus, die Werte im Konfidenzintervall [0,1] annimmt."* (PUCP 2010, S. 79 – eigene Übersetzung).

- Zur Normalisierung, wird durch die Anzahl der Experten  $n$  geteilt, und danach berechnet man die kumulative komplementäre Verteilungsfunktion.
- Es wird erwartet, dass bei einem Konfidenzniveau 0 immer der Wert 1 erhalten wird.

Die Expertone erlauben die Anwendung der gleichen Funktionen auf Fuzzy-Variablen, Intervalle, Fuzzy-Subsets und fuzzy inference systems (FIS). Die vorgestellte Methodik empfiehlt die Berechnung mathematischer Erwartungswerte (Konfidenzniveau) und stuft diese als grundlegende Informationen für die Entscheidungsfindung ein.

Wie beschrieben, erlaubt es die Methodologie der Fuzzy-Logik, eine mathematische Analyse von Problemen durchzuführen, auch wenn nur vage, zweideutige oder unpräzise Informationen verwendet werden können. Für die Region Huaraz existiert eine sehr umfangreiche statistische Datenbasis. Bei der Gewinnung von Informationen von den Bewohnern der Region erhält man aber sprachliche Variablen, oder anders gesagt, nicht numerische Bewertungen. Die Fuzzy Logik basierte Methodologie von Gil-Aluja (Gil-Aluja, 1998) gestattet es, diese sprachliche Information in numerische Daten umzuformen, um Vergleiche möglich und Verbindungen, Wirkungen und Beziehungen nachvollziehbar zu machen sowie insbesondere auch kompatibel für die Simulation mit den klimatischen Daten.

Bezüglich der engen Beziehung zwischen dem menschlichen Denken und der Veränderlichkeit von Bewertungen zu ein und demselben Thema schreibt Kosko (Kosko, B. 1992 S.3): *"Fuzzy theory holds that all things are matters of degree. It mechanizes much of our "folk psychology". Fuzzy theory also reduces black-white logic and mathematics to special limiting cases of gray relationships."* Der Autor bezieht sich auch auf Lofti Zadehs Arbeit aus den 1960er Jahren (Zadeh, L. 1965 S. 352): *"[...] developed the multivalued set theory, introduced the term fuzzy into the*

*technical literature, and inaugurated a second wave of interest in multivalued mathematical structure, from systems to topologies*". Die Fuzzy Logik bietet Eigenschaften und Methoden ähnlich der wahrscheinlichkeitstheoretischen Methoden, aber sie unterscheidet sich von diesen in ihrem Informationsgrad.

### **3.2 Entwicklung der Methodologie SILVIO**

Die Definition von Variablen und die Strukturierung eines Index ebenso wie die Anwendung der zuvor entwickelten Konzepte und die Merkmale des Systems, sind Themen, die im Folgenden näher erläutert werden. Die Methodik der Entwicklung von SILVIO ist in Abbildung 10 als Flussdiagramm dargestellt. Sie wird nun in insgesamt sechs aufeinanderfolgenden Schritten beschrieben.

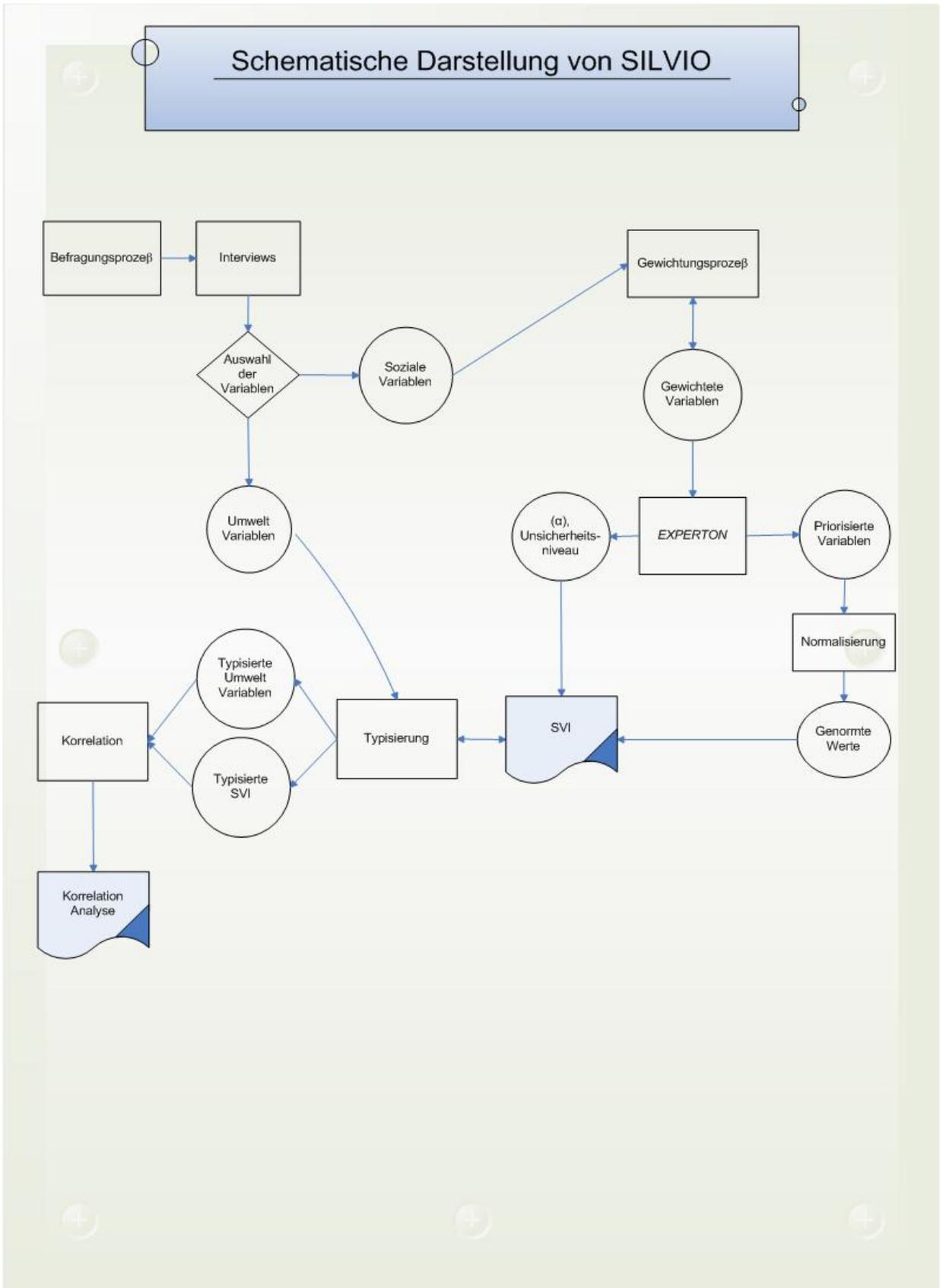


Abbildung 10: Schematische Darstellung der Entwicklung von Silvio

Im Folgenden wird jeder einzelne Schritt des Modells entsprechend der chronologischen Abfolge der Entwicklung von SILVIO vorgestellt:

## 1. SCHRITT: DATENERHEBUNG UND IDENTIFIZIERUNG VON VARIABLEN

Die Auswahl der in den verschiedenen Etappen befragten Experten erfolgte nach einer vorab bestimmten schrittweisen Annäherung, zunächst in Lima, anschließend in der Untersuchungsregion und schließlich wieder in einem breiteren Expertenkreis. Die Vorgehensweise wird in der Folge näher erläutert.

Zunächst wurden 15 Experteninterviews in Lima durchgeführt mit dem Ziel, die für die Fragestellung wichtigsten Variablen zu identifizieren. Die Experten stammten aus Umweltbehörden, Nicht-Regierungsorganisationen und Projekten der Entwicklungszusammenarbeit. Anschließend wurde in den Siedlungen des Untersuchungsgebiets entlang der Quebrada Shallap in Peru eine Befragung durchgeführt, um Primärinformationen über die Lebenssituation der Bevölkerung zu erhalten und den Status Quo des Systems in dieser Region zu verstehen. Diese zweite Befragung bestand aus insgesamt 10 Gesprächen und Interviews mit Bewohnern (im Kontext dieser Arbeit als lokale Experten bezeichnet) sowie geführten Beobachtungen. Einige der Befragten waren Vorsitzende der lokalen Bewässerungskomitees (*comites de regantes*) auf deren Bedeutung für die vorliegende Arbeit bereits in Unterkapitel 2.10 hingewiesen wurde. Den Vertretern der Bewässerungskomitees im Untersuchungsgebiet wurde als lokalen Experten später ein höheres Gewicht zuerkannt.

Die Interviews mit beiden Expertengruppen galten insbesondere der Beschaffung von Informationen darüber, welches die relevanten Variablen sind, die anschließend den Index der sozialen Vulnerabilität und die lokalen Klimaverhältnisse darstellen sollten.

Der erste Fragebogen (Anhang 1, Befragung 1. Offener Fragebogen) wurde mit 25 Personen (15 in Lima und 10 in der Quebrada Shallap) angewendet. Dieses Vorgehen ermöglichte es, einen Überblick über die Situation und Probleme in der Region aus zwei unterschiedlichen Perspektiven zu gewinnen, einmal die der lokalen Experten und zum anderen die Sichtweise der Experten der deutschen

Entwicklungszusammenarbeit. Die relevanten Variablen, die zur Strukturierung des Index Sozialer Verwundbarkeit (SVI) und zur Beschreibung der lokalen Klimabedingungen (LCV) verwandt wurden, waren diejenigen, die aus den Interviews der 10 Befragten in der Quebrada Shallap hervorgingen. Dabei ist zu beachten, dass aus den Befragungen offene Antworten gewonnen wurden, die zum Teil Spielraum für Interpretation ließen. Außerdem wurde in vielen Fällen mit Hilfe von Übersetzung in bzw. aus dem Quechua gearbeitet. Diese Tatsachen tragen zu einer Erweiterung der Unsicherheit bei.

Nachdem die relevanten Variablen über diese erste Befragung aus einer Vielzahl von möglichen Variablen herausgearbeitet wurden, sind diese von 27 weiteren Experten aus verschiedenen Ländern über einen elektronisch verschickten Fragebogen validiert worden (Anhang 2, Befragung 2. Maßgebliche Variablen in der Region). Die Auswahl dieser Gruppe erfolgte aufgrund ihrer Kenntnis der Human- oder Sozialgeographie bzw. verwandter Wissenschaften oder einer vorherigen Beschäftigung mit Gletschergebieten.

Es wurden also insgesamt 52 thematische und/oder regionale bzw. lokale Experten befragt, um die Variablen zu ermitteln, die einen Index Sozialer Verwundbarkeit (SVI) und lokale Klimabedingungen (LCV) für das betrachtete Untersuchungsgebiet in der Region Huaraz darstellen können. Diese Experten<sup>5</sup> stufen die Gewichtung der Variablen auf einer Skala von eins (1) bis zehn (10) ein. Dies diente zur Hierarchisierung der Variablen. Die Ergebnisse dieser Bewertungen sind in einer Matrix dargestellt wie in Tabelle 1 unten schematisch dargestellt. Wenn in dieser Arbeit im Folgenden von „befragten Experten“, „ausgewählten Variablen“ oder einfach nur den „Grundlagen“ für sämtliche Berechnungen hinsichtlich des Index Sozialer Verwundbarkeit (SVI) und für die Computer gestützte Ausführung von SILVIO gesprochen wird, dann beziehen sich diese auf die in Tabelle 9 in Kapitel 4 zusammengefassten Informationen. Die Bewertung, die von jedem einzelnen der lokalen Repräsentanten oder Bewohner des Untersuchungsgebiets abgegeben wurde, spiegelt die Gewichtung (Bedeutung oder die Relevanz) der jeweiligen Variable innerhalb der Dynamik der sozialen Vulnerabilität der Region wider.

---

<sup>5</sup> In der Theorie bezeichnet Gil-Aluja ([Gil-Aluja, J. 1998](#)) als Experte jede Person, die selbst Teil des untersuchten Systems ist, wenn sie zu diesem System befragt wird. Es ist das von ihr Erlebte und ihre persönliche Erfahrung, die sie qualifiziert und nicht notwendigerweise ihre wissenschaftliche Ausbildung; sie ist nicht unbedingt ein Experte nach dem akademischen Sinn des Wortes.

Hier sind beispielhaft einige ausgewählte Zitate der befragten lokalen Experten aufgeführt (eigene Übersetzung aus dem Spanischen):

Experte 1: *„Desde que la mina empezó tenemos menos agua... se siente en el cultivo y con el ganado. [...] El calor es muy fuerte, ya no se va... derritió el glaciar... cuando el glaciar se acabe, se acabará el agua.“* - „Seitdem das Bergwerk aufgemacht hat, haben wir weniger Wasser... das merken wir im Ackerbau und in der Viehzucht. [...] Die Hitze ist sehr groß, sie geht gar nicht mehr weg... sie hat den Gletscher geschmolzen... wenn der Gletscher weg ist, wird es auch kein Wasser mehr geben.“

Experte 2: *„El Gobierno saca el dinero de la mina... no le importa que la gente no tenga agua... solo quiere su dinero...“* - „Die Regierung nimmt das Geld aus dem Bergwerk... es ist ihnen (Anm. d. Autorin: den Regierenden) egal, dass die Menschen kein Wasser haben... sie wollen nur ihr Geld...“

Experte 3: *„El sol está muy fuerte, nos está enfermado la piel. [...] El agua no es la prioridad sino, la mina. [...] La sequía es muy larga y la poca lluvia es muy intensa.“* - *„Die Sonne ist sehr stark, sie macht unsere Haut krank. [...] Das Wasser ist nicht die Priorität, sondern das Bergwerk. [...] Die Trockenheit (Anm. d. Autorin: Trockenzeit) dauert sehr lange und der wenige Regen ist sehr stark.“*

Diese Art von Aussagen, die aus den ersten Interviews mit lokalen Experten stammen, wiederholen sich kontinuierlich und sind daher die Basis für die Definition der wesentlichen repräsentativen Variablen des SVI. Sie sind auch Grundlage für die Bestimmung der relevanten Variablen, die die lokalen Klimabedingungen und den Prozess klimatischer Veränderung beschreiben (LCV). Hierfür wurden Temperatur und Niederschlag identifiziert; beide korrelieren im integrierten SILVIO-Modell miteinander (SVI CCR LCV).



**Abbildung 11: Im Interview mit Bewohnern des Tals Quebrada Shallap (Eigene Aufnahme, 2013)**

Auch wenn bei den Befragungen der Gebrauch des Begriffs „Klimawandel“ vermieden wurde, weil dieser nach Aussage von Einheimischen mit einer „Strategie der Regierung, um Stimmen zu erhalten“ in Verbindung gesetzt wird, hat die Mehrheit der Befragten den Bergbau, die extreme Hitze und die Wasserverfügbarkeit als Ursache für die Aufgabe der Landwirtschaft in der Region und die Migration in andere Gegenden Perus genannt.

Nachdem die Erhebung, die statistische Bearbeitung und die Identifikation der für das System relevanten Variablen abgeschlossen sind, schließt sich die Gewichtung der Information an, welche im folgenden Schritt erläutert wird.

## 2. SCHRITT: GEWICHTUNG DER VARIABLEN UND BERECHNUNG DES EXPERTONS

Die von Gil-Aluja entwickelte Methode der *Expertone* (Gil-Aluja, J. 1999) erlaubt es, eine Hierarchie nach Priorität oder Bedeutung der Variablen zu erstellen. Sie arbeitet mit der Zuordnung von Funktionen der Gewichtung und erleichtert so dem Wissenschaftler das Erkennen der aus der Sicht der Befragten als wichtig erachteten

Variablen, in diesem Fall lokale Bewohner, ebenso wie den Beitrag dieser Variablen zur Berechnungsfunktion des Index SVI.

Die Gewichtung der Variablen ist eine Priorisierung auf Basis von Antworthäufigkeiten aus den Interviews mit lokalen Bewohnern und Experten. Dazu wurde die von den Experten erhaltene numerische Zuordnung wie von Gil-Aluja beschrieben (Gil-Aluja, J. 1999) in eine Matrix eingefügt, die im Folgenden als  $|M|_1$  bezeichnet wird. In dieser Matrix nehmen die Variablen - hier mit V bezeichnet - die Werte von 1 bis j an, wobei j für die Anzahl der insgesamt betrachteten Variablen steht. Die Anzahl der Experten wird mit n bezeichnet; n nimmt Werte von 1 bis zur maximalen Anzahl der Experten an.

	$V_1$	$V_2$	.	.	.	$V_j$
Experte 1	$A_{11}$	$A_{12}$	.	.	.	$A_{1j}$
Experte 2	$A_{21}$	$A_{22}$	.	.	.	$A_{2j}$
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
Experte n	$A_{n1}$	$A_{n2}$	.	.	.	$A_{nj}$

**Tabelle 1: Zuordnung der Bewertungen der Experten  $|M|_1$**

In folgenden, ein Beispiel von (Gil-Aluja 1990), wird eine Gruppe von fünf Experten gebeten, ihre Einschätzung ( $A_{nj}$ ) zur Ausprägung einer bestimmten Eigenschaft eines wirklichen oder gedanklichen Objektes zu geben. Für  $n=5$  und  $V_j$  mit  $j=1$  erhält man einen Vektor der folgenden Form:

	$V_1$
Experte 1	0,3
Experte 2	0,6
Experte 3	0,8
Experte 4	0,6
Experte 5	1

**Tabelle 2: Einschätzungen der Experten. (Beispiel von Gil-Aluja, J. 1990)**

Die Einschätzungen eines jeden Ranges der dekadischen Skala werden zusammengezählt, wodurch man die Matrix  $|M|_2$  der Häufigkeitsstatistik, hier im Beispiel für die Variable Landwirtschaft (LWS), im Folgenden  $V_1$  bezeichnet, erhält:

	LWS ( $V_1$ )
0	-
0,1	-
0,2	-
0,3	1
0,4	-
0,5	-
0,6	2
0,7	-
0,8	1
0,9	-
1	1

**Tabelle 3: Kumulierte Häufigkeit der Bewertungen  $|M|_2$**

Indem man die Häufigkeiten nun durch die Anzahl der Experten  $n$  dividiert, erhält man die Matrix  $|M|_3$  mit der normalisierten Häufigkeit:

	$V_1$
0	-
0,1	-
0,2	-
0,3	0,2
0,4	-
0,5	-
0,6	0,4
0,7	-
0,8	0,2
0,9	-
1	0,2

**Tabelle 4: Normalisierte Häufigkeit der Bewertungen  $|M|_3$**

Nachfolgend wird die kumulative komplementäre Verteilungsfunktion (KKV) berechnet, indem die Summe eines jeden Elements mit dem unmittelbar nachfolgenden gebildet wird, angefangen beim Konfidenzniveau 1. So erhält man:

Konfidenz-niveau ( $\alpha$ )	$ M _2$	$ M _3$	Berechnung der KKV	KKV für $V_1$
0			1	1
0,1			1	1
0,2			1	1
0,3	1	0,2	(1-0,2)	0,8
0,4			0,8	0,8
0,5			0,8	0,8
0,6	2	0,4	(0,8-0,4)	0,4
0,7			0,4	0,4
0,8	1	0,2	(0,4-0,2)	0,2
0,9			0,2	0,2
1	1	0,2	(0,2-0,2)	0
Koeffizient				$C_j$

**Tabelle 5: Kumulative komplementäre Verteilungsfunktion (Experton)**

Auf diese Weise erhält man die Matrix des Komplements zu 1, die Experton genannt wird, im dargestellten Beispiel ein *Singleton*, d.h. eine Matrix mit nur einer Spalte. Ein Experton ist also eine kumulierte komplementäre Häufigkeitsverteilung einer Variablen (Singleton) oder mehrerer Variablen. Es wird empirisch aus Befragungsdaten und deren Häufigkeitsverteilungen ermittelt.

Der mathematische Erwartungswert eines *Expertons* wird durch die Addition seiner Werte berechnet, ohne jedoch das Niveau 0 mit einzubeziehen. Anschließend wird das Ergebnis durch die Anzahl der Experten (in diesem Fall 10) geteilt, um den Wert in einem Intervall (0, 1) darstellen zu können. So erhält man:

$$E(x) = \frac{1}{10} \left( [1] + [1] + [1] + [0.8] + [0.8] + [0.8] + [0.4] + [0.4] + [0.2] + [0.2] \right) = [0,66]$$

Das Ergebnis aus diesem Schritt drückt aus, dass für die im Beispiel befragten Experten das betrachtete Objekt zu ungefähr 66% eine zu erforschende Eigenschaft besitzt (Erwartungswert von 0,66).

Im nachfolgenden Schritt wird beschrieben wie das Konfidenzniveau festgelegt wird. Es bestätigt, dass die für jede Variable vorgenommene Gewichtung und ihre Priorisierung repräsentativ sind.

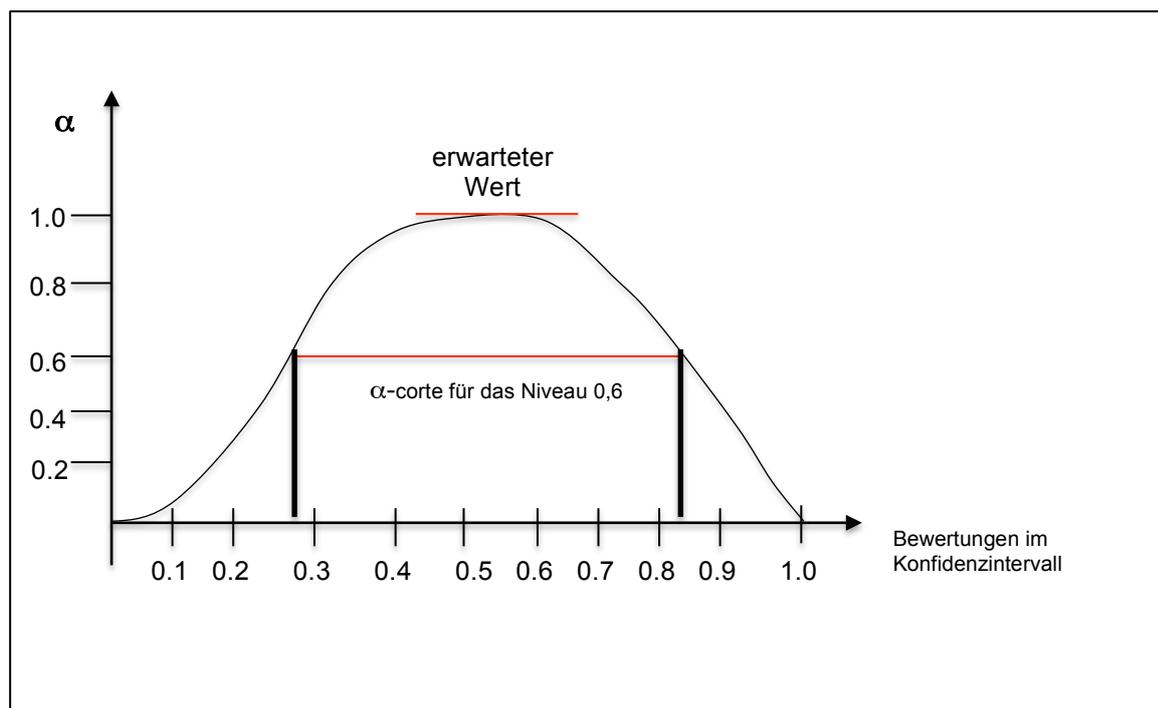
### 3. SCHRITT : DEFINITION DES KONFIDENZNIVEAUS ( $\alpha$ -LEVEL) UND NORMALISIERUNG DER WERTE

Im Umgang mit Unsicherheit ist das Treffen von Entscheidungen eine große Herausforderung. Daher muss versucht werden, den Wahrscheinlichkeitsgrad möglicher zukünftiger Zustände zu schätzen. Dies geschieht durch die Festlegung eines Konfidenzniveaus.

Das Konfidenzniveau wird mit ( $\alpha$ ) bezeichnet und in Intervallen von (0,1) dargestellt (siehe Abbildung 12). Es wird normalerweise durch das Urteilsvermögen des Bewerter (Forschers) bestimmt und ermöglicht die Hierarchisierung der Variablen. Eine häufige Fragestellung ist in diesem Zusammenhang, wie das geeignete Konfidenzniveau bestimmt werden kann, oder mit anderen Worten, anhand welcher Kriterien ein  $\alpha$ -Level festgelegt wird. Die Antwort auf diese Frage bleibt dem Urteilsvermögen des Forschers unterworfen, und hängt auch davon ab, welcher Grad an Unsicherheit im Modell erlaubt sein soll. In dieser Arbeit wurde als Auswahlkriterium des  $\alpha$ -Levels das maximale Niveau gewählt, das alle von den lokalen Experten als wichtig beschriebenen Variablen beinhaltet. Dabei ist es von Bedeutung klarzustellen, dass die niedrigsten Konfidenzniveaus die größte

Unsicherheit bedeuten und die höchsten Konfidenzniveaus eine geringere Unsicherheit. Daher wurde in dieser Arbeit dasjenige Kriterium angewandt, welches die Unsicherheit minimierte. Details werden in Kapitel 4 erläutert.

In der nachfolgenden Abbildung 12 werden die Häufigkeitsverteilung (KKV) der Expertenbewertungen und ein Beispiel für die Festlegung des Konfidenzniveaus dargestellt.



**Abbildung 12: Darstellung von Häufigkeitsverteilung und Konfidenzniveau**

Die Berechnung, die Priorisierung der Variablen und die Wahl des Konfidenzniveaus wurden mit der Software OCTAVE kodiert und sind im (Anhang 5, Berechnung des EXPERTONS) dargestellt.

Nachdem das  $\alpha$ -Level ausgewählt ist und die Koeffizienten  $C_i$ , oder in anderen Worten, die Gewichtungen, die jede Variable zur Darstellung des Index beiträgt (siehe Gleichung 1 im 4. Schritt), durch das *Experton* bestimmt sind, nimmt man die Normalisierung der Variablen vor. Diese hat das Ziel eine allgemeine konsistente Skala zu erhalten. Normalisierung bedeutet, dass die Summe der Beiträge aller Koeffizienten  $C_i$  den Wert 1 ergibt. Dieses Vorgehen dient dem statistischen Umgang

mit den Daten und hat das Ziel, einen Index für Soziale Verwundbarkeit (SVI) mit einem Wertebereich zwischen 0 und 1 zu strukturieren.

Um die Koeffizienten zu normalisieren, wird folgende Rechenoperation durchgeführt:

$$S_{C_i(\alpha: \text{ausgewähltes Konfidenzniveau})} = \sum C_i \quad \text{Gleichung (4)}$$

und

$$C_G = C_i / S_{C_i} \quad \text{Gleichung (5)}$$

Jeder Koeffizient  $C_i$  des ausgewählten Konfidenzniveaus wird durch das Ergebnis der Addition aller Koeffizienten desselben Konfidenzniveaus dividiert. Dadurch erhält man  $C_G$ , die normalisierten Koeffizienten jeder konstituierenden Variablen des SVI.

#### 4. SCHRITT: BERECHNUNG DES SVI UND LOKALE KLIMAVARIABLEN

Der Index für Soziale Verwundbarkeit wird als Teil eines nicht linearen, multidimensionalen und multivariablen Verfahrens entwickelt und modelliert. Die Analyse von Verwundbarkeit muss in Zusammenhang mit einer – in diesem Fall sozio-ökonomischen – Variablen erfolgen (Medina, S. 2010). Sie wurde hier durchgeführt, indem alle sozialen Variablen in Bezug auf ihren Beitrag zum Bruttoinlandsprodukt für das Departement Ancash in Beziehung gesetzt wurden. Die verwendeten spezifischen historischen und aktuellen Werte der Variablen des SVI wurden durch Auswertung von Daten des Nationalen Instituts für Statistik und Informatik Perus (*Instituto Nacional de Estadísticas e Informática* – INEI) gewonnen.

Auf Basis dieser Information wurde ein Index für Verwundbarkeit auf lokaler Ebene erstellt (BCV 2015, Blanco, B. 2012, Cepal 2014, Comunidad 2011, Giraldo, J.A 2008, INEI 2007, INEI 2008, INEI 2013, Lira, H., Medina, S. 2000, Mondragon, A. 2002, Morales, R. 2005, Yohe, G. et al. 2002). Die Gewichtung des Beitrags einer jeden Variablen im Berechnungsschema des SVI ergibt sich aus der numerischen Zuweisung der von den Experten vorgenommenen Bewertungen in Bezug auf diese Variable, die im *Experton* berechnet wurden..

In Kapitel 4 findet sich die Tabelle 12 „Originaldaten für Peru und Ancash“, welche die Grundlage für alle Berechnungen in dieser Arbeit darstellt. Ebenso werden dort

die Berechnung des SVI (s. Gleichung 1 im nachfolgenden Schritt 4.1), sowie der OCTAVE Code für dieses Verfahren gezeigt.

#### Schritt 4.1.: Variablen und Koeffizienten des SVI

Wie bereits in Kapitel 2 zum theoretischen Rahmen erklärt, ist der SVI eine dimensionslose algebraische Summe der einzelnen Indikatoren, bei der die Koeffizienten  $C_i$  standardisierte Faktoren der Gewichtung sind. Die Gleichung, die als Basis für die Kalkulation des Index für Soziale Verwundbarkeit dient, wird im Folgenden vorgestellt. Sie verwendet die Koeffizienten oder den Beitrag einer jeden Variablen zur Berechnung des SVI.

Das Modell<sup>6</sup> des SVI integriert die Variablen Großbergbau (Large-Scale-Mining - LSM), Tourismus (Tour), Landwirtschaft (LWS), Migration (MIG), Analphabetismus (Anph) und Gesundheit (GSD).

Die entsprechende Formel zur Berechnung des SVI lautet:

$$SVI = C_1 * LSM + C_2 * Tour + C_3 * Agric + C_4 * Mig + C_5 * Anph + C_6 * Gsd \quad ; \quad \text{Gleichung (1)}$$

Die Variablen, welche die Struktur des SVI bilden und durch die Analyse der Stichprobenahme von Meinungen aus den Umfragen und Interviews bestätigt wurden (siehe Anhang 1: Befragung 1. Offener Fragebogen und Anhang 2: Befragung 2. Maßgebliche Variablen in der Region), werden im Folgenden definiert. Hierbei muss betont werden, dass es bei einigen der von den Experten bestimmten Variablen notwendig war, eine lineare Regressionsanalyse durchzuführen, um die Verwendung der nur geringen zur Verfügung stehenden Daten zu ermöglichen. Zum Beispiel wurde dies für die Variable „Migration“ angewandt, weil diese nur alle 10 Jahre im Rahmen der nationalen Volkszählungen gemessen wird, und die Daten für eine jährliche Darstellung berechnet werden mussten. Sämtliche Berechnungen hierzu folgen in Kapitel 4.

Die ausgewählten Variablen des SVI sind:

**Intensiver Bergbau** (LSM; Einheit in Millionen Nuevos Soles [peruanische Währung]): setzt die Bruttowertschöpfung aus dem Bergbau in der Region Ancash

---

<sup>6</sup> Ein Index der Verwundbarkeit, der mit der hier vorgeschlagenen Methodik entwickelt wird, kann auch eine höhere Anzahl an Variablen berücksichtigen. Dazu muss nur die entsprechende Änderung bei „Anzahl-der-Variablen“ (*Numero-de-variables*) im OCTAVE Code vorgenommen werden, der im (Anhang 6, MatLab Code zur Berechnung des SVI) dieser Arbeit dargestellt ist.

(VAB: Valor agregado bruto), zu konstanten Preisen in Nuevos Soles von 1994, in Beziehung zum Bruttoinlandsprodukt (BIP) von Ancash.

**Tourismus** (Tour; Einheit in Personen): Ankünfte von nationalen und ausländischen Touristen; Anteil der Touristenankünfte in Ancash an den nationalen Tourismuszahlen.

**Landwirtschaftliche Produktion** (LWS; Einheit in Millionen Nuevos Soles): setzt die Bruttowertschöpfung aus Landwirtschaft, Jagd und Fischerei in der Region Ancash (VAB), zu konstanten Preisen in Nuevos Soles von 1994, in Beziehung mit dem BIP von Ancash.

**Migration** (MIG; Einheit in Personen): Migration basiert auf Zahlen, die alle zehn Jahre seit dem Jahr 1961 erhoben werden. Die Information für die fehlenden Jahre wird durch mathematische Berechnung generiert und in Kapitel 4 näher erläutert.

**Analphabetismus** (Anph; Einheit in Prozent): vergleicht die Analphabetismus-Rate von Ancash mit der nationalen Analphabetismus-Rate.

**Gesundheit** (GSD; Einheit in Prozent): wird durch die Krankheitsrate (Anteil der Bevölkerung mit einer bestimmten Krankheit) ausgedrückt; vergleicht die Krankheitsrate von Ancash mit der nationalen Krankheitsrate.

Die Ausprägungen der Variablen wurden in Werten zwischen -1 und 1 ausgedrückt, bevor sie in die Berechnung des SVI aufgenommen wurden. Dieses Vorgehen wird in Schritt 5 definiert und erklärt.

#### Schritt 4.2: Lokale Klimavariablen (LCV)

Die umweltbezogenen Komponenten werden durch Niederschlag und Temperatur repräsentiert, die so genannten lokalen Klimavariablen (LCV). Ihre Auswahl wurde bereits in Kapitel 2 diskutiert und begründet. Die Repräsentativität dieser Variablen als herausragende lokale klimatische Indikatoren ergibt sich aus der Analyse der in der Untersuchungsregion realisierten Umfragen. Die Werte für die Temperatur beziehen sich auf die Höchstwerte für das gesamte Departement Ancash. Im Fall des Niederschlags wird der Durchschnittswert für das gesamte Departement Ancash mit dem für die „Sierra Norte“ (Departements Huánuco, Cajamarca und Ancash zusammen) in Beziehung gesetzt. Aufgrund fehlender Verfügbarkeit von Daten mit

zeitlicher Übereinstimmung auf lokaler Ebene war es notwendig, Informationen auf Departementsebene zu verwenden. Die benutzten klimatischen Daten beziehen sich auf das gesamte Department Ancash, also auf eine größere Region, die das Untersuchungsgebiet einschließt.

Ihre genaue Definition wird hier vorgestellt:

**Temperatur** (Temp; in °C): ausgedrückt in jährlichen Durchschnittswerten; Quelle: INEI 2014; es wird die durchschnittliche Jahreshöchsttemperatur für das Departement Ancash verwendet.

**Niederschlag** (Niederschlag; Einheit in mm): ausgedrückt in jährlichen Durchschnittswerten; Quelle: INEI 2014; vergleicht den jährlichen durchschnittlichen Niederschlagswert der „Sierra Norte“ (Departements Ancash, Cajamarca und Huánuco zusammen) mit dem entsprechenden Niederschlagswert von Ancash.

Die LCV und der SVI werden für ihre Kombination zu SILVIO miteinander korreliert. Um diesen Vergleich zwischen zwei statistischen Objekten mit verschiedenen Maßeinheiten zu realisieren, wird ein Verfahren zur Typisierung durchgeführt, dass im Folgenden Schritt beschrieben wird.

## 5. SCHRITT: STANDARISIERUNG UND TYPISIERUNG VON VARIABLEN

Die Maßeinheit der Variablen, die den Index für soziale Verwundbarkeit und die Variablen der lokalen Klimaveränderung bilden, und ihre jeweilige statistische Verteilung sind vielfältig. Eine Möglichkeit, diese unterschiedlichen Einheiten in derselben Analyseebene zu platzieren, ist der Standardisierungsprozess, d.h. die Transformation einer Zufallsvariablen mit beliebiger statistischer Verteilung in eine neue Variable mit annähernd normaler Verteilung. Dazu wird das arithmetische Mittel von jedem einzelnen Werte subtrahiert und durch die Standardabweichung dividiert, wodurch man eine Variable als Absolutwert, dimensionslos, standardisiert, mit dem Mittelwert  $\mu = 0$  und der Standardabweichung  $\sigma = 1$  erhält. Dies ermöglicht einen besseren Vergleich zwischen den Variablen und die Beobachtung von charakteristischen Verhaltensmustern (Montgomery, D. 2003).

Die Standardisierung von Variablen ist ein empfohlenes Vorgehen bei der Analyse sozialer Prozesse. Es gibt darüber eine große Anzahl von Arbeiten, die die

Anwendung auf diesem Gebiet stützen. Dieses Vorgehen erlaubt nur Vergleiche, der tatsächliche Wert des Index hat keine Bedeutung. Die Standardisierung eines Index wird nur Antwort auf eine spezifische Frage geben, daher muss dieser Aspekt bei der Entwicklung eines Indikators (oder Index) präzisiert werden (Menacho, T. 2014). Im Fall von SILVIO ist die soziale Verwundbarkeit die zentrale Frage für die Standardisierung.

Wie bereits erwähnt, wurden die Daten typisiert, genauer gesagt standardisiert, bevor sie korreliert wurden. Die Standardisierung wird mit dem Buchstaben Z bezeichnet:

$$Z = (X - \mu) / \sigma \quad N \sim (0,1) \quad ; \quad \text{Gleichung (2)}$$

Dieses Verfahren dient dazu, Werte zu vergleichen, die aus unterschiedlichen Verteilungen stammen oder verschiedene Einheiten besitzen. Bei Daten wie den vorliegenden, bei denen „atypische“ Werte oder „outliers“ gerade die interessanten Fälle für die Analyse sind, ist deren Entfernung nicht wünschenswert. Durch die Typisierung wird eine Verteilung um den Zentroid herum erreicht; die typisierten Variablen werden mit dem Subindex Z notiert. Diese Methode wird durch den zentralen Grenzwertsatz (*central limit theorem*) gestützt (Montgomery, D. 2003). Sie ist ein wertvolles Werkzeug für Studien zur Korrelation zwischen Subsystemen derart heterogener Natur, wie es bei SVI und LCV der Fall ist. Der Prozess der Korrelation wird im folgenden Schritt beschrieben. Der Code in OCTAVE für dieses Verfahren ist in (Anhang 7, MatLab Befehle zur Typisierung der Variablen) zu finden.

Die standardisierten Werte der Variablen des SVI stellen die temporäre Evolution der Sozialen Verwundbarkeit in der Region Ancash für die Jahre 2005-2012 dar und basieren auf der Gleichung (1).

Es ist wichtig hervorzuheben, dass hierbei das Signifikanteste nicht der tatsächliche numerische Wert ist, sondern die Tendenz und das Verhalten des Index SVI über die Zeit. Dies wird anhand der erhobenen Daten für das Untersuchungsgebiet in Kapitel 4 ausführlich erläutert. Die grafische Darstellung des SVI ist eine effiziente Möglichkeit zur schnellen Diagnose des Zustands eines Systems in Bezug auf seine Verwundbarkeit.

## 6. SCHRITT: KORRELATIONSANALYSE (CRR) ZWISCHEN SVI UND LCV

Über die Abhängigkeit oder Unabhängigkeit zweier Zufallsvariablen können viele Informationen gewonnen werden, in der Praxis wird dies mit Hilfe einer Korrelationsanalyse durchgeführt (Haldar, A. und Mahadevan, S. 2000). Die Korrelation bildet neben der Abhängigkeitsbeziehung auch das Ausmaß der Stärke und die Richtung der linearen Beziehung zwischen zwei Variablen einer bidimensionalen Verteilung ab, drückt jedoch keine Kausalitätsbeziehung aus. Ein Maß für die Korrelation zwischen zwei Variablen wird durch den *Pearson-Korrelationskoeffizienten* (oder Produkt-Moment-Korrelation) dargestellt und durch den Buchstaben  $\rho$  repräsentiert. Der *Pearson-Korrelationskoeffizient* - oder "Grad" der Beziehung zwischen zwei quantitativen Variablen X und Y - ist ein Index und wird durch die Formel ausgedrückt:

$$\rho = \frac{\partial_{XY}}{\partial_X \partial_Y}$$

$\partial_{XY}$  ist die Kovarianz, sie wird wie folgt berechnet:

$$\partial_{XY} = \sum_{i=1}^{n=10} (X_i Y_i / N) - X^* Y^*$$

Im hier untersuchten Fall ist die Korrelation direkt, da die Kovarianz und  $\rho$  positiv sind. Es wird angenommen, dass die gemeinsame Verteilung von X und Y eine bivariate Normalverteilung ist, wobei X und Y einen Mittelwert  $\mu$  und eine Varianz  $\sigma^2$  haben (Montgomery, D. 2002).

In dieser Arbeit wird die Korrelationsanalyse als Teil der vorgeschlagenen Methodik angewendet, obwohl aus Gründen wie beispielsweise der Stichprobengröße die Ausgabe- oder Ergebniswerte nicht als eine getreue und absolute Darstellung des realen Zustands des Systems interpretiert werden können.

Das Modell, das die SILVIO Methode definiert, ist eine Korrelation der Variablen des SVI und LCV. Die mathematische Darstellung von SILVIO wird in der Gleichung 3 beschrieben:

$$\text{SILVIO} = \text{Korrelation} [(SVI_z; \text{Niederschlag}_z); (SVI_z; \text{Temp}_z)] \quad ; \quad \text{Gleichung (3)}$$

Die Korrelationsanalyse (CCR) wird mit dem Pearson-Korrelationskoeffizient ( $\rho$ ) zwischen 0 und 1 (0,1) durchgeführt. SILVIO und der dazugehörige OCTAVE Code werden im (Anhang 8, MatLab Code für die Korrelation) dargestellt.

Die Output-Auswertung von SILVIO wird als Grafik dargestellt und bietet ein klares Bild des Verhaltens und der Tendenz der Sozialen Verwundbarkeit und in Teilen der lokalen klimatischen Entwicklung. Die Interpretation dieser Auswertung erfolgt im nachfolgenden Kapitel 4.

Der Output von SILVIO ist ein aggregierter Index sozialer Indikatoren korreliert mit lokalen Klimavariablen. SILVIO dient zur Diagnostik des Zustandes von Prozessen und ihrer historischen Dynamik, da das Modell zusätzlich zur verfügbaren statistischen Information auch die Beobachtungen in zeitlicher Dimension zulässt (Rincon, M. 2009). Mit der Beschreibung jedes einzelnen Schritts und der Analyse ihrer funktionalen Struktur wurde die SILVIO Methodologie für die Analyse der Sozialen Verwundbarkeit unter dem Einfluss lokaler klimatischer Veränderungen eingeführt.

### **3.3 Mehrwert von SILVIO für die Analyse sozialer Verwundbarkeit**

Die Besonderheiten von SILVIO, welche diese Methodologie zu einer sehr geeigneten und konkurrenzfähigen Alternative für die Analyse sozialer Verwundbarkeit in der Untersuchungsregion Quebrada Shallap machen, werden im Folgenden dargestellt:

- SILVIO ist ein endogenes Modell, es wird aus lokalem Interesse heraus generiert. Es ist nicht die Anpassung eines Modells aus einer anderen Realität.
- Die Forschungs- bzw. Expertengruppe zur Definition des Modells existiert bereits, ist befähigt, vorbereitet und hat die notwendige Erfahrung. Sie besteht aus den lokalen Bewohnern.
- SILVIO generiert Trends und stellt damit schnell und klar Information bereit. Die Methodologie kommt ohne Interpretation komplexer mathematischer Beziehungen aus, was ihre Verwendung und Anwendung erleichtert.
- SILVIO kann beliebig aktualisiert werden und hat keine Beschränkung hinsichtlich der Beteiligten. Die MATLAB<sup>®</sup>-Codes sind Matrizen.

- Die Anwendung erfordert keine technische Vorbildung. Es geht um die Quantifizierung des Grades, zu welchem der Beteiligte (interviewte Experte) sich mit jedem Aspekt identifiziert.
- Die Nutzung von SILVIO beansprucht keine Kosten für Forschung und Design bei der Verwendung anderer Informationen.
- Die lokalen Bedürfnisse werden einbezogen, indem die Einwohner den definierten Variablen Bedeutung und Gewichtung zuweisen.

Im Folgenden werden Skizzen der theoretischen Grundlagen und der Struktur des untersuchten Systems präsentiert, die als Leitfaden für die Modellierung dienen.

Traditionell konzentriert sich das Verständnis von sozialer Verwundbarkeit ausdrücklich auf demografische und sozioökonomische Faktoren ([Cutter S. 2009](#)). Der Indikator (oder Index) für soziale Verwundbarkeit bzw. zur Analyse von Veränderungen im System, ist in der Regel demografisch und erlaubt die Analyse des Zustands in Bezug auf eine jüngere Vergangenheit. Für eine Hierarchisierung von Indikatoren dieser Art empfiehlt Rincon ([Rincon M., 2009](#)), mit der Analyse der Bevölkerungsdynamik zu beginnen und zwar in Bezug auf ihre soziale und auf die Umwelt bezogene Demografie sowie ihre Rolle als Objekt und Subjekt des Prozesses. Der genannte Autor nennt repräsentative Aspekte der Bevölkerungsstruktur als Darstellung eines sozialen Indikators: Bevölkerungsdynamik, Geburtenrate, Sterberate, geographische Mobilität, Zusammensetzung der Bevölkerung, Veränderung der Bevölkerungsverteilung / Verteilung der Bevölkerung (bezogen geographisch), Veränderungen in der Familienstruktur. Für die Eindeutigkeit ist eine einwandfreie und hinreichende Definition der sozialen Aspekte von Bedeutung, da sonst die Analyse und ihre Ergebnisse erheblich abweichen werden. Der soziale Ansatz hat eine funktionale Beziehung in Verbindung mit den wirtschaftlichen, politischen, historischen und kulturellen Zusammenhängen.

Silvio ist eine Methodologie, die es ermöglicht, den Grad und die Tendenz sozialer Verwundbarkeit durch die Korrelation zwischen einem Index sozialer Natur (SVI) und lokalen Klimavariablen (LCV) zu berechnen. Herkömmlicherweise wird der Einfluss oder die Auswirkung von Umweltveränderungen auf menschliche Gruppen durch Variablen dargestellt, die durch das Fachwissen von Wissenschaftlern zu einem geographischen Gebiet generiert und hierarchisiert werden. In gleicher Weise sind

Klimavariabilität und Klimawandel Gesichtspunkte, die in Bezug auf die Umwelt als schwierig zu handhaben beschrieben werden ([Cutter S. 2003](#)).

Das Novum der Silvio-Methodologie besteht darin, ein Modell zu entwickeln, das die charakteristischen Variablen für eine Region mit dem Wissen ihrer Bewohner betrachtet, wobei die Verwundbarkeit als "Mensch-Umwelt Paar " im Mittelpunkt von Dialog und Forschung zur so genannten "globalen Umweltveränderung" steht, wie von Turner beschrieben ([Turner B.L. et al. 2003](#)). SILVIO fügt einen Index und ein Variablenpaar zusammen und korreliert beide, um sie zu analysieren. In diesem System von Variablen werden, wie bereits erwähnt, Daten für jedes Teilsystem gesammelt, um so viele Ansätze wie möglich abzudecken und einzubeziehen, alles mit dem Ziel eine Darstellung der lokalen, regionalen und / oder nationalen Realität zu erreichen. Neben dem demografischen Aspekt wird so zusätzlich auch die soziale Dimension aus Indikatoren abstrahiert, unter Berücksichtigung zusätzlicher Themen wie: Analphabetismus, Beschäftigung, Gesundheit usw. wie beispielsweise bei [Kaztman, R. \(o.D.\)](#).

Im Allgemeinen ermöglicht die Verwendung von Indikatoren den Umgang mit zwei Aspekten. Bei Cdam heißt es: "Wenn wir von Indikatoren sprechen, bezeichnen wir ein Verfahren, mit dem der Zustand und die Tendenz eines Phänomens, sei es wirtschaftlicher, sozialer oder ökologischer Natur, quantitativ oder qualitativ bewertet werden kann." ([Cdam, o.D. – eigen Übersetzung](#)). Einige Ansätze haben eine duale Qualität, d.h. sie können zum Beispiel gleichzeitig als demografische und soziale Indikatoren verwendet werden. Dies ist der Fall der Krankheitsanfälligkeit (Morbidität) der Bevölkerung.

Die Einbeziehung des Umweltaspekts in die Modellierung eines Indikatorensystems bringt folgendes mit sich: die begrenzte Information, die den Umweltaspekt kennzeichnet, und die Schwierigkeit, die sozialen Indikatoren eines Systems von Variablen darzustellen. Dies könnte den bemerkenswerten Mangel an Indikatorensystemen erklären, die das Umweltthema im sozialen Bereich mit einbeziehen, und hebt die Besonderheit eines Modells sozialer Verwundbarkeit hervor, das mit Umweltveränderungen verbunden wird, wie in dieser Untersuchung vorgestellt. Es wird dabei als notwendig erachtet, das Prinzip der universellen Anwendbarkeit beizubehalten, d.h. die Nutzung und Handhabung des Systems, unabhängig vom sozialen und geographischen Kontext, in welchem die Analyse der

sozialen Verwundbarkeit unter dem Einfluss lokaler klimatischer Veränderungen durchgeführt wird.

Ein Weg zur Wahrung der universellen Anwendbarkeit besteht darin, gemeinsame Merkmale in Verwundbarkeits- und Hochrisikosystemen zu identifizieren. Zum Beispiel wird in der Analyse eines Systems von Indikatoren zur sozialen Verwundbarkeit eine Dynamik der Anpassungsfähigkeit vorgestellt. Dieser Ansatz ist weitgehend auf die mit Unsicherheit behafteten sozial-ökologischen Systeme ausgerichtet.

Um nicht nur zum reaktiven Aspekt, sondern auch über die Verringerung von Verwundbarkeit zu arbeiten, sollte außerdem das Risiko einer Veränderung der Exposition gegenüber Phänomenen wie dem Klimawandel in Betracht gezogen werden ([GIZ-EI Sira, 2009](#)). Unter Berücksichtigung, dass die Klimaereignisse ein sehr wichtiger Aspekt bei der Identifizierung des Systems und der Dynamik der Quebrada Shallap sind, und nach der Bestimmung der 6 charakteristischen System-Variablen, wurde die Relevanz dieser Variablen durch 25 Antworten zur Gewichtung aus der Befragung von Experten und/oder Forschern aus der Region bestätigt. All dies wurde in der Modellierung des Systems näher ausgeführt und in diesem Sinne ein Index für soziale Verwundbarkeit SVI erarbeitet, um die Verbindung mit den Umweltvariablen und die Untersuchung derselben zu erleichtern.

SILVIO ist ein Modell, das die Dynamik der Untersuchungsregion gut beschreibt, indem eine einfache lineare Näherung verwendet wird. In diesem Sinne ist hier nicht beabsichtigt, nach einem mathematischen Modell zu suchen, sondern eine Methodik zu beschreiben, die es erlaubt, in tabellarischer Form vorliegende soziale und klimatische Daten in eine kohärente Beschreibung zu übertragen, die deren Effekt auf Verwundbarkeit wiedergibt. Ebenso wurde nach einem Werkzeug gesucht, das es ermöglicht, Änderungen des Index für Soziale Verwundbarkeit (SVI) vorherzusagen. Der SVI ist ein aggregiertes lineares Modell, d.h. eine dimensionslose algebraische Summe, in der die  $C_i$ -Koeffizienten normalisierte Gewichtungsfaktoren sind (Werte im Intervall -1 und 1).

Aufgrund der begrenzt vorhandenen Information und der reduzierten Menge der vorliegenden Daten ist es nicht gelungen ein Vorhersagemodell zu erstellen, aber dafür konnte ein Erklärungsmodell der Interaktion von sozio-ökologischen Variablen gewonnen werden. Auf diese Weise konkretisiert sich die Gestaltung einer Methodik,

die das Soziale einbezieht und es mit den Klimavariablen Niederschlag und Temperatur verbindet.

Um die mit den klimatischen Variablen verbundenen Daten zu erhalten, erfolgte eine zweite Analyse der Erhebungen (Anhang 3, Bewertungen der lokalen Experten), in der die Gewichtungen der konstitutiven Variablen von SILVIO durch die lokalen Experten festgelegt wurden. Dementsprechend repräsentieren die Variablen und ihre Gewichtungen die Bedürfnisse und das Wissens der Experten in der Region Huaraz. Auf alle Variablen wurde ein Prozess der Adimensionierung (d.h. der Loslösung von Einheiten, um sie vergleichbar zu machen und aggregieren zu können) angewandt (Garcia Y. 2014). Durch die Darstellung als Differenzbeträge oder Raten wurde der Vergleich durchgeführt, unter Verwendung der Vorteile des Prozesses der Typisierung der Variablen.

Im Folgenden sind Bereiche für eine mögliche Anwendung der SILVIO-Methodologie zusammengefasst:

- Identifikation/Partizipation der lokalen Gemeinschaft bei der Gestaltung und Spezifizierung des Indikatorensystems durch die Weitergabe von lokalem Wissen; lokale Experten sind Schlüsselakteure und eine hervorragende Informationsquelle; sie definieren die Variablen und die Gewichtung der charakterisierenden Elemente im Indikator/Index;
- Durchführung einer beständigen Überprüfung der Dynamik des Systems und der Kontrolle von Verbesserungen und Anpassung sowie Erkennung von Mängeln;
- Ausarbeitung einer Liste von Variablen für den Index der sozialen Verwundbarkeit SVI;
- Ausarbeitung einer Liste von Variablen für die lokale Umweltveränderung LCV;
- Ausarbeitung des methodischen Vorschlags für den Umgang mit Unsicherheit und *Expertonen* in Bezug auf lokales Wissen;
- Durchführen eines Entscheidungsprozesses zur Auswahl des zu verwendenden Konfidenzniveaus; Festlegung von territorial nicht aggregierten Arbeitsgruppen, d.h. unterschiedlicher geographische Herkunft, für die Diskussionen;
- Mathematischer Umgang mit den erhaltenen Informationen;

- Analyse der linearen Korrelation (CRR) zwischen dem SVI und LCV.

In den vorangehenden Absätzen wurde die Notwendigkeit der Identifikation und Modellierung des SVI und LCV, die der SILVIO Methodologie zugrunde liegen, hervorgehoben. Auch die Relevanz des lokalen Klimas als ein bedeutender Einflussfaktor auf die Verwundbarkeit wurde bereits erwähnt. Im folgenden Kapitel wird die Wahrnehmung aller Variablen aus einer lokalen Perspektive betrachtet und die Anwendung der SILVIO-Methodologie detailliert beschrieben.

## 4. BESCHREIBUNG DER ERGEBNISSE

*In allen Dingen gibt es etwas Unerforschtes,  
weil wir gewohnt sind, unsere  
Augen nur für die Erinnerung an das zu benutzen,  
was andere schon vor uns über das, was wir betrachten, dachten.  
Selbst die geringste Sache hat etwas Unbekanntes.  
Lasst es uns finden. Um ein brennbares Feuer zu entdecken und  
einen Baum auf einer Ebene, verweilen wir vor diesem Feuer und  
vor diesem Baum, bis sie für uns so aussehen,  
wie kein anderer Baum und kein anderes Feuer.  
(Guy de Maupassant, 1884).*

### 4.1 Struktur der SILVIO-Methodologie

Zusammengefasst kann die Vorgehensweise der vorliegenden Arbeit mit den folgenden Schritten beschrieben werden. In einem Recherche- und Informationssuchprozess wurden Variablen identifiziert, die als Grundlage für eine erste Erhebung verwendet wurden. Dafür wurden Kontakte zu Forschungsgruppen und Personen hergestellt, die mit der Forschungsregion vertraut sind (hier bezeichnet als Experten), sowohl in Peru als auch aus anderen Ländern und Kontinenten. Aus dieser Erhebung und vorhandenen Quellen konnten die Variablen extrahiert werden, die als Basis für die SILVIO-Methodologie dienen. Die Variablen wurden mit Hilfe des mathematischen Verfahrens der Bildung von *Expertonen* gemäß den Bewertungen durch ausgewählte lokale Experten gewichtet. Das Ergebnis dieser Schritte war die Formulierung des Indikators Sozialer Verwundbarkeit (SVI), in Anlehnung an Kapitel 2, Unterkapitel 2.7.

Nachdem ein Modell der sozial-ökologischen Dynamiken (Prozesse) im Forschungsgebiet Quebrada Shallap vorstrukturiert war, wurden die mathematischen Routinen (Programmiercodes) und Rechenprozesse programmiert. Mit den recherchierten verfügbaren Daten wurden diese Dynamiken simuliert und die resultierenden Ergebnisse des Modells analysiert. In der Folge wurde das Verfahren der Bildung eines *Expertons* mit einer neuen Expertengruppe berechnet und ein

neuer Indikator SVI erstellt. Die vergleichende Analyse der Ergebnisse aus der Korrelation beider berechneter SVIs mit den lokalen klimatischen Variablen (LCV) ist am Ende dieses Kapitels dargestellt.

#### 4.1.1 ANNAHMEN

Für die Entwicklung von SILVIO mussten bestimmte Annahmen getroffen werden, die die Komplexität der Fragestellung auf einen handhabbaren Umfang reduzieren.

Die lokalen Experten wurden aufgrund ihrer Repräsentativität, Betroffenheit durch klimatische Bedingungen und des Gewichts ihres Wissens über das geographische Untersuchungsgebiet ausgewählt. Sie waren die Grundlage für das verwendete mathematische *Experton* für welches das Wissen von zehn Personen verwendet wurde, obwohl die Anzahl der Befragten insgesamt höher war. Als lokale Experte galten Anwohner, die gleichzeitig Vertreter (Amtsträger oder gewählte Vertreter) der Gemeinden entlang der Quebrada Shallap waren.

Nach dem Forschungsaufenthalt im Untersuchungsgebiet und anhand der Schilderungen der lokalen Experten, wurden die klimatischen Variablen des Modells festgelegt. Die lokalen klimatischen Bedingungen werden durch eine Vielzahl genau definierter Variablen beschrieben, die numerisch exakt messbar sind. Dennoch wurden für diese Arbeit nur diejenigen Variablen verwendet, die von den lokalen Experten als besonders "wichtig" angesehen wurden. Die so ausgewählten lokalen klimatischen Variablen (LCV) sind Niederschlag und Temperatur, siehe Kapitel 2, Unterkapitel 2.5.

Das geographische Untersuchungsgebiet ist das Tal des Flusslaufs Quebrada Shallap in Huaraz, Peru. Es befindet sich im unmittelbaren Einflussbereich eines Gletschers aus dem sich der Flusslauf nährt. Wie in den Befragungen deutlich wurde, handelt es sich offensichtlich um ein *Siedlungsgebiet einer wasserabhängigen Gesellschaft, die sich einem hohem Risiko ausgesetzt sieht*. Die Bewohner des Gebiets sind mit den Folgen des Klimawandels auf der lokalen Ebene konfrontiert und müssen damit im alltäglichen Leben umgehen (Carey, M. 2004). In den Siedlungen des Untersuchungsgebiets gibt es sogenannte Bewässerungskomitees, die nicht nur über die Planung, Verwaltung und Verteilung von Wasser bestimmen,

sondern auch bei Konflikten, Risiken oder negativen Einwirkungen in den Gemeinden tätig werden. Für die Befragungen vor Ort wurden bewusst lokale Experten aus dem Kreis dieser Bewässerungskomitees ausgesucht.

In Kapitel 2, Unterkapitel 2.9, Abbildung 9 wurde bereits die beträchtliche Auswirkung erläutert, die sich bei einer plötzlichen Änderung der charakteristischen Variablen eines Systems zeigt. Im Fall der Quebrada Shallap ist das Abschmelzen des Gletschers dafür ein gutes Beispiel. Der Gletscher spielt eine sehr wichtige Rolle in der Dynamik der Siedlungen und der Bewohner des Tals. Es besteht ein derart hoher und strukturierter Grad der Koexistenz zwischen den Bewohnern und ihrer Umwelt, dass diese Siedlungsgebiete als Mensch-Umwelt-System charakterisiert werden können (López T. et al. 2012). Die besondere Gegenwärtigkeit der Auswirkungen des Klimawandels in der Region macht Huaraz zu einem sehr anfälliger Krisenherd mit hohem Risiko (Beaumont, L. et al., 2010). Bei der Modellierung von SILVIO wird angenommen, dass sich das System kontinuierlich und linear entwickelt ohne plötzliche Sprünge in Bezug auf die Änderung seiner Zustandsvariablen. Ein lineares System eignet sich für die Kombination von sozialen Dynamiken mit naturwissenschaftlichen Prozessen und reduziert gleichzeitig die Komplexität.

#### **4.1.2 COMPUTER GESTÜTZTE BERECHNUNG**

SILVIO wurde mit Hilfe der Software-Plattform OCTAVE<sup>7</sup> programmiert. Diese bietet die gleiche Funktionalität wie MatLab<sup>8</sup>, aber sie ist frei verfügbar (*open source*). Zu den großen Vorteilen von OCTAVE gehört, dass die Software für die Arbeit mit Matrizen entwickelt wurde und sie eine schnelle Rechenlaufzeit aufweist. Darüber hinaus eignet sie sich für die Modellierung von Systemen mit nicht leicht identifizierbaren Beziehungen und Einflüssen (*soft systems*). Alle diese Aspekte verkörpern die Struktur von SILVIO. Die OCTAVE Programmierbausteine für SILVIO erlauben Matrizenberechnungen für dynamische Systeme und Veränderungen der Parameter (z.B. beobachteter Zeitraum, Anzahl der Variablen oder Experten, Konfidenzniveau) können durch direkte Anpassung vorgenommen werden.

---

<sup>7</sup> <https://www.gnu.org>

<sup>8</sup> <https://de.mathworks.com>

### 4.1.3 ANALYSE

Die Analyse von SILVIO erfolgt durch die Interpretation des Verlaufs und der Tendenzen der Grafiken des Indikators Sozialer Verwundbarkeit SVI und der lokalen klimatischen Variablen, LCV. Der SVI etabliert durch seinen Aufbau eine proportionale Beziehung zu jeder seiner Variablen, d.h. er beinhaltet den Beitrag jeder Variablen gemäß ihrer jeweiligen Gewichtung, und stellt gleichzeitig ein additives Verhältnis zwischen diesen Variablen her (s. Gleichung 1, Kapitel 3.2, Schritt 4.1). Zusätzlich wird der SVI mit den klimatischen Variablen (LCV) korreliert. Die Korrelation von SVI und LCV sowie die nachfolgend in diesem Kapitel erstellten Grafiken (Grafik 3 ff.) sind die Basis für die interpretative Analyse von SILVIO. Dabei ist es wichtig, sich noch einmal zu vergegenwärtigen, dass die Analyse nicht numerisch präzise definierter Natur ist, sondern Verhalten und Tendenzen widerspiegelt. Diese werden graphisch dargestellt und ermöglichen daher eine schnelle und einfache Deutung, ohne dass dafür technische Vorkenntnisse notwendig sind. Sämtliche Informationen, die zur Identifikation und Analyse des Systems erforderlich sind, werden im Folgenden ausführlich beschrieben.

## 4.2 Datenrecherche, Identifikation und Hierarchisierung von Variablen

Ausgangspunkt für die Primärdatenerhebung zur Erarbeitung der SILVIO-Methodik war eine Pilotumfrage<sup>9</sup> unter 15 Experten<sup>10</sup>, die nicht aus der Untersuchungsregion stammen (d.h. auswärtige Experten - siehe Anhang 1, Befragung 1. Offener Fragebogen). Mit Hilfe der Ergebnisse dieser Umfrage wurden acht Variablen identifiziert, die charakteristisch für die Beschreibung der Region erschienen. Neben den eigenen Erhebungen wurden weitere Hinweise aus den Arbeiten anderer

---

<sup>9</sup> Definition einer Pilotumfrage gemäß (Anguita, J. Et al, 2003, S.530, eigene Übersetzung):*“Durchgeführt mit einer Gruppe, die nicht zur untersuchten Bevölkerung gehört, aber vergleichbare grundlegende Merkmale aufweist. Damit möchte man herausfinden, ob die Fragen verständlich sind oder sie Ablehnung hervorrufen, ob die Zeit für die Befragung nicht zu lange ist oder irgendein anderer Mangel vorhanden ist.”* Es ist eine Vorbereitung für eine größere Untersuchung.

<sup>2</sup> Siehe Kapitel 2, Abschnitt 2.10 im Bezug auf Expertise

Forscher zur Verwundbarkeit und zur Region Huaraz übernommen, um charakterisierende Variablen zu finden. Die erfolgte Vorauswahl beinhaltete die Variablen Bergbau, Tourismus, Landwirtschaft, Bevölkerungsstruktur, Migration, Analphabetismus, Gesundheit und Armut. Die entsprechenden konsultierten Quellen sind hier aufgeführt:

1. Variablen zur Erstellung eines Index für soziale Verwundbarkeit. Siehe Allison, P. 1978, Berkes, F. 2008, Bech, J. 2003, Cdam, o.D., CEPAL 2014, Chang, I. 2005, Comunidad, 2011, Con, M. 2009, Giraldo 2008, GIZ-EI Sira, 2011, Gruber E. o.D., Turner, B.L. et al 2003, Scheffran, J. 2014, Jeffrey, T. 2009, Kaztman, R. o.D., Magaña, V. 2012, Menacho, T. 2014, Mondragón, A. 2002, Murillo, J. o.D., NEAS, o.D., PNUD 2010, Prato, T. 2008, Prato, T. 2009, Rincón, M. 2009, Ruiz, N. 2011, Yohe, G. and Tol, R. 2002, Zweiecker, E. 1981, WHO o.D.;

2. Relevante Variablen aus den Arbeiten anderer Forscher und Kenner der Region Huaraz. Siehe Barnett, T. et al. 2007, Beaumont, L. et al. 2010, Bury J. et al. 2009, CARE, 2012, Carey, M. 2010, Francou, B. et al 2003, Fraser, B. 2012, Juen, I. 2006, Mark, B. 2008, Mark, B. et al 2005, Mark B. et al. 2010, Neuburger, M. et al. 2012, Neuburger, M. und Kaser G. 2013, Schauwecker, S. et al 2014, SUP 2011, Vuille, M. Kaser, G. 2008, Weiss, S. 2014, Young, K. 2006, Senamhi, 2009, Senamhi 2009<sup>2</sup>, Senamhi 2009<sup>3</sup>, Senamhi 2009<sup>4</sup>, Senamhi 2009<sup>5</sup>, Senamhi 2009<sup>6</sup>, Senamhi 2009<sup>7</sup>.

Die vorausgewählten Variablen wurden in einer zweiten Befragung mit 10 lokalen Experten aus der Untersuchungsregion konsultiert (siehe Anhang 2, Befragung 2. Maßgebliche Variablen in der Region). Die Gruppe dieser befragten lokalen Experten bestand aus Gemeindevertretern, Vorsitzenden von Bewässerungskomitees und zwei Bewohnern, die in der Gemeinschaft besonderen Respekt genießen. Dabei wurden die Befragten gebeten, die Variablen nach ihrer Bedeutung und der Auswirkung auf die lokalen Gegebenheiten und Lebensbedingungen zu ordnen (hierarchisieren) und zu bewerten. Durch diesen Prozess wurden die für die lokale Bevölkerung repräsentativen sozialen Variablen für die Erstellung des Index Sozialer Verwundbarkeit (Bergbau, Analphabetismus, Landwirtschaft, Tourismus, Migration und Gesundheit) sowie die klimatischen Variablen (Niederschlag und Temperatur) festgelegt. In Kapitel 3, Unterkapitel 3.2, Schritt 4.1 ist eine Beschreibung der Variablen, zu finden.

Nach Ermittlung der relevanten Variablen für das untersuchte System aus Sicht der Experten, folgte die Berechnung des *Expertons*, wie bereits in Kapitel 3, Unterkapitel 3.1 ff. erläutert. Das Experton ist eine Methode zum Aggregieren von Expertenmeinungen (Gil-Lafuente, A. 2017), welches für Entscheidungsprozesse sowie zur Bewertung von Gefährdungen und Risiken verwendet wird (Gil-Aluja, J. 2004). Mittels numerischer Zuordnung der zumeist sprachlichen (d.h. nicht numerischen) Bewertungen der lokalen Experten wurden diese in eine Skala mit Werten von 1 bis 10 übertragen (siehe Anhang 2). Diese Werte wiederum wurden in eine Matrix transferiert, wobei diese mit den Zahlenwerten von 0,1 bis 1 ausgefüllt wurde, d.h. mittels Division jeder einzelnen numerischen Bewertung durch den Faktor 10. Die resultierende Matrix der Expertenbewertungen ist in der folgenden Tabelle 6 dargestellt und wird mit  $|M|_1$  bezeichnet:

Experten	LWS	LSM	Tour	MIG	GSD	Anph
Exp. 1	0,1	0,9	0,8	0,2	0	0,1
Exp. 2	0,4	0,7	0,9	0,4	0,2	0,3
Exp. 3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Exp. 4	0,7	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2
Exp. 5	0	1	0,3	0,2	0	0,2
Exp. 6	0,1	0,9	0,9	0,5	0,1	0,1
Exp. 7	0	0,9	0,1	0,1	0,1	0,1
Exp. 8	0,1	0,8	0,2	0,2	0	0
Exp. 9	0,7	0,1	0,1	0,5	0	0
Exp. 10	0,5	0,8	0,8	0,1	0,4	0,5

**Tabelle 6: Bewertungen der Experten  $|M|_1$**

Im nächsten Schritt wird die Häufigkeit jeder Bewertung pro Variable addiert und man erhält so die kumulierten Häufigkeiten  $|M|_2$ , auch Häufigkeitsstatistik genannt:

	LWS	LSM	Tour	MIG	GSD	Anph
0	2	-	-	-	4	2
0,1	3	1	2	2	2	3
0,2	-	-	1	3	1	2
0,3	-	-	2	1	1	1
0,4	1	1	-	1	1	-
0,5	2	1	1	3	1	2
0,6	-	-	-	-	-	-
0,7	2	1	-	-	-	-
0,8	-	2	2	-	-	-
0,9	-	3	2	-	-	-
1	-	1	-	-	-	-

**Tabelle 7: Kumulierte Häufigkeit der Bewertungen  $|M|_2$**

Mittels Division durch die Anzahl der Experten, in diesem Fall  $10^{11}$ , d.h.  $n = 10$ , erhalten wir die Matrix  $|M|_3$  der normalisierten Häufigkeiten:

	LWS	LSM	Tour	MIG	GSD	Anph
0	0,2	-	-	-	0,4	0,2
0,1	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3
0,2	-	-	0,1	0,3	0,1	0,2
0,3	-	-	0,2	0,1	0,1	0,1
0,4	0,1	0,1	-	0,1	0,1	-
0,5	0,2	0,1	0,1	0,3	0,1	0,2
0,6	-	-	-	-	-	-
0,7	0,2	0,1	-	-	-	-
0,8	-	0,2	0,2	-	-	-
0,9	-	0,3	0,2	-	-	-
1	-	0,1	-	-	-	-

**Tabelle 8: Normalisierte Häufigkeiten der Bewertungen  $|M|_3$**

In der Folge errechnet man die Matrix des Komplements zu 1, die auch kumulative komplementäre Verteilungsfunktion genannt wird (siehe Kapitel 3.2, Schritt 2), und das eigentliche *Experton* darstellt. Gleichzeitig wird das Konfidenzniveau ( $\alpha$ -Level) festgelegt (siehe Kapitel 3.2, Schritt 3).

---

<sup>11</sup> Anzahl der lokalen Experten

Konfidenzniveau	LWS	LSM	Tour	MIG	GSD	Anph	
0	1	1	1	1	1	1	
0,1	0,8	1	1	1	0,6	0,8	
0,2	0,5	0,9	0,8	0,8	0,4	0,5	
0,3	0,5	0,9	0,7	0,5	0,3	0,3	
0,4	0,5	0,9	0,5	0,4	0,2	0,2	
<b>0,5</b>	<b>0,4</b>	<b>0,8</b>	<b>0,5</b>	<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b><math>\alpha</math>- Level</b>
0,6	0,2	0,7	0,4	0	0	0	
0,7	0,2	0,7	0,4	0	0	0	
0,8	0	0,6	0,4	0	0	0	
0,9	0	0,4	0,2	0	0	0	
1	0	0,1	0	0	0	0	
Koeffizient	C <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>5</sub>	

**Tabelle 9: *Experton* |M|<sub>4</sub>**

Das  $\alpha$ -Level für den hier untersuchten und daher in Tabelle 9 fett gedruckten Fall mit dem Wert von  $\alpha = 0,5$ , ist der höchste Konfidenzwert, bei dem noch alle untersuchten Variablen durch Werte ungleich Null repräsentiert sind. Die Variablen sind in der Matrix |M|<sub>4</sub> unten als Koeffizienten mit dem Buchstaben **C** bezeichnet. Sie sind gemäß ihrer Gewichtung hierarchisiert und durch die Subindexe 1 – 6 (1 = höchste und 6 = geringste Gewichtung) gekennzeichnet. Für das dargestellte Beispiel mit dem Konfidenzniveau  $\alpha = 0,5$  sind die Werte:

C<sub>1</sub> Bergbau (LSM) = 0,8; C<sub>2</sub> Tourismus (Tour) = 0,5; C<sub>3</sub> Landwirtschaft (LWS) = 0,4; C<sub>4</sub> Migration (Mig) = 0,3; C<sub>5</sub> Analphabetismus (Anph) = 0,2; C<sub>6</sub> Gesundheit (Gsd) = 0,1.

Die Auswahl des  $\alpha$ -Levels folgt der Entscheidung mit einem Konfidenzniveau von 50% zu arbeiten, aber es ist in jedem Fall ein Qualitätsniveau bei dem alle

untersuchten Variablen des Systems abgebildet sind. Das Konfidenzniveau  $\alpha$  drückt das Vertrauen darin aus, dass ein bestimmtes Set von Variablen an der endgültigen Zusammensetzung des Indikators teilhat.

Möchte man eine hohe Sicherheit für die Analyse des Systems erreichen, sollte ein höheres  $\alpha$ -Level gewählt werden. Zum Beispiel hat man für ein  $\alpha$ -Level = 0,9 die Möglichkeit ein Modell mit nur den Variablen  $C_1$  Intensiver Bergbau (LSM) und  $C_2$  Tourismus (Tour) als Faktoren für die soziale Verwundbarkeit der Bewohner der Quebrada Shallap zu betrachten (vgl. Tabelle 9). Im Fall von  $\alpha = 1,0$  hat man die absolute Sicherheit dass der intensive Bergbau ein Faktor größter Bedeutung für die Untersuchung ist. In diesem Zusammenhang muss nochmals explizit betont werden, dass ein Experton immer eine Darstellung der Perspektive der befragten Experten ist und damit eine subjektive Repräsentation der Wirklichkeit in einem Modell. Allgemein gesprochen, kann die Identifikation und Hierarchisierung der für das Untersuchungsgebiet relevanten sozialen Variablen durch einen Indikator ausgedrückt werden. Dieser Indikator basiert auf lokalem Wissen und Erfahrung und verwendet das Instrument des *Expertons*.

### **4.3 Auswahl des Konfidenzniveaus, Berechnung der Gewichtungskoeffizienten und statistische Bearbeitung der Daten**

In der nachfolgenden Tabelle 10 wurden die Zeilen für die Konfidenzniveaus  $\alpha = 0,4$ ,  $\alpha = 0,5$  und  $\alpha = 0,6$  normalisiert, mit dem Ziel, die Bedeutung der Variablen für die Gleichung der SVI-Berechnung (s. Gleichung (1), Kapitel 3.2, Schritt 4.1) zu identifizieren. Das hier gewählte Konfidenzniveau von  $\alpha = 0,5$  ist der höchste Vertrauensgrad, in dem alle Variablen abgebildet werden und der grafisch als Amplitude des Intervalls dargestellt wird, die den Bereich unter der Unsicherheitskurve begrenzt (s. Abbildung 12, Kapitel 3.2).

Der Normalisierungsprozess wurde durchgeführt, damit jeder Koeffizient  $C_i$  in Werten zwischen (0,1) ausgedrückt wird und gleichzeitig die Summe aller Koeffizienten dem Wert Eins entspricht. Dieser Schritt ermöglicht dem Forscher die Auswahl des

Konfidenzniveaus im Modell, die Verwendung seines eigenen Fachwissens und die Wahl des Beitrags bzw. der Gewichtung jeder Variablen für die Berechnung des SVI.

$\alpha$	$\sum c_i$	$C_{G3}$	$C_{G1}$	$C_{G2}$	$C_{G4}$	$C_{G6}$	$C_{G5}$
0,4	2,7	0,185	0,333	0,185	0,148	0,074	0,074
<b>0,5</b>	<b>2,3</b>	<b>0,174</b>	<b>0,348</b>	<b>0,217</b>	<b>0,130</b>	<b>0,043</b>	<b>0,087</b>
0,6	1,3	0,153	0,538	0,308	0	0	0

**Tabelle 10: Normalisierte Werte ausgewählter Konfidenzniveaus**

Zur Berechnung wird die Summe aller Werte des gewählten Konfidenzniveaus ( $\alpha$ -Level = 0,5) aus dem Experton (Tabelle 9) gebildet, hier mit  $\sum c_i$  bezeichnet. Anschließend erfolgt die Division jedes einzelnen Koeffizienten durch die erhaltene Summe (siehe Kapitel 3.2, 3. Schritt - Gleichungen 4 und 5). Für die hier dargestellte Berechnung bedeutet dies:

$$\sum c_{i(\alpha: 0,5)} = (0,8) + (0,5) + (0,4) + (0,3) + (0,2) + (0,1) = 2,3 \quad \text{Gleichung (4)}$$

und

$$C_G = C_i / \sum c_i \quad \text{Gleichung (5)}$$

Mittels dieser Rechenoperationen erhält man  $C_G$ , die normalisierten Koeffizienten jeder konstituierenden Variablen des SVI, hier beispielhaft für  $\alpha = 0,5$ :

$C_{G1}$  Bergbau (LSM) =  $(0,8)/(2,3) = \mathbf{0,348}$ ;  $C_{G2}$  Tourismus (Tour) =  $(0,5)/(2,3) = \mathbf{0,217}$ ;  
 $C_{G3}$  Landwirtschaft (LWS) =  $(0,4)/(2,3) = \mathbf{0,174}$ ;  $C_{G4}$  Migration (Mig) =  $(0,3)/(2,3) = \mathbf{0,130}$ ;  
 $C_{G5}$  Analphabetismus (Anph) =  $(0,2)/(2,3) = \mathbf{0,087}$  und  $C_{G6}$  Gesundheit (Gsd) =  $(0,1)/(2,3) = \mathbf{0,043}$ .

Im Experton (Matrix  $M_4$ , Tabelle 9) ist die Zeile für  $\alpha$ -Level = 0,5 hervorgehoben, da die Gleichung des SVI für diesen Fall entwickelt wird. Zuvor wurde auch erläutert, dass der Grund für diese Auswahl die Repräsentation aller untersuchten Variablen ist. Bei der nachfolgenden Berechnung wird diese Auswahl als gesetzt betrachtet und nicht noch einmal spezifiziert.  $\alpha = 0,4$  und  $\alpha = 0,6$ , sind weitere Amplitudenschnitte der Unsicherheitskurve. An anderer Stelle wird später noch eine vergleichende Analyse der Koeffizienten  $C_i$  für die Niveaus  $\alpha = 0,4$  und  $\alpha = 0,6$  vorgelegt (Tabelle 10).

Der Octave-Code für die Normalisierung des  $\alpha$ -Levels ist in Anhang 6 (MatLab Code zur Berechnung des SVI) zu finden. Die normalisierten Koeffizienten (Gleichung 2 für  $X = C_{Gi}$ ), die bei der Berechnung des  $SVI_{(\alpha: 0,5)}$  (Gleichung 1) verwendet werden, sind:

Variablen	LSM	Tour	LWS	MIG	Anph	GSD
$C_{Gi}$	0,348	0,217	0,174	0,13	0,087	0,043

**Tabelle 11: Normalisierte Koeffizienten  $C_G$  der Variablen des SVI**

Das Ergebnis dieses Prozesses erlaubte es, die Koeffizienten  $C_{Gi}$  (Gleichung 5), in der Gleichung zur Berechnung des SVI (Gleichung 1) zu bestimmen. Die erfassten, berechneten und angeglichenen Daten der identifizierten unterscheidbaren Variablen LSM, Tour, LWS, MIG, Anph und GSD, deren Koeffizienten in Gleichung (5) angegeben sind, werden weiter unten in Tabelle 40 dargestellt.

Die aus dem Experton erhaltene Information ( $C_i$  der Gleichung 1) wird mit dem Wert der im SVI betrachteten Variablen für jedes Jahr multipliziert. Die Tabelle 12 fasst die Originalwerte der Variablen des SVI für die betrachteten Jahre zusammen.

Peru											
Gebiet	Indikator	Einheit	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Gesamt National	Bruttowertschöpfung aus Landwirtschaft. Produktion	Millionen Peruan. Nuevos Soles (1994)	9507,54	10354,41	10559,03	11334,97	11432,13	11990,52	12425,96	13201,03	13438,77
Gesamt National	Bevölk. mit bestimmten Krankheiten	%	23,5	24,9	25,6	25,2	21,7	20,7	22,5	24,1	24,6
Gesamt National	Gesamtbevölkerung geschätzt	Personen	27810540	28151443	28481901	28807034	29132013	29461933	29797694	30135875	30475144
Gesamt National	Analphabetismus (Bevölk. über 15 Jahre)	%	9,6	9,2	8,5	8,2	7,6	7,4	7,1	6,2	6,2
Gesamt National	Nationale & internat. Besucherankünfte an tourist. Orten	Personen	4166558	4395372	4755827	5170524	4855000	4958854	5563033	6020662	-
Gesamt National	Bevölk. mit Zugang zu Wasserversorgung	%	70,1	71,6	72	72,4	74,1	76,2	76,8	82,3	-
Gesamt National	Bruttoinlandsprodukt	Tausend Peruan. Nuevos Soles (1994)	193133112	160145464	174348006	191368011	148639991	210111813	224617843	238836410	-
Ancash											
Gesamt Regional	Bevölk. mit bestimmten Krankheiten	%	21,1	23	23,4	25	28	32,8	38,5	38,4	38,4
Gesamt Regional	Gesamtbevölkerung geschätzt	Personen	1084038	1090637	1097098	1103481	1109849	1116265	1122792	1129391	1135962
Gesamt Regional	Analphabetismus (Bevölk. über 15 Jahre)	%	19,1	16,5	13,4	12,9	12,4	11,3	11,4	9,9	9
Gesamt Regional	Nationale & internat. Besucherankünfte an tourist. Orten	Personen	195551	220513	209904	171740	143505	159604	180916	204157	-
Gesamt Regional	Bevölk. mit Zugang zu Wasserversorgung	%	71,9	72,8	71,8	74,5	75	75,3	76,6	90,7	-
Gesamt Regional	Durchschnittl. Jahreshöchsttemperatur	Grad Celsius	21,1	21,9	20,8	20,5	20,1	21,5	20,5	21,0	-
Gesamt Regional	Jahresniederschlag	Millimeter	739,5	890,9	945,7	705,6	1308,6	797,25	823,5	953,8	-
Gesamt Regional	Bruttowertschöpfung aus Bergbau	Tausend Peruan. Nuevos Soles (1994)	1829297	1758539	1788976	1882889	1880777	1726238	1561525	1835799	
Gesamt Regional	Bruttoinlandsprodukt Ancash	Tausend Peruan. Nuevos Soles (1994)	5419566	5550261	5932921	6457790	6453409	6646818	6719262	7019212	
Gesamt Regional	Bruttowertschöpfung aus Landwirtschaft. Produktion	Tausend Peruan. Nuevos Soles (1994)	342712	334281	350337	384895	373308	415180	426600	431100	

**Tabelle 12: Originaldaten für Peru und Ancash (QUELLE: INEI, 2015)**

Die Originaldaten der Tabelle 12 werden im weiteren Verlauf in Beziehung zueinander gesetzt. Betrachtet werden die Daten für das Departement Ancash im Vergleich zu entsprechenden nationalen Werten. Daten auf Ebene des Untersuchungsgebiets oder für den Distrikt Huaraz liegen für die betrachteten

Variablen und den betrachteten Zeitraum (2005 -2012) nicht oder nicht vollständig vor. Auf nationaler Ebene und für Ancash sind praktisch vollständige Datensätze vorhanden, mit vereinzelt Ausnahmen auf der Departementsebene.

Die verfügbaren Daten auf regionaler Ebene werden mit der Technik der lokalen Hochrechnung oder „Regionalisierung“ durch statistische Anpassung für die lokale Ebene berechnet. Diese Methode wird auch von SENAMHI angewandt: „Die statistische Anpassung ist ein empirisches Modell, das die Variablen für den großen Maßstab mit lokalen Variablen in Beziehung setzt.“ (SENAHMI, 2010, S.44). Hier folgen nun die detaillierten Berechnungen zur Vorbereitung der Daten für jede der Variablen.

Die erste berechnete Variable ist der intensive Bergbau (LSM). Der Wert für das Jahr 2005 ergibt sich durch Division der Bruttowertschöpfung (VAB) der Bergbauaktivität von Ancash aus Tabelle 12 (1.829.297 Tsd. Nuevos Soles) durch das Bruttoinlandsprodukt (BIP) von Ancash (5.419.566 Tsd. Nuevos Soles), wodurch man den Wert 0,3375 erhält. Diese Berechnung wurde für die Jahre 2005 bis 2012 in gleicher Weise durchgeführt:

$$\text{LSM} = \text{VAB}_{\text{Ancash}} / \text{PIB}_{\text{Ancash}} \qquad \text{Gleichung (6)}$$

Die erzeugten Ergebnisse sind in Tabelle 13 zu finden.

Jahr	LSM
2005	0,3375
2006	0,3168
2007	0,3015
2008	0,2915
2009	0,2914
2010	0,2597
2011	0,2323
2012	0,2615

**Tabelle 13: Ergebnis der Berechnung der Variable Bergbau 2005-2012**

Für die weiteren Variablen Tourismus (TOUR), Landwirtschaft (LWS), Analphabetismus (ANPH) und Gesundheit (GSD) erfolgte die Berechnung folgendermaßen (alle Wertangaben beziehen sich auf Tabelle 12):

TOUR = Quotient aus den Touristenankünften in- und ausländischer Besucher in Ancash (AVA) (für 2005: 195.551 Personen) und den Gesamtankünften aller Touristen in Peru (AVP) (für 2005: 4.166.558 Personen)

$$\text{TOUR} = \text{AVA}_{\text{Ancash}} / \text{AVP}_{\text{Peru}}$$

Gleichung (7)

Jahr	TOUR
2005	0,0469
2006	0,0501
2007	0,0441
2008	0,0332
2009	0,0295
2010	0,0321
2011	0,0325
2012	0,0339

**Tabelle 14: Ergebnis der Berechnung der Variable Tourismus 2005-2012**

LWS = Quotient aus der Bruttowertschöpfung der landwirtschaftlichen Produktionstätigkeit von Ancash (AAV) (für 2005: 342.712 Tsd. Nuevos Soles) und dem Bruttoinlandsprodukt (BIP) von Ancash (für 2005: 5.419.566 Tsd. Nuevos Soles)

$$LWS = VAA_{Ancash} / PIB_{Ancash}$$

Gleichung (8)

Jahr	LWS
2005	0,0632
2006	0,0602
2007	0,0590
2008	0,0596
2009	0,0578
2010	0,0624
2011	0,0634
2012	0,0614

**Tabelle 15: Ergebnis der Berechnung der Variable Landwirtschaft 2005-2012**

ANPH = Quotient aus der Analphabetismusrate für Ancash (TAA) (für 2005: 19,1%) und der Analphabetismusrate von Peru (TAP) (für 2005: 9,6%)

$$ANPH = TAA_{Ancash} / TAP_{Peru}$$

(Gleichung 9)

Jahr	ANPH
2005	1,9895
2006	1,7934
2007	1,5764
2008	1,5731
2009	1,6315
2010	1,5270
2011	1,6056
2012	1,5967

**Tabelle 16: Ergebnis der Berechnung der Variable Analphabetismus 2005-2012**

GSD = Quotient aus der Krankheitsrate für Ancash (TKA) (für 2005: 21,1%) und der Krankheitsrate für Peru (TKP) (für 2005: 23,5%)

$$\text{GSD} = \text{TKA}_{\text{Ancash}} / \text{TKP}_{\text{Peru}}$$

Gleichung (10)

Jahr	GSD
2005	0,8978
2006	0,9236
2007	0,9140
2008	0,9920
2009	1,2903
2010	1,5845
2011	1,7111
2012	1,5933

**Tabelle 17: Ergebnis der Berechnung der Variable Gesundheit 2005-2012**

Für die Variable Migration (MIG) wurde das Verhältnis zwischen der gesamten Auswanderung aus dem Departement Ancash und der Gesamtbevölkerung des Departements ermittelt. Auf diese Weise erhält man die Migrationsrate, d.h. den Anteil der Auswanderer an der Gesamtbevölkerung, und normalisiert die Daten gleichzeitig.

Die Datenerhebung für Migration erfolgt in Peru durch die nationale Statistikbehörde INEI lediglich etwa alle 10 Jahre. Es liegen nur Daten für die Jahre 1940, 1961, 1972, 1981, 1993 und 2007 vor (siehe Tabelle 18).

Ancash	1961		1972		1981		1993		2007	
	Einw	Ausw	Einw	Ausw	Einw	Ausw	Einw	Ausw	Einw	Ausw
	54.138	130.225	89.660	227.361	113.520	286.409	120.033	367.137	116.040	389.905

**Tabelle 18: Ein- und Auswanderungszahlen für das Departement Ancash für die Jahre 1961, 1972, 1981, 1993 und 2007 (in Personen, Quelle: INEI 2015)**

Daher wurde in diesem Fall eine zusätzliche, ebenfalls im Programm Octave kodierte Berechnung vorgenommen, um für die Modellierung entsprechende Information zur Migration für die fehlenden Jahre zu erhalten. Dazu wurde ein Verfahren gesucht, um eine Gerade zu konstruieren, welche die vorgegebenen Punkt möglichst gut repräsentiert, d.h. die möglichst geringe Abstände zu ihnen aufweist. Verwendet wurde eine lineare Annäherung auf Basis der kleinste Quadrate-Methode (Hurtado, E. o.D.), mit deren Hilfe die Werte für den Anteil der migrierenden Bevölkerung für die Jahre 2005 bis 2012 hochgerechnet wurden. Das Jahr 1961 war Ausgangspunkt für die lineare Annäherung und anschließend wurden die weiteren Jahre 1972, 1981, 1993 und 2007 einbezogen. Das Verfahren basiert auf der Annahme, dass die Migrationsrate in den Jahren 2005 bis 2012 diesem berechneten Trend folgt (siehe Tabelle 18a und Anhang 4, Befehle zur Berechnung der kleinste Quadrate-Methode mit MatLab).

Migration	
Jahre	Auswanderungsrate
1961	0,706
1972	0,717
1981	0,716
1993	0,753
2007	0,770

**Tabelle 18a: Berechnung der Auswanderungsrate**

Für das Jahr 2005 wurde die Variable Migration (MIG) anhand der Daten aus dem Jahr 1961 durch Division der Gesamtsumme der Auswanderung von Ancash (TAA)

(130.225 Personen) durch die Gesamtmigration von Ancash (TWA) (54.138 + 130.225 = 184.363 – Werte aus Tabelle 18) berechnet, wobei der Wert 0,706 als Migrationsrate erhalten wird.

Die Berechnung wurde für die Jahre 1961, 1972, 1981, 1993 und 2007 gemäß dieser allgemeinen Beziehung vorgenommen:

$$\text{MIG} = \text{TAA}_{\text{Ancash}} / \text{TWA}_{\text{Ancash}} \quad \text{Gleichung (11)}$$

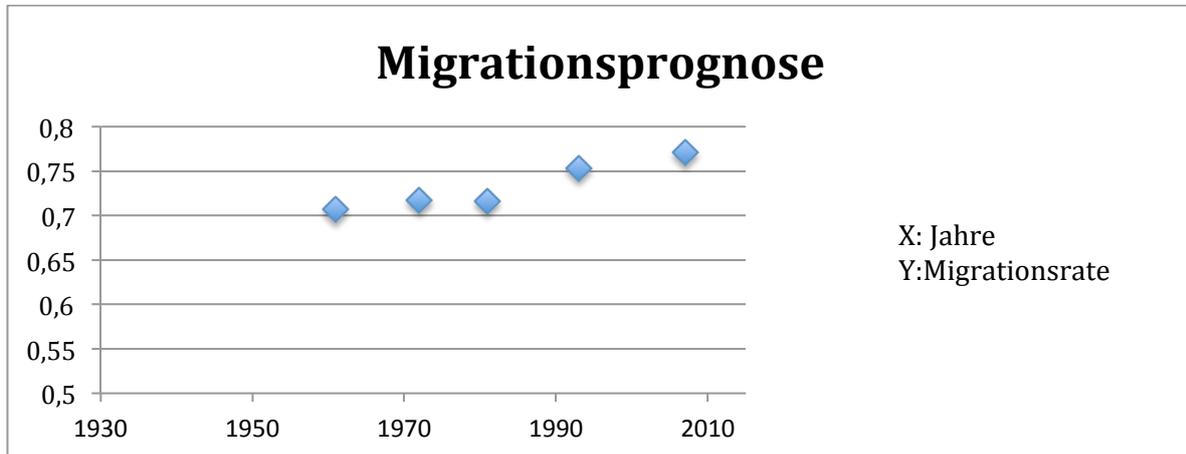
Die übrigen Berechnungen sind in (Anhang 7, MatLab Befehle zur Typisierung der Variablen) zu finden. Die Ergebnisse der Berechnung sind in Tabelle 40 zusammengefasst.

Mit den erhaltenen Migrationsraten wurde der Migrationsanteil mittels linearer Annäherung nach der kleinste Quadrate-Methode hochgerechnet wie durch folgende Polynomgleichung beschrieben:  $y = 9\text{E-}05x^2 - 0,3609x + 357,61$ . Die Annäherung besitzt einen Korrelationskoeffizienten von  $R^2 = 0,87571$ .

Standardisierte Migrationsrate zwischen 2005 und 2012	
2005	0.3877
2006	0.3906
2007	0.3935
2008	0.3964
2009	0.3992
2010	0.4021
2011	0.4050
2012	0.4079

**Tabelle 19: Ergebnisse der Hochrechnung für die standardisierte Migrationsrate 2005-2012**

Unter Anwendung des Octave-Codes (siehe Anhang 7, MatLab Befehle zur Typisierung der Variablen) kann das Ergebnis wie in Abbildung 13 grafisch dargestellt werden.



**Abbildung 13. Lineare Annäherung der Migrationsrate**

Abbildung 13 zeigt die Tendenz der Migration in Form einer leicht ansteigenden Kurve ohne abrupte Veränderungen für die verwendeten Daten.

Alle zur Berechnung des SVI verwendeten Variablen mit ihren Mittelwerten und Standardabweichungen sind in Tabelle 20 zusammengefasst. Sie repräsentieren die Basisdaten für die Anwendung des in dieser Arbeit entwickelten Modells.

Jahr	LSM	Tour	Lws	Mig	Anph	Gsd
2005	0,3375	0,0469	0,0632	0,3877	1,9895	0,8978
2006	0,3168	0,0501	0,0602	0,3906	1,7934	0,9236
2007	0,3015	0,0441	0,0590	0,3935	1,5764	0,9140
2008	0,2915	0,0332	0,0596	0,3964	1,5731	0,9920
2009	0,2914	0,0295	0,0578	0,3992	1,6315	1,2903
2010	0,2597	0,0321	0,0624	0,4021	1,5270	1,5845
2011	0,2323	0,0325	0,0634	0,4050	1,6056	1,7111
2012	0,2615	0,0339	0,0614	0,4079	1,5967	1,5933
Mittelwert	0,2865	0,0378	0,0609	0,3978	1,6617	1,2383
Standard- abweichung	0,0339	0,0079	0,0020	0,0070	0,1541	0,3490

**Tabelle 20: Basisdaten der sozialen Variablen des SVI für die Anwendung des Modells**

Alle Daten der Tabelle 20 wurden für die nachfolgende Analyse standardisiert, wie in Abschnitt 3.2, beschrieben. Die Standardisierung ist ein statistisches Verfahren, das neben der Verteilung der Daten um den Mittelwert mit derselben Stichprobenvarianz zu einer "Adimensionierung" der Daten führt, um so einen echten Vergleich zwischen ihnen zu ermöglichen.

Die erste standardisierte Variable ist der intensive Bergbau (LSM). Die hier in der Folge beschriebenen Berechnungen zur Standardisierung aller Variablen, aus denen der SVI besteht, beziehen sich auf die Daten in Tabelle 20. Der Wert von LSM für das Jahr 2005 ist das Ergebnis der Subtraktion des Stichprobenmittelwerts für LSM  $\mu = 0,2865$  vom Jahreswert für LSM = 0,3375 und anschließender Division durch die Standardabweichung  $\sigma = 0,0339$ , was einen standardisierten Wert für den intensiven Bergbau von 1,5011 ergibt.

Diese Berechnung erfolgte entsprechend für die Jahre 2005 bis 2012 gemäß der Formel:

$$LSM_z = (LSM - \mu_{LSM}) / \sigma_{LSM} \quad \text{Gleichung (12)}$$

Die erzeugten Werte sind in der Tabelle 21 dargestellt.

Jahr	LSM <sub>z</sub>
2005	1,5011
2006	0,8915
2007	0,4407
2008	0,1472
2009	0,1434
2010	-0,7911
2011	-1,5956
2012	-0,7372

**Tabelle 21: Ergebnis der Berechnung der Standardisierung der Variable Intensiver Bergbau 2005-2012**

Für die Standardisierung der weiteren Variablen Tourismus (TOUR), Landwirtschaft (LWS), Migration (MIG), Analphabetismus (ANPH) und Gesundheit (GSD) erfolgte die Berechnung in entsprechender Weise und mit den folgenden Ergebnissen:

$$Tour_z = (Tour - \mu_{Tour}) / \sigma_{Tour} \quad \text{Gleichung (13)}$$

Jahr	Tour <sub>z</sub>
2005	1,1483
2006	1,5564
2007	0,7955
2008	-0,5818
2009	-1,0431
2010	-0,7117
2011	-0,6694
2012	-0,4943

**Tabelle 22: Ergebnis der Berechnung der Standardisierung der Variable Tourismus 2005-2012**

$$LWS_z = (LWS - \mu_{LWS}) / \sigma_{LWS}$$

Gleichung (14)

Jahr	LWS <sub>z</sub>
2005	1,1251
2006	-0,3339
2007	-0,9054
2008	-0,6377
2009	-1,4889
2010	0,7501
2011	1,2478
2012	0,2428

**Tabelle 23: Ergebnis der Berechnung der Standardisierung der Variable Landwirtschaft 2005-2012**

$$MIG_z = (MIG - \mu_{MIG}) / \sigma_{MIG}$$

Gleichung (15)

Jahr	MIG <sub>z</sub>
2005	-1,4285
2006	-1,0205
2007	-0,6125
2008	-0,2045
2009	0,2034
2010	0,6128
2011	1,0208
2012	1,4288

**Tabelle 24: Ergebnis der Berechnung der Standardisierung der Variable Migration 2005-2012**

$$\text{Anph}_z = (\text{Anph} - \mu_{\text{Anph}}) / \sigma_{\text{Anph}}$$

Gleichung (16)

Jahr	Anph <sub>z</sub>
2005	2,1266
2006	0,8546
2007	-0,5529
2008	-0,5743
2009	-0,1954
2010	-0,8736
2011	-0,3637
2012	-0,4212

**Tabelle 25: Ergebnis der Berechnung der Standardisierung der Variable Analphabetismus 2005-2012**

$$GSD_z = (GSD - \mu_{GSD}) / \sigma_{GSD}$$

Gleichung (17)

Jahr	GSD <sub>z</sub>
2005	-0,9755
2006	-0,9015
2007	-0,9291
2008	-0,7056
2009	0,1488
2010	0,9917
2011	1,3543
2012	1,0170

**Tabelle 26: Ergebnis der Berechnung der Standardisierung der Variable Gesundheit 2005-2012**

In Tabelle 27 sind die Ergebnisse der vorherigen Tabellen 21, 22, 23, 24, 25 und 26 zusammengefasst.

Mittelwert	0,2865	0,0378	0,0609	0,3978	1,6617	1,2383
Standard- abweichung	0,0339	0,0079	0,0020	0,0070	0,1541	0,3490
Standardisierte Variablen						
Jahr	LSM <sub>z</sub>	Tour <sub>z</sub>	LWS <sub>z</sub>	MIG <sub>z</sub>	Anph <sub>z</sub>	GSD <sub>z</sub>
2005	1,5011	1,1483	1,1251	-1,4285	2,1266	-0,9755
2006	0,8915	1,5564	-0,3339	-1,0205	0,8546	-0,9015
2007	0,4407	0,7955	-0,9054	-0,6125	-0,5529	-0,929
2008	0,1472	-0,5818	-0,6377	-0,2045	-0,5743	-0,7056
2009	0,1434	-1,0431	-1,4889	0,2034	-0,1954	0,1488
2010	-0,791	-0,7117	0,7501	0,6128	-0,8736	0,9917
2011	-1,5956	-0,6694	1,2478	1,0208	-0,3637	1,3543
2012	-0,7372	-0,4943	0,2428	1,4288	-0,4212	1,0170

**Tabelle 27: Zusammenfassung aller standardisierten Variablen**

#### 4.4 Berechnung des Index sozialer Verwundbarkeit SVI

Nachdem sämtliche Variablen standardisiert wurden, wird nun der Index sozialer Verwundbarkeit (Social Vulnerability Index - SVI) anhand der Gleichung (1) berechnet. Dazu werden die standardisierten Daten für die Variablen Intensiver Bergbau (LSM), Tourismus (Tour), Landwirtschaft (LWS), Migration (MIG), Analphabetismus (Anph) und Gesundheit (GSD) aus Tabelle 27 sowie die normalisierten Koeffizienten  $C_G$  aus der Gleichung (5) der Tabelle 11 verwendet.

Wie bereits in Kapitel 3 beschrieben, lautet die Gleichung zur Berechnung des SVI:

$$\text{SVI} = \text{CG1} \cdot \text{LSM}_z + \text{CG2} \cdot \text{Tour}_z + \text{CG3} \cdot \text{LWS}_z + \text{CG4} \cdot \text{MIG}_z + \text{CG5} \cdot \text{Anph}_z + \text{CG6} \cdot \text{GSD}_z$$

Gleichung (1)

Die Werte des SVI für die Jahre 2005-2012, die aus der Gleichung (1) generiert wurden, errechnen sich wie folgt:

$$\text{SVI}_{2005} = 0.348 \cdot (1,5011) + 0.217 \cdot (1,1483) + 0.174 \cdot (1,1251) + 0.13 \cdot (-1,4285) + 0.087 \cdot (2,1266) + 0.043 \cdot (-0,9755) = -0,9247$$

$$\text{SVI}_{2006} = 0.348 \cdot (0,8915) + 0.217 \cdot (1,5564) + 0.174 \cdot (-0,3339) + 0.13 \cdot (-1,0205) + 0.087 \cdot (0,8546) + 0.043 \cdot (-0,9015) = -0,4928$$

$$\text{SVI}_{2007} = 0.348 \cdot (0,4407) + 0.21 \cdot (0,7955) + 0.174 \cdot (-0,9054) + 0.13 \cdot (-0,6125) + 0.087 \cdot (-0,5529) + 0.043 \cdot (-0,9291) = -0,0007$$

$$\text{SVI}_{2008} = 0.348 \cdot (0,1472) + 0.21 \cdot (-0,5818) + 0.174 \cdot (-0,6377) + 0.13 \cdot (-0,2045) + 0.087 \cdot (-0,5743) + 0.043 \cdot (-0,7056) = 0,2928$$

$$\text{SVI}_{2009} = 0.348 \cdot (0,1434) + 0.217 \cdot (-1,0431) + 0.174 \cdot (-1,4889) + 0.13 \cdot (0,2034) + 0.087 \cdot (-0,1954) + 0.043 \cdot (0,1488) = 0,4196$$

$$\text{SVI}_{2010} = 0.348 \cdot (-0,7911) + 0.217 \cdot (-0,7117) + 0.174 \cdot (0,7501) + 0.13 \cdot (0,6128) + 0.087 \cdot (-0,8736) + 0.043 \cdot (0,9917) = 0,2529$$

$$\text{SVI}_{2011} = 0.348 \cdot (-1,5956) + 0.217 \cdot (-0,6694) + 0.174 \cdot (1,2478) + 0.13 \cdot (1,0208) + 0.087 \cdot (-0,3637) + 0.043 \cdot (1,3543) = 0,3241$$

$$\text{SVI}_{2012} = 0.348 \cdot (-0,7372) + 0.217 \cdot (-0,4943) + 0.174 \cdot (0,2428) + 0.13 \cdot (1,4288) + 0.087 \cdot (-0,4212) + 0.043 \cdot (1,0170) = 0,1287$$

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Tabelle 28 zusammengefasst.

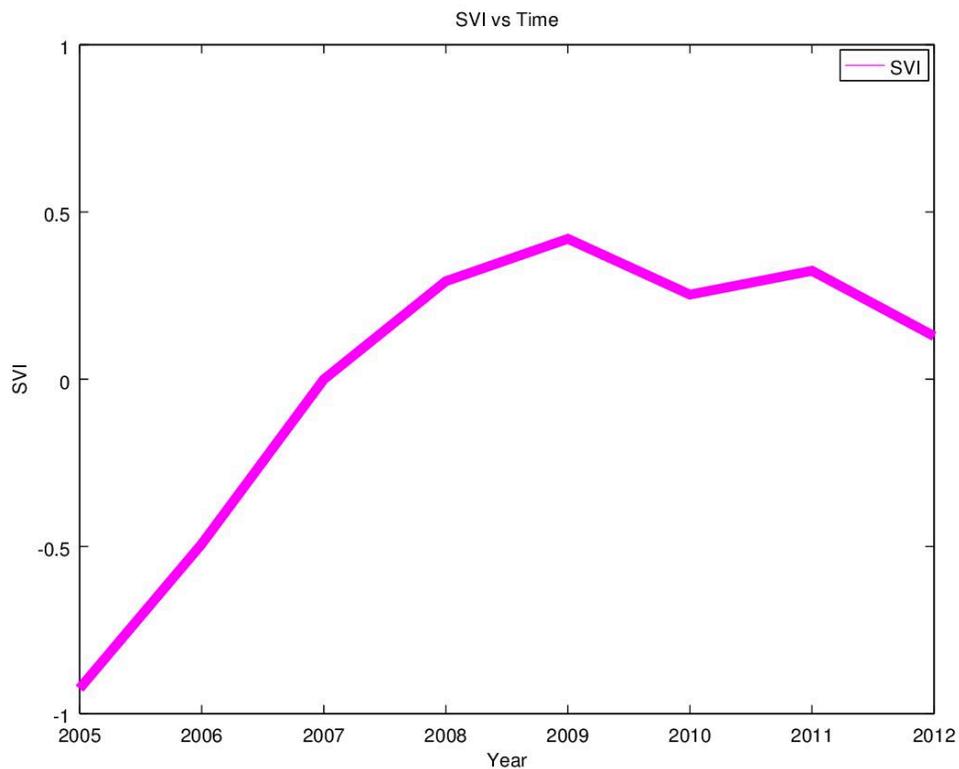
Aufgrund der begrenzt vorhandenen Information und der geringen Anzahl der Daten konnte kein Vorhersagemodell gestaltet werden, sondern es wurde ein erklärendes Modell für das Zusammenwirken von sozial-ökologischen Variablen erstellt. Der Octave-Code für die Berechnung des SVI für den Zeitraum zwischen 2005 und 2012 ist in (Anhang 6, MatLab Code zur Berechnung des SVI von Kapitel 7) zu finden.

Mittelwert	0,2865	0,0378	0,0609	0,3978	1,6617	1,2383	
Standard- abweichung	0,0339	0,0079	0,0020	0,0070	0,1541	0,3490	
Standardisierte Variablen							
Jahr	LSM <sub>z</sub>	Tour <sub>z</sub>	LWS <sub>z</sub>	MIG <sub>z</sub>	Anph <sub>z</sub>	GSD <sub>z</sub>	<b>SVI<sub>z</sub></b>
2005	1,5011	1,1483	1,1251	-1,4285	2,1266	-0,9755	<b>-0,9247</b>
2006	0,8915	1,5564	-0,3339	-1,0205	0,8546	-0,9015	<b>-0,4928</b>
2007	0,4407	0,7955	-0,9054	-0,6125	-0,5529	-0,9291	<b>-0,0007</b>
2008	0,1472	-0,5818	-0,6377	-0,2045	-0,5743	-0,7056	<b>0,2928</b>
2009	0,1434	-1,0431	-1,4889	0,2034	-0,1954	0,1488	<b>0,4196</b>
2010	-0,7911	-0,7117	0,7501	0,6128	-0,8736	0,9917	<b>0,2529</b>
2011	-1,5956	-0,6694	1,2478	1,0208	-0,3637	1,3543	<b>0,3241</b>
2012	-0,7372	-0,4943	0,2428	1,4288	-0,4212	1,0170	<b>0,1287</b>
Koeff: C <sub>GI</sub> →	0,348	0,217	0,174	0,13	0,087	0,043	

**Tabelle 28: Übersicht aller standardisierten Variablen und SVI für die Jahre 2005-2012**

Die Grafik (1), durch einen Octave-Code im (Anhang 7, MatLab Befehle zur Typisierung der Variablen) erstellt, zeigt die zeitliche Entwicklung des Index sozialer Verwundbarkeit für die Region Ancash auf Grundlage der Gleichung (1) für die Jahre 2005-2012 (standardisierte Werte aus Tabelle 28).

Zur leichteren Interpretation der Grafik wird sie in den ersten Quadranten projiziert:



Grafik 1: Zeitliche Entwicklung des SVI

Es ist zunächst eine stark ansteigende Tendenz der sozialen Verwundbarkeit zwischen den Jahren 2005 bis 2009 zu beobachten; danach zeigen sich oszillierende Veränderungen mit leicht abnehmender Tendenz. Dieses Verhalten könnte als zwingende Notwendigkeit der lokalen Bevölkerung zur Anpassung an die Dynamik und die Veränderungen der Umwelt oder als Schlüsselement für eine erfolgreiche Transition gedeutet werden, d.h. als Zeichen der Anpassungsfähigkeit der Gemeinschaften (Scheffran, 2010). Hinsichtlich des Systems „Communities, Climate Change and Adaptive Capacity“ wird auf die umfangreiche Literatur des vorgenannten Autors verwiesen.

Die befragte lokale Bevölkerung des Untersuchungsgebiets beschreibt ihre eigene Situation als „Bedingungen mit höherem Risiko“: "Jetzt warten wir mit Angst auf den Regen, weil er lange nicht kommt, aber wenn er kommt, zerstört es alles." (Zitat aus direktem Gespräch). Aussagen wie diese fassen den Zustand der Verwundbarkeit und der markanten Veränderung im Auftreten der Regenzyklen zusammen. Die Bevölkerung hat gelernt, sich auf zukünftige Ereignisse "vorzubereiten" und passt

sich den geographischen Veränderungen an, die sich aus Regenzyklen, Erdbeben und Überschwemmungen in den Gletscherflusseinzugsgebieten (Kaser, G. et al 2003) ergeben. Auf diese Weise wird ein Weg gefunden, sich von Veränderungen in der Umwelt zu erholen, was als adaptive Eigenschaft bezeichnet werden könnte, wenn man es aus Scheffers Perspektive analysiert.

Mit der Bestimmung des Index sozialer Verwundbarkeit SVI erfolgt ein wichtiger, aber kein abschließender Schritt in der Analyse der Auswirkungen des lokalen Klimawandels auf die soziale Verwundbarkeit. Der mathematische Umgang mit den Variablen für die lokalen Umweltbedingungen wird im nachfolgenden Abschnitt erläutert.

#### **4.5 Lokale Klimavariablen LCV**

Die Definition der lokalen Klimavariablen ist das Ergebnis der offenen und interpretativen Analyse der Interviews mit den lokalen Experten sowie der Berichte und wissenschaftlichen Studien zur untersuchten Region. Es wurden nur Temperatur (Temp) und Niederschlag (Precip) betrachtet, da diese beiden in der beschreibenden Literatur zur Region die relevantesten Variablen sind (Bury, J. et al 2010), (Favier, V. et al 2004), (Francou, B. et al 2003), (Francou, B. et al 2004), (Juen, I. et al 2007), (Kaser, G. et al 1997), (Kaser, G. et al 2003), (López-Moreno, J. et al 2017), (Mark, B. et al 2005), (Mark, B. 2008), (Piani, C. et al 2010), (Vuille, M. et al 2000), (Vuille, M. et al 2003), (Vuille, M. et al 2007), obwohl die Struktur des SILVIO-Modells die Einbindung anderer Variablen ermöglichen würde.

Es ist wichtig anzumerken, dass eine ausführliche Analyse der Ergebnisse hier nicht angebracht ist, da die verwendeten Daten und die Anzahl der Jahre gering sind. Die Daten dienen lediglich zur Demonstration ihrer Implementierung im Modell, spiegeln aber nicht den tatsächlichen und vollständigen Zustand des Systems wider.

Die bisher vorgestellten Tabellen werden durch Aufnahme der standardisierten Klimavariablen erweitert, wie in Tabelle 29 dargestellt.

Jahr	LSM <sub>z</sub>	Tour <sub>z</sub>	LWS <sub>z</sub>	MIG <sub>z</sub>	Anph <sub>z</sub>	GSD <sub>z</sub>	Temp <sub>z</sub>	Precip <sub>z</sub>
2005	1,5011	1,1483	1,1251	-1,4285	2,1266	-0,9755	0,3111	0,2111
2006	0,8915	1,5564	-0,3339	-1,0205	0,8546	-0,9015	1,6799	0,1383
2007	0,4407	0,7955	-0,9054	-0,6125	-0,5529	-0,9291	-0,2021	0,9013
2008	0,1472	-0,5818	-0,6377	-0,2045	-0,5743	-0,7056	-0,7153	-0,6706
2009	0,1434	-1,0431	-1,4889	0,2034	-0,1954	0,1488	-1,4681	1,3766
2010	-0,7911	-0,7117	0,7501	0,6128	-0,8736	0,9917	0,9442	0,2270
2011	-1,5956	-0,6694	1,2478	1,0208	-0,3637	1,3543	-0,6811	-1,9113
2012	-0,7372	-0,4943	0,2428	1,4288	-0,4212	1,0170	0,1315	-0,2725
Koeff.C <sub>i</sub>	0,348	0,217	0,174	0,13	0,087	0,043		

**Tabelle 29: Standardisierte Variablen von SILVIO**

Die Klimavariablen Temperatur und Niederschlag sind numerisch und wurden aus der Datenbank des Nationalen Statistischen Instituts von Peru INEI (INEI 2014) ausgewählt. Dabei folgte die Datensuche innerhalb des Recherchesystems dem allgemeinen Pfad: „Departement Ancash / Umwelt und natürliche Ressourcen / Klimatologische Indikatoren“. Aus dieser Suche wurden die Daten der durchschnittlichen Jahreshöchsttemperatur für Ancash und des Jahresniederschlags in den Departements Ancash, Cajamarca und Huánuco (sie bilden zusammen die Region *Sierra Norte*) für die Jahre 2005 bis 2012 entnommen.

Die Tabelle 30 fasst die Beschreibung der vollständigen Metadaten für die Klimavariablen Temperatur zusammen.

Indikator	Durchschnittliche Jahreshöchsttemperatur
Thematik	Umwelt und natürliche Ressourcen
Definition	Die Höchsttemperatur ist der höchste gemessene Wert der Temperatur innerhalb des Beobachtungszeitraums. Der Jahresdurchschnitt berechnet sich aus den 12 monatlichen Mittelwerten der Höchsttemperaturen. Der monatliche Mittelwert wird aus den Tageshöchsttemperaturen in einem Monat gebildet.
Maßeinheit	Grad Celsius
Periodizität	Jährlich
Gebiet	Departement
Verwendungszweck	Dieser Indikator dient zur Kenntnis und Analyse der durchschnittlichen Jahreshöchsttemperatur in einem bestimmten Gebiet des nationalen Territoriums.
Formel	-
Status	Aktiv
Bemerkungen	-
Quelle	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (Nationaler Meteorologischer und Hydrologischer Dienst von Peru)

**Tabelle 30: INEI-Metadaten für die Variable Temperatur (INEI 2014, eigene Übersetzung)**

Die Originaldaten aus der Datenbank des INEI mit ihrem Mittelwert und der Standardabweichung für den Zeitraum 2005-2012 sind in der Tabelle 31 dargestellt.

Jahr	Temp
2005	21,1 <sup>12</sup>
2006	21,9
2007	20,8
2008	20,5
2009	20,06
2010	21,47
2011	20,52
2012	20,995
Mittelwert	20,918125
Standard- abweichung	0,584474

**Tabelle 31: Durchschnittliche Jahreshöchsttemperaturen für das Departement Ancash (Quelle: INEI 2014)**

---

<sup>12</sup> Verwendete Werte stammen aus der Datenbank (INEI 2014)

Die zweite betrachtete Klimavariablen ist der Niederschlag. Die Tabelle 32 fasst die vollständigen Metadaten dieser Variablen zusammen.

Indikator	Jahresniederschlag
Thematik	Umwelt und natürliche Ressourcen
Definition	Der Niederschlag ist definiert als flüssiges oder festes Produkt aus der Kondensation von Wasserdampf, das aus den Wolken oder der Luft herunterfällt und sich auf dem Boden ablagert. Er umfasst Regen, Hagel, Schnee, Tau, Raureif und Niederschlag aus Nebel.
Maßeinheit	Millimeter
Periodizität	Jährlich
Gebiet	Departement Ancash
Verwendungszweck	Dieser Indikator dient zur Kenntnis und Analyse des gesamten jährlichen Niederschlags in einem bestimmten Gebiet des nationalen Territoriums.
Formel	-
Status	Aktiv
Bemerkungen	-
Quelle	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (Nationaler Meteorologischer und Hydrologischer Dienst von Peru)

**Tabelle 32: INEI-Metadaten für die Variable Niederschlag (INEI 2014, eigene Übersetzung)**

Der Nationale Meteorologische und Hydrologische Dienst von Peru bietet über sein System (INEI 2014) Informationen zu Niederschlag auf Departementsebene, d.h. für Ancash, an. Die Daten sind im System über den Pfad „Ancash / Umwelt und natürliche Ressourcen / Gesamtniederschlag pro Jahr“ verfügbar. Sie sind in Tabelle 33 zusammengefasst.

Departement Ancash									
Klimavariablen	Einheit	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Niederschlag	Millimeter	739,0	890,0	945,0	705,0	1308,0	797,3	823,5	953,8
Quelle: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (INEI 2014)									

**Tabelle 33: Jahresniederschlagsdaten für das Departement Ancash**

Das Departement Ancash erstreckt sich bis an die Pazifikküste Perus und umfasst daher Gebiete mit extrem unterschiedlichen Regenfallregimen. Wegen dieser großen Unterschiede wurden hier die durchschnittlichen Jahresniederschläge für die Region Sierra Norte (Durchschnittswert für die drei Departements Huanuco, Cajamarca und Ancash) verwendet (INEI, 2010, INEI 2014) und mit den in Tabelle 33 angegebenen Niederschlagsdaten für das Departement Ancash gewichtet. Cajamarca und Huanuco sind Departements, die ganz überwiegend in den Hochgebirgsregionen der peruanischen Anden liegen. Die Verwendung der regional gemittelten Werte für die Sierra Norte erlaubt es, der problematischen Verwendung von einfachen Mittelwerten zu begegnen, das sich durch die Disparität der Temperaturen und Niederschläge innerhalb des Departements Ancash ergibt.

Der Durchschnittswert für die Sierra Norte wurde für die Jahre 2005 bis 2012 mit einer allgemeinen Gleichung berechnet:

$$\text{Durchschnitt Sierra Norte} = \sum \text{Niederschlag(Ancash,Cajamarca,Huanuco)} / 3 \quad \text{Gleichung (18)}$$

Der durchschnittliche Wert für die Sierra Norte im Jahr 2005 (Durchschnitt Sierra Norte<sub>2005</sub>) ist das Ergebnis der Addition der jährlichen Summen der Niederschläge für Ancash, Cajamarca und Huanuco (739,0 + 586,3 + 385,0) geteilt durch die Anzahl der Summanden (n = 3), wodurch man den Wert 570,3 erhält.

In gleicher Weise werden die durchschnittlichen Niederschlagswerte für die Sierra Norte der übrigen Jahre berechnet:

Durchschnitt Sierra Norte<sub>2006</sub> = (890,9+689,6+503,1)/3 = 694,5 mm

Durchschnitt Sierra Norte<sub>2007</sub> = ( 945,7+747,7+292,4 )/3 = 662 mm

Durchschnitt Sierra Norte<sub>2008</sub> = (705,6 + 720,9 + 449,8)/3 = 625,4 mm

Durchschnitt Sierra Norte<sub>2009</sub> = (1308,6 + 794,8 + 480,5)/3 = 861,3 mm

Durchschnitt Sierra Norte<sub>2010</sub> = (797,3 + 644,5 + 398,6)/3 = 613,4 mm

Durchschnitt Sierra Norte<sub>2011</sub> = (823,5 + 1247,2 + 701)/3 = 924 mm

Durchschnitt Sierra Norte<sub>2012</sub> = (953,8 + 823,3 + 598,4)/3 = 792 mm

Die Ergebnisse sind in Tabelle 34 zusammengefasst.

Departement	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Ancash	739,5	890,9	945,7	705,6	1308,6	797,3	823,5	953,8
Cajamarca	586,3	689,6	747,7	720,9	794,8	644,5	1247,2	823,3
Huanuco	385	503,1	292,4	449,8	480,5	398,6	701	598,4
Durchschnitt Sierra Norte	570,3	694,5	662	625,4	861,3	613,4	924	792
Quelle: (INEI 2010). Peru: Anuario de Estadísticas Ambientales 2010, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (INEI 2014)								

**Tabelle 34: Jahresniederschläge und Durchschnittswerte für die Departements Ancash, Cajamarca und Huanuco (in mm)**

Durch Division des Gesamtniederschlags des Departements Ancash durch den Durchschnittswert für die Sierra Norte wurde eine Gewichtung vorgenommen (siehe Gleichung 19). Dieses Vorgehen diente zur Annäherung der im Modell verwendeten Werte für die Klimavariablen Niederschlag an die Bedingungen im geographischen Untersuchungsgebiet der Quebrada Shallap.

$$\text{Niederschlag}_{\text{Jahr}} = \text{Niederschlag Dep Ancash}_{\text{Jahr}} / \text{Durchschnitt Sierra Norte}_{\text{Jahr}}$$

Gleichung (19)

Der Wert der Klimavariablen Niederschlag für das Jahr 2005 ist demnach das Ergebnis der Division des Jahresniederschlags für Ancash (739,5 mm) geteilt durch den Jahresdurchschnittswert für die Sierra Norte (570,3 mm), und im Ergebnis gleich 1,2966.

Die Berechnung der Werte für die nachfolgenden Zeiträume bis 2012 unter Verwendung der Gleichung (19) ergibt:

$$\text{Niederschlag}_{2006} = 890,9 \text{ mm} / 694,5 \text{ mm} = 1,2827$$

$$\text{Niederschlag}_{2007} = 945,7 \text{ mm} / 662 \text{ mm} = 1,4285$$

$$\text{Niederschlag}_{2008} = 705,6 \text{ mm} / 625,4 \text{ mm} = 1,1282$$

$$\text{Niederschlag}_{2009} = 1308,6 \text{ mm} / 861,3 \text{ mm} = 1,5193$$

$$\text{Niederschlag}_{2010} = 797,3 \text{ mm} / 613,4 \text{ mm} = 1,2997$$

$$\text{Niederschlag}_{2011} = 823,5 \text{ mm} / 924 \text{ mm} = 0,8912$$

$$\text{Niederschlag}_{2012} = 953,8 \text{ mm} / 792 \text{ mm} = 1,2042$$

Die errechneten Werte der Jahre 2005 bis 2012 für diese Klimavariablen sowie die Angaben zu Mittelwert und Standardabweichung sind in Tabelle 35 zusammengefasst.

Jahr	Precip
2005	1,2966
2006	1,2827
2007	1,4285
2008	1,1282
2009	1,5193
2010	1,2997
2011	0,8912
2012	1,2042
Mittelwert	1,2563
Standard- abweichung	0,1910

**Tabelle 35: Errechnete Werte der Klimavariablen Niederschlag**

Die Klimavariablen Temperatur und Niederschlag mit ihren Mittelwerten und Standardabweichungen sind in Tabelle 36 zusammengefasst. Sie repräsentieren die Basisdaten zur Klimaveränderung für die Anwendung des in dieser Arbeit entwickelten Modells.

<b>Jahr</b>	<b>Temp (°C)</b>	<b>Precip</b>
2005	21,1	1,2966
2006	21,9	1,2827
2007	20,8	1,4285
2008	20,5	1,1282
2009	20,06	1,5193
2010	21,47	1,2997
2011	20,52	0,8912
2012	20,995	1,2042
Mittelwert	20,9181	1,2563
Standard- abweichung	0,5844	0,1910

**Tabelle 36: Daten der beiden Klimavariablen zur Anwendung im Modell**

Sämtliche Daten der Tabelle 36 werden anschließend standardisiert wie in Kapitel 3, Abschnitt 3.2, Schritt 5 beschrieben.

Die erste standardisierte Variable ist die Temperatur (Temp). Die Daten für die in der Folge beschriebene Berechnung entstammen der Tabelle 36. Der standardisierte Wert für das Jahr 2005 ist das Ergebnis der Subtraktion des Mittelwerts der Stichprobe ( $\mu = 20,9181$ ) vom Jahrestemperaturwert ( $21,1^{\circ}\text{C}$ ) und anschließender Division durch die Standardabweichung ( $\sigma = 0,5844$ ), wodurch man den Wert für  $\text{Temp}_z = 0,3111$  erhält.

Diese Berechnung wurde für die Jahre 2005 bis 2012 nach der allgemeinen Gleichung durchgeführt:

$$\text{Temp}_z = (\text{Temp} - \mu_{\text{Temp}}) / \sigma_{\text{Temp}} \quad \text{Gleichung (20)}$$

Die durch Anwendung der Gleichung (20) für die Temperatur erhaltenen Daten für die weiteren Jahre sind:

$$2006: \text{Temp}_z = (21,9^\circ\text{C} - 20,9181^\circ\text{C}) / 0,5844^\circ\text{C} = 1,6799$$

$$2007: \text{Temp}_z = (20,8^\circ\text{C} - 20,9181^\circ\text{C}) / 0,5844^\circ\text{C} = -0,2021$$

$$2008: \text{Temp}_z = (20,5^\circ\text{C} - 20,9181^\circ\text{C}) / 0,5844^\circ\text{C} = -0,7153$$

$$2009: \text{Temp}_z = (20,06^\circ\text{C} - 20,9181^\circ\text{C}) / 0,5844^\circ\text{C} = -1,4681$$

$$2010: \text{Temp}_z = (21,47^\circ\text{C} - 20,9181^\circ\text{C}) / 0,5844^\circ\text{C} = 0,9442$$

$$2011: \text{Temp}_z = (20,52^\circ\text{C} - 20,9181^\circ\text{C}) / 0,5844^\circ\text{C} = -0,6811$$

$$2012: \text{Temp}_z = (20,99^\circ\text{C} - 20,9181^\circ\text{C}) / 0,5844^\circ\text{C} = 0,1315$$

Die Ergebnisse sind in Tabelle 37 zusammenfasst.

Jahr	Temp <sub>z</sub>
2005	0,3111
2006	1,6799
2007	-0,2021
2008	-0,7153
2009	-1,4681
2010	0,9442
2011	-0,6811
2012	0,1315

**Tabelle 37: Ergebnis der Standardisierung der Variable Temperatur 2005-2012**

Derselbe Standardisierungsprozess wird nun für die Klimavariablen Niederschlag, (Precip) wiederholt. Die in den folgenden Berechnungen verwandten Daten stammen aus Tabelle 36. Der standardisierte Wert für das Jahr 2005 ist das Ergebnis der

Subtraktion des Mittelwerts der Stichprobe ( $\mu = 1,2563$ ) vom Jahreswert für den Niederschlag (1,2966) und der anschließenden Division durch die Standardabweichung ( $\sigma = 0,1910$ ), wodurch der Wert  $\text{Precip}_z = 0,2111$  erhalten wird.

Die Berechnung folgt der allgemeinen Gleichung:

$$\text{Precip}_z = (\text{Precip} - \mu_{\text{Precip}}) / \sigma_{\text{Precip}} \quad \text{Gleichung (21)}$$

Durch Anwendung der Gleichung (21) für die Variable Niederschlag erhält man auch die standardisierten Werte für die übrigen Jahre:

$$2006: \text{Precip}_z = (1,2827 - 1,2563) / 0,1910 = 0,1383$$

$$2007: \text{Precip}_z = (1,4285 - 1,2563) / 0,1910 = 0,9013$$

$$2008: \text{Precip}_z = (1,4285 - 1,2563) / 0,1910 = -0,6706$$

$$2009: \text{Precip}_z = (1,5193 - 1,2563) / 0,1910 = 1,3766$$

$$2010: \text{Precip}_z = (1,2997 - 1,2563) / 0,1910 = 0,2270$$

$$2011: \text{Precip}_z = (0,8912 - 1,2563) / 0,1910 = -1,9113$$

$$2012: \text{Precip}_z = (1,2042 - 1,2563) / 0,1910 = -0,2725$$

Die Ergebnisse sind in Tabelle 38 zusammenfasst.

Jahr	Precip <sub>z</sub>
2005	0,2111
2006	0,1383
2007	0,9013
2008	-0,6706
2009	1,3766
2010	0,2270
2011	-1,9113
2012	-0,2725

**Tabelle 38: Ergebnis der Standardisierung der Variable Niederschlag 2005-2012**

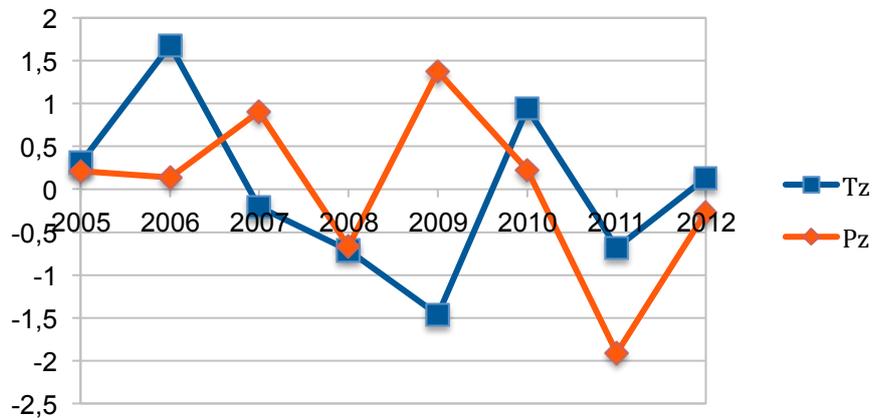
Eine Zusammenfassung der standardisierten Werte der beiden Klimavariablen im Überblick ist in Tabelle 39 dargestellt.

Standardisierte Klimavariablen		
Jahr	Temp <sub>z</sub>	Precip <sub>z</sub>
2005	0,3111	0,2111
2006	1,6799	0,1383
2007	-0,20210	0,9013
2008	-0,7153	-0,6706
2009	-1,4681	1,3766
2010	0,9442	0,2270
2011	-0,6811	-1,9113
2012	0,1315	-0,2725
Mittelwert	20,9181	1,2563
Standard- abweichung	0,5844	0,1910

**Tabelle 39: Zusammenfassung der standardisierten Werte der Klimavariablen**

Die nachfolgende grafische Darstellung der standardisierten lokalen Klimavariablen Temperatur und Niederschlag für die Jahren 2005-2012 (Grafik 2) zeigt den Kurvenverlauf für beide Variablen bevor sie mit dem SVI korreliert wurden.

Temperatur ( $T_z$ ) und Niederschlag ( $P_z$ )  
(standardisierte Daten)



Grafik 2: Zeitliche Entwicklung der lokalen Klimavariablen

In der Grafik ist ein Zeitraum geringer Niederschläge und hoher Temperaturen zwischen den Jahren 2005 und 2006 erkennbar. Ab 2006 zeigt die Temperatur eine fallende Tendenz bis zum Jahr 2009. In demselben Jahr (2009) sind der höchste Wert für den Niederschlag und der niedrigste für die Temperatur zu beobachten.

Sämtliche Variablen des SVI sowie die lokalen Klimavariablen werden in standardisierter Form in Tabelle 40 zusammenfassend dargestellt.

Jahr	LSM <sub>z</sub>	Tour <sub>z</sub>	LWS <sub>z</sub>	MIG <sub>z</sub>	Anph <sub>z</sub>	GSD <sub>z</sub>	SVI <sub>z</sub>	Temp <sub>z</sub>	Precip <sub>z</sub>
2005	1,5011	1,1483	1,1251	-1,4285	2,1266	-0,9755	0,9247	0,3111	0,2111
2006	0,8915	1,5564	-0,3339	-1,0205	0,8546	-0,9015	0,4928	1,6799	0,1383
2007	0,4407	0,7955	-0,9054	-0,6125	-0,5529	-0,9291	0,0007	-0,2021	0,9013
2008	0,1472	-0,5818	-0,6377	-0,2045	-0,5743	-0,7056	-0,2928	-0,7153	-0,6706
2009	0,1434	-1,0431	-1,4889	0,2034	-0,1954	0,1488	-0,4196	-1,4681	1,3766
2010	-0,7911	-0,7117	0,7501	0,6128	-0,8736	0,9917	-0,2529	0,9442	0,2270
2011	-1,5956	-0,6694	1,2478	1,0208	-0,3637	1,3543	-0,3241	-0,6811	-1,9113
2012	-0,7372	-0,4943	0,2428	1,4288	-0,4212	1,0170	-0,1287	0,1315	-0,2725
Koeff.									
C <sub>i</sub>	0,348	0,217	0,174	0,13	0,087	0,043			

**Tabelle 40: Standardisierte Variablen und SVI**

#### 4.6 Korrelation von SVI und LCV

Nach Standardisierung aller Variablen wird die Verbindung zwischen dem SVI und den lokalen Klimavariablen vollzogen. Dazu werden sie miteinander korreliert. Die Korrelationsanalyse zwischen dem SVI und den lokalen Klimavariablen (LCV) Temperatur und Niederschlag stellt das Output des Modells der vorgeschlagenen SILVIO-Methodologie dar. Die Berechnung von SILVIO folgt der hier dargestellten Gleichung:

$$\text{SILVIO} = \text{Korrelation} [(SVI_z; \text{Precip}_z); (SVI_z; \text{Temp}_z)] \quad \text{Gleichung (22)}$$

Das Ergebnis dieser Berechnungen ist in Tabelle 41 zu sehen.

Mittelwert	0,2865	0,0378	0,0609	0,3978	1,6617	1,2383		20,9181	1,2563
Standard- abweich.	0,0339	0,0079	0,0020	0,0070	0,1541	0,3490		0,58447	0,1910
Standardisierte Variablen									
Jahr	LSM <sub>z</sub>	Tour <sub>z</sub>	LWS <sub>z</sub>	MIG <sub>z</sub>	Anph <sub>z</sub>	GSD <sub>z</sub>	SVI <sub>z</sub>	Temp <sub>z</sub>	Precip <sub>z</sub>
2005	1,5011	1,1483	1,1251	-1,4285	2,1266	-0,9755	0,9247	0,3111	0,2111
2006	0,8915	1,5564	-0,3339	-1,0205	0,8546	-0,9015	0,4928	1,6799	0,1383
2007	0,4407	0,7955	-0,9054	-0,6125	-0,5529	-0,9291	0,0007	-0,2021	0,9013
2008	0,1472	-0,5818	-0,6377	-0,2045	-0,5743	-0,7056	-0,2928	-0,7153	-0,6706
2009	0,1434	-1,0431	-1,4889	0,2034	-0,1954	0,1488	-0,4196	-1,4681	1,3766
2010	-0,7911	-0,7117	0,7501	0,6128	-0,8736	0,9917	-0,2529	0,9442	0,2270
2011	-1,5956	-0,6694	1,2478	1,0208	-0,3637	1,3543	-0,3241	-0,6811	-1,9113
2012	-0,7372	-0,4943	0,2428	1,4288	-0,4212	1,0170	-0,1287	0,1315	-0,2725
Koeff.→	0,348	0,217	0,174	0,13	0,087	0,043			
						<b>Korrelat.</b>	SVI	Temp	Precip
						SVI	1	0,580	0,146
						Temp		1	0,008
						Precip			1

**Tabelle 41: Korrelation zwischen standardisierten lokalen Klimavariablen (LCV) und SVI**

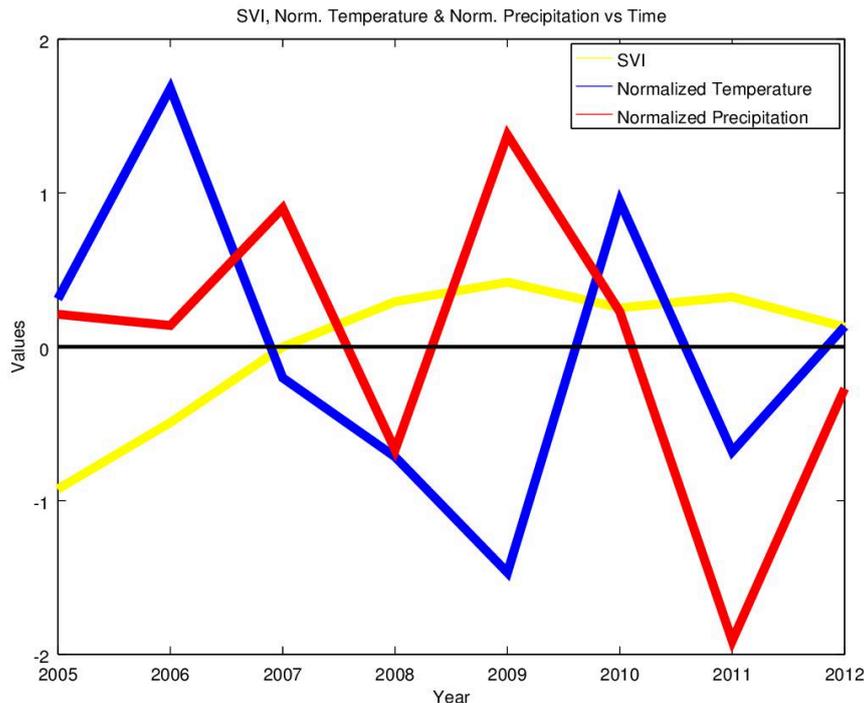
Die Korrelationsanalyse des SVI mit den lokalen klimatischen Variablen bildet die Grundstruktur der Methodik zur Analyse der sozialen Verwundbarkeit und damit von

SILVIO. Bei der Korrelationsanalyse der Datenpaare der klimatischen Variablen mit dem SVI (siehe Tabelle 41) wurde eine hohe Korrelation ( $r: 0,6$ ) zwischen der sozialen Verwundbarkeit und der Variable Temperatur festgestellt, neben einer grenzwertigen Korrelation ( $r: 0,15$ ) zwischen der Verwundbarkeit und der Variable Niederschlag. Gemäß dem mathematischen Output von SILVIO gibt es für die Untersuchungsregion keine Anzeichen für einen Zusammenhang zwischen der Temperatur und dem Niederschlag, da die Korrelation zwischen den Klimavariablen (Pearson-Korrelationskoeffizient) kleiner als 0,5 (Montgomery, D. 2002, S.401) ist: der ziemlich niedrige Wert von  $r = 0,01$  drückt aus, dass die Korrelation nicht sehr bedeutsam ist. Es ist jedoch wichtig, daran zu erinnern, dass es unmöglich ist, das Ergebnis der Modellrechnung als realen Zustand des Systems zu interpretieren, da die Werte der verwendeten Daten für einen größeren Maßstab erhoben wurden und nicht spezifisch für das begrenzte Untersuchungsgebiet sind sowie teils auf Schätzungen beruhen.

Der Pearson-Koeffizient ist unabhängig von der Bewertungsskala der Variablen und wurde daher als Indikator für das untersuchte Modell verwendet. Seine Berechnung erfolgte durch Division der Kovarianz durch das Produkt der Standardabweichungen der Variablen:

$$\rho = \frac{\partial xy}{\partial x \cdot \partial y} \quad \text{Gleichung (23)}$$

Für den hier dargestellten Fall gilt, dass, wenn  $\rho > 0$ , eine positive Korrelation ausgedrückt werden kann. Ein Wert von  $\rho = 0$  bedeutet keine Aussagen über die Korrelation. Die standardisierten Variablen in Tabelle 41 dienen als Grundlage für die grafische Darstellung des zeitlichen Verlaufs von SILVIO. Der Octave-Code für die Berechnung ist in Anhang 8 (MatLab Code für die Korrelation) zu finden. Das Ergebnis der Modellrechnung von SILVIO ist in Grafik 3 in Form von drei Kurven dargestellt: SVI, Temperatur und Niederschlag. Sie bieten eine klare Illustration des Verhaltens und der Tendenz der sozialen Verwundbarkeit einerseits und andererseits einer teilweisen Repräsentation des lokalen klimatischen Systems. Der SVI steigt hier von 2005 bis 2009 an. Die Kurve ist absichtlich gespiegelt worden um mehr Klarheit bei der Darstellung zu bekommen. Ein Ansteigen des SVI bedeutet daher eine Zunahme der Verwundbarkeit, eine Abnahme wird durch eine fallende Kurve des SVI verdeutlicht.



Grafik 3: SILVIO: Vergleichende Darstellung von  $SVI_{2012}$  mit den Variablen Temperatur und Niederschlag

In der Absicht, die Interpretation des Outputs von SILVIO näher zu erläutern, wird hier der Zeitraum zwischen den Jahren 2008 und 2011 verwendet. In diesen Jahren sind extreme Schwankungen sowohl der Temperatur als auch des Niederschlags zu beobachten, die sowohl sintflutartige Regenfälle als auch Dürreperioden hervorgerufen haben dürften. Die Differenz zwischen den Extremwerten beider Variablen beträgt dabei etwas mehr als  $2 \cdot \delta$ , ( $\delta$  bedeutet Standardabweichung).

Im Jahr 2009 wurden solche extremen Temperatur- und Niederschlagswerte beobachtet: es war ein außerordentlich kaltes und regnerisches Jahr, was den maximalen Wert des SVI in diesem Jahr nahelegt und den Grundstein für die absehbaren Konsequenzen in der Zeit danach legt. Im darauffolgenden Jahr 2010 entwickelt und präsentiert Peru den "Aktionsplan zur Anpassung und Minderung des Klimawandels" (Minam 2010). Es ist ein Bericht, der die Anpassung an den Klimawandel als einen von vier Themenbereichen behandelt und der anerkennt, dass die Verwundbarkeit des Landes gegenüber diesem Umweltphänomen eine wichtige Grundlage für diesen Prozess ist. In demselben Bericht werden insgesamt 21

Projekte vorgeschlagen, 7 davon bereits in der Umsetzung, die zum Ziel haben, Strategien für die Minderung der Verwundbarkeit gegenüber dem Klimawandel, u.a. für die Region Huaraz (lokaler Klimawandel), zu entwickeln.

Die klimatischen Bedingungen im Jahr 2010 waren recht günstig, mit mäßigen Niederschlägen und überdurchschnittlichen, aber nicht extremen Temperaturen. Dies spiegelt auch der leichte Rückgang des SVI im betreffenden Jahr wieder. Im Jahr 2011 wurden wieder Extremwerte der klimatischen Variablen erreicht, insbesondere mit großer Dürre (Minimalwert des Niederschlags im gesamten untersuchten Zeitraum), was das erneute Ansteigen des SVI verursacht haben könnte.

Im Allgemeinen und mit Bezug auf SILVIO, muss wiederholt betont werden, dass die in dieser Arbeit verwendete Datenbasis sehr gering war: die Anzahl der betrachteten Jahre ist gering, die Stichprobe der Experten ist begrenzt und die relevanten Variablen des Systems sind mit hoher Wahrscheinlichkeit zahlreicher, als die im Modell betrachteten. Ungeachtet dessen ist die Grundidee dieser Arbeit, die Dynamik eines Modells aufzuzeigen, das nicht zu den traditionellen Modellen gehört: es stützt sich auf Fuzzy Logik, um mit Unsicherheit umzugehen und um Meinungen und Variablen andersartiger Natur, die aber repräsentativ für lokales Wissen sind, d.h. von Bedeutung für die Bewohner des untersuchten Gebiets, in die Analyse einzubeziehen. Diese Grundidee und die Anerkennung der ohne Zweifel bestehenden Zusammenhänge zwischen sozialer Verwundbarkeit und dem Klimawandel in Peru rechtfertigen und bekräftigen in überzeugender Weise die Relevanz des Indikators SVI und die Nützlichkeit der SILVIO-Methodologie für die Untersuchung sozialer Verwundbarkeit gegenüber dem lokalen Klimawandel. Die Untersuchung und Analyse der sozialen Verwundbarkeit hat mit SILVIO ein Werkzeug erhalten, das die Aufgabe erleichtert und eine schnelle Analyse des Zustands erlaubt.

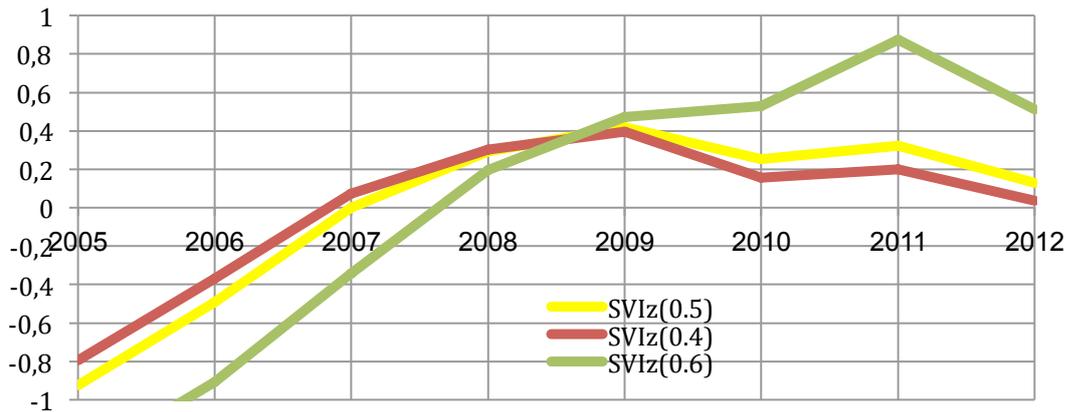
## 4.7 Vergleichende Analyse

### 4.7.1. SVI FÜR VERSCHIEDENE KONFIDENZNIVEAUS

In der zuvor dargestellten Berechnung der Koeffizienten  $C_i$  wurde das Konfidenzniveau  $\alpha = 0,5$  ausgewählt. Zur vergleichenden Betrachtung werden hier die Konfidenzniveaus  $\alpha = 0,4$  und  $\alpha = 0,6$  dargestellt. Die Berechnung erfolgt analog zu Abschnitt 4.3. Die Ergebnisse der Berechnung des SVI dieser beiden  $\alpha$ -Level sowie deren grafische Darstellung sind in Tabelle 42 bzw. Grafik 4 zu sehen.

Jahr	SVI <sub>(<math>\alpha:0,5</math>)</sub> (rot)	SVI <sub>(<math>\alpha:0,4</math>)</sub> (gelb)	SVI <sub>(<math>\alpha:0,6</math>)</sub> (grün)
2005	-0,9247	-0,7942	-1,3334
2006	-0,4928	-0,3685	-0,9079
2007	-0,0007	0,0738	-0,3436
2008	0,2928	0,3015	0,1975
2009	0,4196	0,3940	0,4719
2010	0,2529	0,1568	0,5300
2011	0,3241	0,1999	0,8736
2012	0,1287	0,0364	0,5117

**Tabelle 42: Ergebnis der Berechnung des SVI<sub>2012</sub> für verschiedene Konfidenzniveaus**

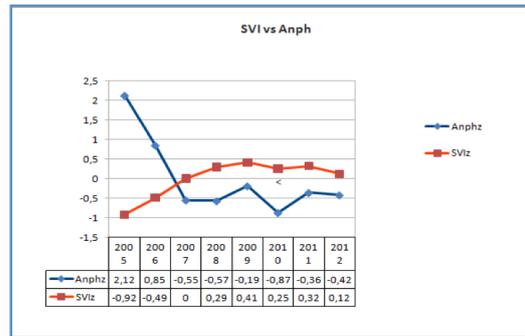
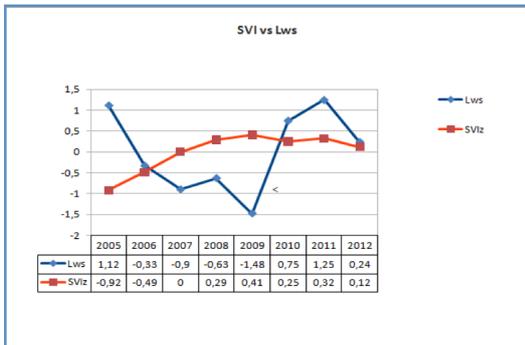
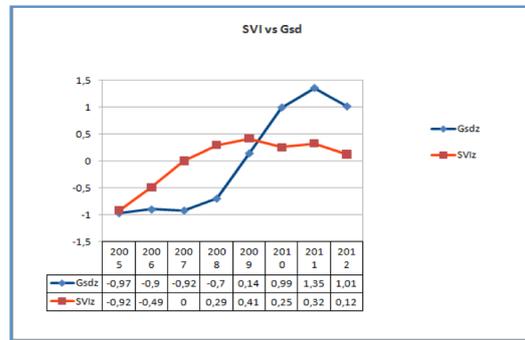
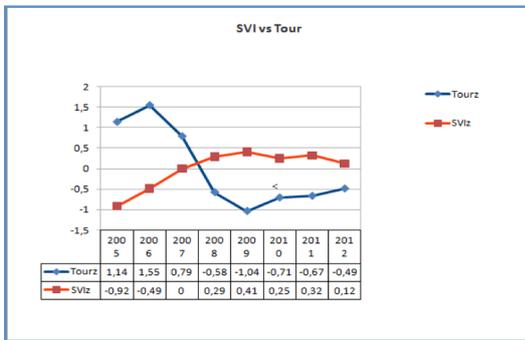
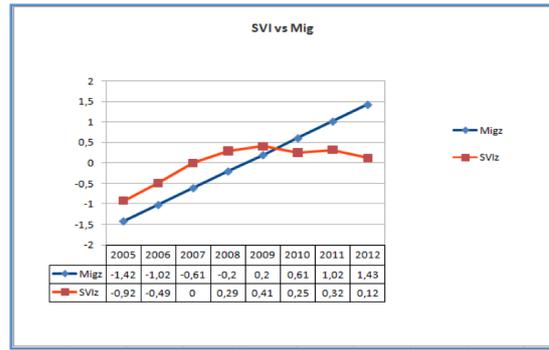
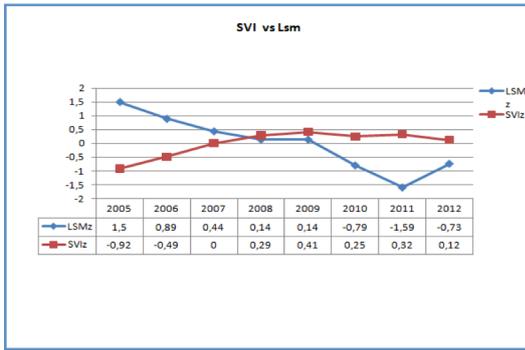


Grafik 4: Vergleichende Darstellung des SVI<sub>2012</sub> für verschiedene Konfidenzniveaus ( $\alpha$ -Level)

Wie bereits in Kapitel 4.2 (Tabelle 9: Experton) beschrieben, ist das  $\alpha$ -Level = 0,5 das Konfidenzniveau, bei dem alle Variablen, die von den Experten als wichtig eingeschätzt wurden, repräsentiert sind. Bei Verwendung eines  $\alpha$ -Level = 0,6 erhält man eine Kurve mit markanterem Verlauf und mit deutlicher definierten Umkehrpunkten. Das Konfidenzniveau ist in diesem Fall höher, aber es umfasst nicht alle der als wichtig bewerteten Variablen des Systems (siehe Tabelle 9). Das  $\alpha$ -Level = 0,4 beinhaltet alle System relevanten Variablen und erzeugt eine sehr ähnliche Kurve wie bei  $\alpha = 0,5$ , aber das Konfidenzniveau ist niedriger. Vertrauenswürdigkeit und Unsicherheit sind zueinander umgekehrt proportional.

#### 4.7.2. VERGLEICH ZWISCHEN SVI ( $\alpha$ : 0,5) UND JEDER EINZELNEN DER VARIABLEN

Die Untersuchung des Verhältnisses zwischen dem SVI und jeder einzelnen der Variablen, aus denen er sich zusammengesetzt, erscheint ebenfalls ein interessanter Vergleich. Die entsprechenden Diagramme für  $\alpha = 0,5$  sind in der folgenden Grafik 5 dargestellt. Es ist in diesem Fall jedoch nicht sinnvoll, eine Hintergrundanalyse der Korrelation des SVI mit jeder einzelnen Variablen durchzuführen. Wie bereits in Kapitel 2 erwähnt, wurde ein Teil der Daten zum Zweck der Anwendung der Methodik geschätzt und bearbeitet. Sie eignen sich daher nicht für die Analyse spezifischer Details. Zusätzlich ist durch die Konstruktion des Indexes bereits vorbestimmt, dass die Variablen mit der höchsten Gewichtung auch eine höhere Korrelation mit dem SVI aufweisen.



Grafik 5: Vergleichende Darstellung des SVI<sub>2012</sub> mit jeder einzelnen Variable

Aus Grafik 5 kann man beispielsweise herauslesen, dass es eine hohe Wechselbeziehung zwischen dem SVI und der Variable Migration gibt. Ebenso kann die Beziehung zwischen dem SVI und der Variable Bergbau in der Grafik so interpretiert werden, dass die Abnahme des Bergbaus mit einem Rückgang des SVI einhergeht. Dies sind jedoch nur Beispiele, wie die Analyse zwischen Verwundbarkeit (SVI) und jeder Variablen erfolgen könnte und wie leicht verständlich und anwendbar diese ist.

#### **4.7.3 GÜLTIGKEIT DES MODELLS**

Im Jahr 2017 wurde zur zusätzlichen Validierung des Modells eine Umfrage unter deutschen Experten durchgeführt, die die Region Huaraz kennen und mehrheitlich in der Entwicklungszusammenarbeit tätig sind. Dafür wurde derselbe vorher für die Befragung der lokalen Experten benutzte Fragebogen verwendet (siehe Anhang 2, Befragung 2. Maßgebliche Variablen in der Region). Die Daten aus diesem Interviewprozess sind in Tabelle 43 analog zur Matrix  $|M|_1$  (siehe Tabelle 5) abgebildet. Mit den durch diese neue Expertengruppe vorgenommenen Gewichtungen wurde ein neues Experten erstellt (siehe Tabelle 44). Die Originaldaten der Experten sind in Anhang 9 (Befragung deutscher Experten zur Region) zu finden.

Experten	ANPH	LSM	MIG	GSD	LWS	TOUR
Experte 1	1	0,7	0,8	1	0,7	0,4
Experte 2	0,9	0,7	0,7	0,8	0,5	0,5
Experte 3	0,5	0,7	0,1	0,8	0,5	0,3
Experte 4	1	0,3	0,7	0,7	0,6	0,3
Experte 5	0,5	1	0,8	0,6	1	0,5
Experte 6	1	0,5	0,5	1	0,4	0,3
Experte 7	1	0,6	0,8	0,9	0,3	0,2
Experte 8	1	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5
Experte 9	1	0,4	0,6	0,9	0,5	0,1
Experte 10	0,9	0,3	0,5	0,8	0,5	0,2

**Tabelle 43: Bewertungen der Variablen des SVI durch deutsche Experten 2017**

Die von den deutschen Experten erhaltenen Bewertungen wurden nach Häufigkeiten pro Variable aggregiert, wodurch die Frequenzstatistik ermittelt wurde (analog zu Matrix  $|M|_2$  – siehe Tabelle 6) und anschließend mittels Division durch die Anzahl der Experten normalisiert (siehe analog Matrix  $|M|_3$  in Tabelle 7). Die Darstellungsform der Expertene in jedem der Matrixzustände  $|M|_2$  und  $|M|_3$  wurden in Kapitel 3 zur Darstellung der Methodik definiert.

Die Simulation der Codestrukturen mit der Software OCTAVE für die Berechnung der normalisierten Werte der Matrix  $|M|_3$  (siehe Anhang 11, Gewichtung der Variablen durch die deutschen Experten) erfolgte nachdem das Konfidenzniveau ( $\alpha$ ) und die Koeffizienten  $C_i$  aus der SVI-Gleichung (Gleichung 1) definiert wurden. Die normalisierten Werte für  $\alpha = 0,5$  sind als Zusammenfassung in Tabelle 44 abgebildet.

<b>α</b>	<b>ANPH</b>	<b>LSM</b>	<b>MIG</b>	<b>GSD</b>	<b>LWS</b>	<b>TOUR</b>	
0	1	1	1	1	1	1	
0,1	1	1	1	1	1	1	
0,2	1	1	0,9	1	1	0,9	
0,3	1	1	0,9	1	1	0,7	
0,4	1	0,8	0,9	1	0,9	0,4	
<b>0,5</b>	<b>1</b>	<b>0,7</b>	<b>0,9</b>	<b>1</b>	<b>0,8</b>	<b>0,3</b>	<b>SumC<sub>i</sub>= 4,7</b>
0,6	0,8	0,6	0,7	1	0,3	0	
0,7	0,8	0,5	0,6	0,9	0,2	0	
0,8	0,8	0,1	0,3	0,7	0,1	0	
0,9	0,8	0,1	0	0,4	0,1	0	
1	0,6	0,1	0	0,2	0,1	0	
<b>α</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	<b>C<sub>5</sub></b>	<b>C<sub>3</sub></b>	<b>C<sub>2</sub></b>	<b>C<sub>4</sub></b>	<b>C<sub>6</sub></b>	
0,5	0,212	0,148	0,191	0,212	0,17	0,063	

**Tabelle 44: Experten der Bewertung durch deutsche Experten 2017 und normalisierte Koeffizienten C<sub>i</sub> für das Konfidenzniveau α = 0,5**

Es ist zu beobachten, dass das Experten für die Gruppe der nachträglich befragten Experten im Vergleich mit dem ersten Experten sehr unterschiedlich ausgeprägt ist. Die Hierarchisierung der Variablen wurde deutlich abweichend vorgenommen. Wie bereits mehrfach hervorgehoben, ist das Experten allgemein abhängig von der Gruppe, die es erstellt bzw. zur Bewertung seiner Variablen herangezogen wird.

Die Koeffizienten für C<sub>i</sub> aus der zweiten Befragung von 2017 zur Berechnung des SVI<sub>2017</sub> werden durch die folgende Formel ausgedrückt:

$$SVI_{2017}(\alpha_{0,5}) = 0,212 \cdot ANPH + 0,212 \cdot GSD + 0,191 \cdot MIG + 0,17 \cdot LWS + 0,148 \cdot LSM + 0,063 \cdot Tour$$

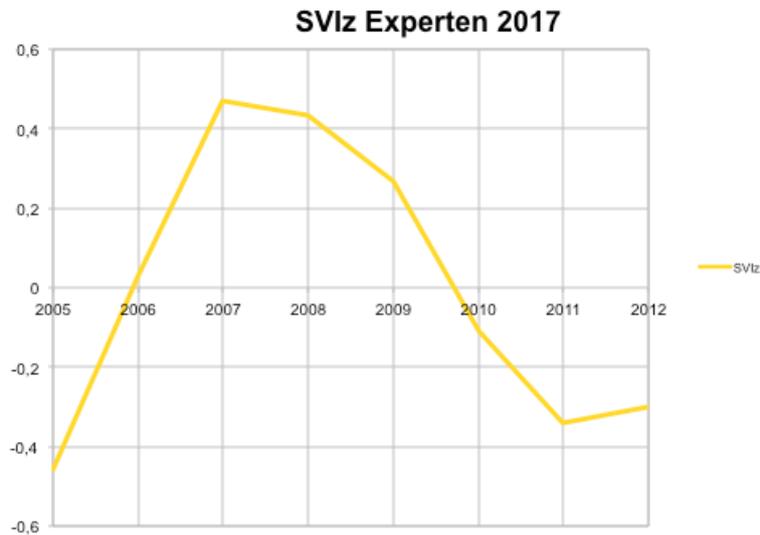
Gleichung (24)

Die deutschen Experten ordneten die untersuchten Variablen in folgender Reihenfolge mit absteigender Priorität: an erster Stelle Analphabetismus und Gesundheit mit gleichem Gewicht, gefolgt von Migration, Landwirtschaft, Bergbau und Tourismus. Die Datenbasis für die Berechnung des SVI<sub>2017</sub> der deutschen Expertengruppe ist in Tabelle 45 standardisiert und zusammengefasst.

Standardisierte Variablen									
Jahr	LSM <sub>z</sub>	Tour <sub>z</sub>	LWS <sub>z</sub>	MIG <sub>z</sub>	Anph <sub>z</sub>	GSD <sub>z</sub>	SVI <sub>z</sub>	Temp <sub>z</sub>	Precip <sub>z</sub>
2005	1,5011	1,1483	1,1251	-1,4285	2,1266	-0,9755	-0,4569	0,3111	0,2111
2006	0,8915	1,5564	-0,3339	-1,0205	0,8546	-0,9015	0,0316	1,6799	0,1383
2007	0,4407	0,7955	-0,9054	-0,6125	-0,5529	-0,9291	0,4697	-0,2021	0,9013
2008	0,1472	-0,5818	-0,6377	-0,2045	-0,5743	-0,7056	0,4337	-0,7153	-0,6706
2009	0,1434	-1,0431	-1,4889	0,2034	-0,1954	0,1488	0,2686	-1,4681	1,3766
2010	- 0,7911	-0,7117	0,7501	0,6128	-0,8736	0,9917	-0,1076	0,9442	0,2270
2011	- 1,5956	-0,6694	1,2478	1,0208	-0,3637	1,3543	-0,3388	-0,6811	-1,9113
2012	- 0,7372	-0,4943	0,2428	1,4288	-0,4212	1,0170	-0,3002	0,13152	-0,2725
Koeff.→	0,148	0,063	0,17	0,191	0,212	0,212			

**Tabelle 45: Zusammenfassung aller typisierten Variablen und SVI<sub>2017</sub> für die Bewertung durch deutsche Experten 2017**

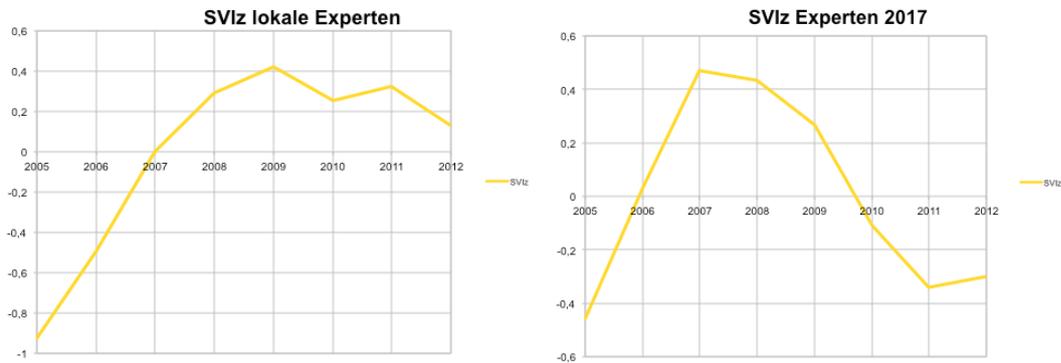
In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass die vergleichende Analyse des SVI<sub>2017</sub> auf einem im Jahr 2017 neu erstellten Experten basiert, die ins Modell eingeflossenen sozialen Daten jedoch dieselben sind, wie beim SVI<sub>2012</sub>, d.h. Daten für den Zeitraum von 2005 bis 2012. Für den hier beabsichtigten Vergleich spielt dies keine Rolle, sondern verdeutlicht im Gegenteil umso mehr die signifikante Bedeutung der Expertenmeinungen innerhalb des Modells. Die grafische Darstellung des SVI<sub>2017</sub> ist in Grafik 6 zu sehen.



Grafik 6: Zeitliche Entwicklung des  $SVI_z$  aus der Expertenbefragung 2017

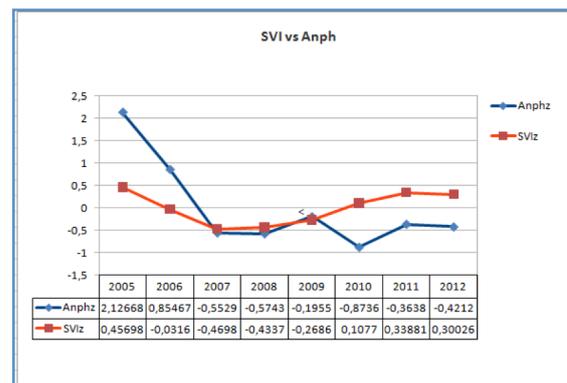
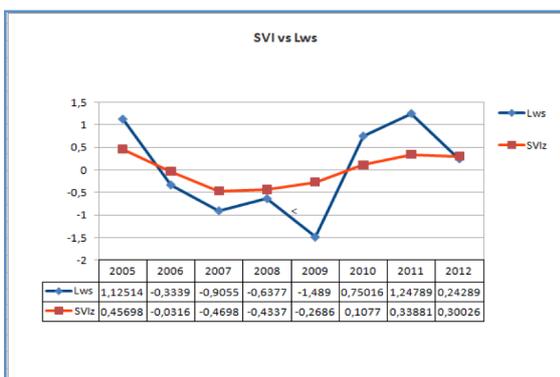
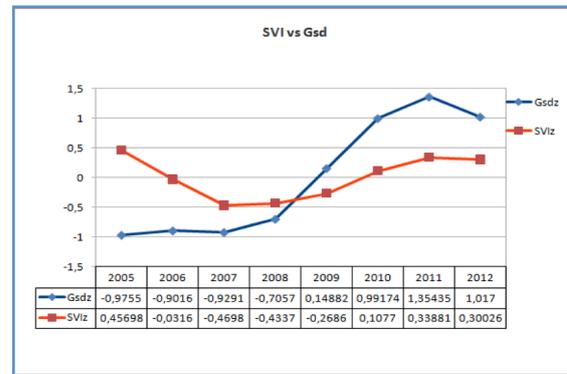
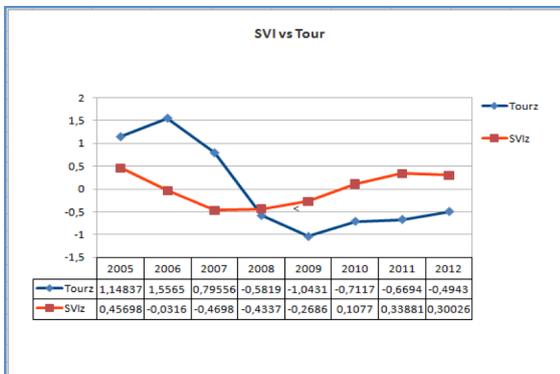
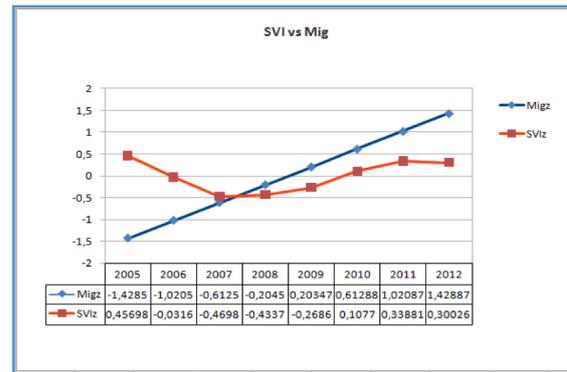
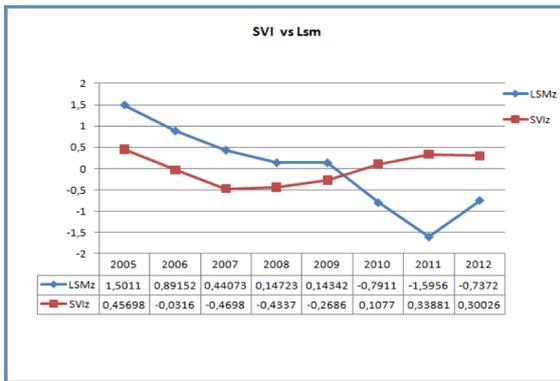
#### 4.7.4 VERGLEICH ZWISCHEN DEN EXPERTENGRUPPEN

In Grafik 7 sind die Diagramme für den  $SVI_{2012}$  und  $SVI_{2017}$  im Vergleich dargestellt. In beiden Fällen steigen die Trends in den ersten Jahren stark an, wobei der Anstieg gemäß der Bewertungen der lokalen Experten von 2005 bis 2009 etwas moderater und recht konstant verläuft, während das Wachstum unter Berücksichtigung der Einschätzung der deutschen Experten zwischen 2005 und 2007 sprunghaft und deutlich stärker zunimmt. Im Beispiel der lokalen Experten hat die soziale Verwundbarkeit seit 2009 wieder allmählich abgenommen. Im Unterschied dazu ist die Vulnerabilität im Fall der Modellierung der deutschen Experten bereits von 2007 an bis 2011 stark zurückgegangen, während anschließend eine Trendumkehr erfolgt.



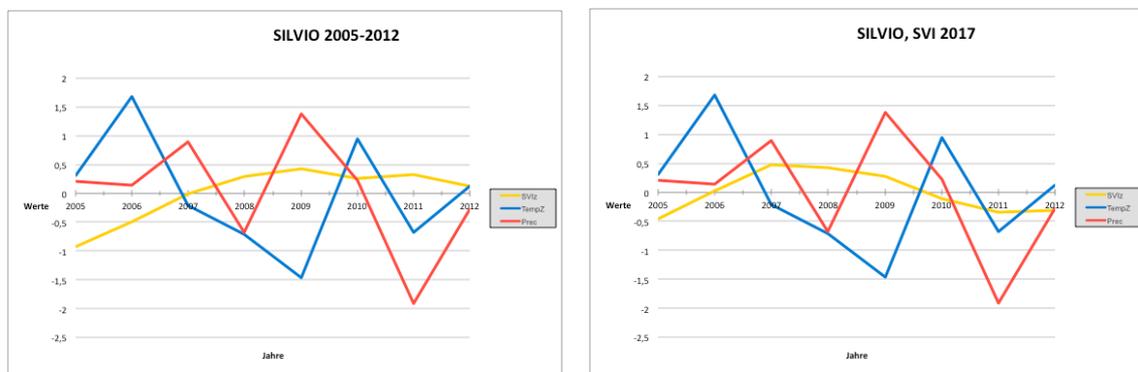
Grafik 7: Vergleich des zeitlichen Verlaufs zwischen SVI<sub>2012</sub> und SVI<sub>2017</sub>

Analog zum SVI<sub>2012</sub> wird auch der SVI<sub>2017</sub> im Vergleich zum zeitlichen Verlauf jeder einzelnen der Variablen dargestellt, aus denen er zusammengesetzt ist (siehe Grafik 8). Diese Art der Analyse ist von Bedeutung, da sie eine schnelle Erfassung der Beziehung der Variablen, die von den Experten als bedeutsam eingestuft wurden, mit dem Konzept der Verwundbarkeit in der Region ermöglicht. Hierbei ist nochmals darauf hinzuweisen, dass die Darstellung des SVI die unterschiedlichen Standpunkte der Experten und damit die Subjektivität der Einschätzung widerspiegelt. Die Hierarchisierung der Variablen und die Kriterien zu ihrer Priorisierung variieren zwischen den beiden Gruppen, was folglich zu unterschiedlichen Ergebnissen im Entscheidungsprozess führt.



Grafik 8: Vergleichende Darstellung des SVI<sub>2017</sub> mit jeder einzelnen Variable

Die SILVIO-Methodologie wurde auf beide SVI für 2012 und 2017 angewendet und in beiden Fällen wurde eine grafische Darstellung der Indizes mit den lokalen Klimavariablen (LCV) erstellt (Grafik 9). Bemerkenswert ist, dass das Ergebnis oder besser gesagt das Verhalten des Modells unter den gleichen Bedingungen und unter Verwendung derselben Daten völlig unterschiedlich ist. Für dasselbe Klimaszenario scheint die Einschätzung der deutschen Experten stärker von den klimatischen Variablen (LCV) beeinflusst zu sein, d.h. die Kurvenverläufe sind ähnlicher als im Fall der lokalen Experten. Die Beziehungen zwischen SVI und Verwundbarkeit, ebenso wie die resultierenden Trends, sind interpretative Schätzungen und erlauben die Beobachtung von Veränderungen im Verhalten des Modells.



**Grafik 9: Vergleichende Darstellung von SILVIO für SVI<sub>2012</sub> und SVI<sub>2017</sub> mit den Variablen Temperatur und Niederschlag**

Allgemein gesprochen verändert sich die Verwundbarkeit bemerkbar angesichts eines Abfalls des Niederschlags. Dies könnte auf eine Beeinträchtigung der Landwirtschaft zurückzuführen sein, in der Annahme, dass eine Abnahme der Niederschläge geringere Ernten hervorbringt. Aus der Grafik 9 nicht direkt ablesbar, aber durch die Bewertungen der Experten im Experten (Tabelle 44) ausgedrückt und in Grafik 8 angedeutet, könnte man für den SVI<sub>2017</sub> auch einen Zusammenhang zwischen Niederschlag und Gesundheit ableiten. Trotz der mehrfach erwähnten Mängel in der Datenqualität, lassen sich mit der SILVIO-Methodologie Zusammenhänge und Tendenzen für das gewählte Fallbeispiel identifizieren und analysieren und dies in einer relativ einfachen Art und Weise. Darin liegt ein großer

Vorteil der Methodik. Eine ausführliche abschließende Bewertung erfolgt im nachfolgenden Kapitel 5.

## 4.8 Zusammenfassung Kapitel 4

Nachdem in Kapitel 3 die Methodik ausführlich vorgestellt und erklärt wurde, beschreibt das vorliegende Kapitel die Vorgehensweise bei der Anwendung der SILVIO-Methodologie am Beispiel des Forschungsgebiets und analysiert die Ergebnisse. Dies entspricht den eingangs vorgestellten Forschungsphasen 3 und 4 (siehe Kapitel 1.3).

Auf Basis des Recherche- und Informationssuchprozesses wurden mögliche Variablen für soziale Verwundbarkeit identifiziert und für eine erste Erhebung unter Forschungsgruppen und Personen, die mit der weiteren Forschungsregion vertraut sind, verwendet. Aus dieser Erhebung und vorhandenen Quellen konnten die Variablen extrahiert werden, die als Basis für die SILVIO-Methodologie dienen. Die resultierenden Variablen wurden in einer zweiten Befragung von 10 ausgewählten lokalen Experten nach Wichtigkeit bewertet (siehe Anhang 2). Die Bewertungen der Variablen (Landwirtschaft, Bergbau, Tourismus, Migration, Gesundheit, Analphabetismus) durch die lokalen Experten wurden anschließend mit Hilfe des mathematischen Verfahrens der Bildung eines *Expertons* verarbeitet und gewichtet. Dabei spielen die Normalisierung der Daten und die Auswahl des für die Modellierung verwendeten Konfidenzniveaus eine bedeutende Rolle (siehe Unterkapitel 4.3). Sie dienen dazu, die Gewichtungskoeffizienten jeder einzelnen Variable zu berechnen. Das Ergebnis dieser Schritte führte zur Formulierung der Gleichung (1) für die Berechnung des Indikators Sozialer Verwundbarkeit (SVI) (siehe Unterkapitel 4.4). Der SVI etabliert durch seinen Aufbau eine proportionale Beziehung zu jeder seiner Variablen, d.h. er beinhaltet den Beitrag jeder Variablen gemäß ihrer jeweiligen Gewichtung, und stellt gleichzeitig ein additives Verhältnis zwischen diesen Variablen her.

Die zur Berechnung des SVI verwendeten Daten des Nationalen Statistischen Instituts von Peru INEI lagen in der Regel nur für die Departementsebene (Ancash) vor und nicht spezifisch für das Untersuchungsgebiet oder dieses umfassende kleinere administrative Gebietseinheiten. Dies ist wichtig anzumerken, da die hier

durchgeführte Berechnung des SVI mit diesen Daten folglich nicht spezifisch für das untersuchte Gebiet sein kann, sondern auf großmaßstäblichen Durchschnittswerten beruht. Um weitere Einflüsse von außen wie z.B. nationale oder weltwirtschaftliche Entwicklungen möglichst auszuschließen, wurden die regionalen Daten für Ancash für jede einzelne Variable in Relation zu den nationalen Daten gesetzt. Außerdem waren nicht alle Daten vollständig für die betrachteten Jahre vorhanden (beispielsweise für die Variable Migration) und daher mussten Verfahren der statistischen Annäherung angewandt werden, um möglichst repräsentative Näherungswerte für die Berechnung des SVI zu erhalten.

Nachdem damit ein Modell der sozial-ökologischen Dynamik im Forschungsgebiet Quebrada Shallap vorstrukturiert war, wurden die Daten mit Hilfe mathematischer Routinen (Programmiercodes) und Rechenprozesse gemäß der in Kapitel 3 beschriebenen Schritten verarbeitet. Dies erfolgte mit Hilfe der Software OCTAVE, die vielfältige Vorteile für auf Matrizen gestützte Berechnungen bietet. Eine graphische Darstellung des SVI findet sich in Grafik 1.

Im nächsten Schritt kamen die Daten für die ausgewählten klimatischen Variablen (LCV) hinzu, die (siehe Unterkapitel 4.5) ebenfalls mit OCTAVE bearbeitet wurden. Auch diese Daten sind nicht spezifisch für das geographische Untersuchungsgebiet sondern beziehen sich auf das gesamte Departement Ancash. Es wurden die durchschnittliche Jahreshöchsttemperatur und der Jahresniederschlag gewählt, wobei die Werte im Fall des Niederschlags durch Bildung eines Verhältnisses zu den Daten zweier anderer Departements in den nördlichen peruanischen Anden korrigiert wurden. Die resultierenden Kurvenverläufe für die beiden betrachteten klimatischen Variablen sind in Grafik 2 dargestellt.

Die Kombination und Korrelation des SVI mit den klimatischen Variablen (LCV) war schließlich der Endpunkt und das Ziel der Anwendung der SILVIO-Methodologie. Dabei mussten für die Entwicklung von SILVIO bestimmte Annahmen getroffen werden, die die Komplexität der Fragestellung auf einen handhabbaren Umfang reduzieren (siehe Unterkapitel 4.1). Die Analyse der Ergebnisse von SILVIO erfolgte durch die Interpretation des Verlaufs der Grafiken des Indikators Sozialer Verwundbarkeit SVI und der lokalen klimatischen Variablen, LCV (Kapitel 4.5). Hierbei ging es vor allem um das Sichtbarmachen und den Vergleich von Tendenzen und nicht um die Interpretation absoluter Werte. Die am Ende durchgeführte Korrelation von SVI und LCV folgt der hier dargestellten Gleichung:

SILVIO = Korrelation [(SVI<sub>z</sub>; Precip<sub>z</sub>); (SVI<sub>z</sub>; Temp<sub>z</sub>)] Gleichung (22)

(Precip<sub>z</sub> = standard. Niederschlagswerte; Temp<sub>z</sub> = standard. Temperaturwerte)

In Tabelle 41 ist eine Übersicht aller standardisierten Variablen und der berechneten Korrelation zu finden. Letztere ergab, dass insbesondere die Variable Temperatur gut mit dem SVI korreliert (r: 0,6), während das für die Variable Niederschlag nur marginal der Fall ist (r: 0,15). Hier kommen erneut die bereits beschriebenen Probleme der Datenqualität zum Ausdruck. Es ist nicht möglich, das Ergebnis der Modellrechnung als realen Zustand des Systems zu interpretieren, da die Werte der verwendeten Daten für einen größeren Maßstab erhoben wurden und nicht spezifisch für das begrenzte Untersuchungsgebiet sind sowie zudem teils auf Schätzungen beruhen. Die vorgenommene Analyse ist nicht numerisch präziser Natur, sondern modellhaft. Das Ergebnis der Modellrechnung von SILVIO ist in Grafik 3 in Form von drei Kurven dargestellt: SVI, Temperatur und Niederschlag. Sie bieten eine klare Illustration des Verhaltens und der Tendenz der sozialen Verwundbarkeit einerseits und andererseits einer teilweisen Repräsentation des lokalen klimatischen Systems. Ein Ansteigen des SVI bedeutet daher eine Zunahme der Verwundbarkeit, eine Abnahme wird durch eine fallende Kurve des SVI verdeutlicht. Dadurch ermöglicht SILVIO eine schnelle und einfachere Deutung, ohne dass dafür technische Vorkenntnisse notwendig sind. Darin liegt einer der Vorteile der SILVIO-Methodologie.

Zur Validierung des Verfahrens wurden abschließend einige vergleichende Analysen vorgenommen (siehe Kapitel 4.6): ein Vergleich für unterschiedliche Konfidenzniveaus, Vergleiche des SVI mit jeder einzelnen sozialen Variable und eine vergleichende Berechnung von SVI und SILVIO unter Verwendung einer unterschiedlichen Expertengruppe. Dabei verdient der zuletzt genannte Vergleich besondere Beachtung. Im Jahr 2017 wurde ein neues *Experton* auf Basis der Bewertungen einer neuen Expertengruppe berechnet und somit ein neuer Indikator SVI erstellt. In diesem Fall wurden nicht lokale Experten befragt sondern Personen, die für die deutsche Entwicklungszusammenarbeit in Peru arbeiten und die sich von Berufswegen auch mit dem Thema soziale Verwundbarkeit auseinandersetzen. Die vergleichende Analyse der Ergebnisse aus der Korrelation beider berechneter SVI (für 2012 und für 2017) mit den lokalen klimatischen Variablen (LCV) bildet den Abschluss des Kapitels und verdeutlicht gleichzeitig die Gültigkeit des Modells für unterschiedliche Kontexte und Anwendungen. Bemerkenswert ist dabei, dass das

Ergebnis oder besser gesagt das Verhalten des Modells unter den gleichen Bedingungen und unter Verwendung derselben Daten völlig unterschiedlich ist. Die Gewichtung der Variablen des SVI durch die lokalen Experten von 2012 ist fast spiegelbildlich umgekehrt im Vergleich zur Einschätzung der 2017 befragten deutschen Experten. Für dasselbe Klimaszenario scheint die Einschätzung der deutschen Experten stärker von den klimatischen Variablen (LCV) beeinflusst zu sein, d.h. die Kurvenverläufe sind ähnlicher als im Fall der lokalen Bewohner.

Im Allgemeinen und mit Bezug auf SILVIO, muss wiederholt betont werden, dass die in dieser Arbeit verwendete Datenbasis sehr gering war: die Anzahl der betrachteten Jahre ist gering, die Stichprobe der Experten ist begrenzt und die relevanten Variablen des Systems sind mit hoher Wahrscheinlichkeit zahlreicher, als die im Modell betrachteten. Ungeachtet dessen ist die Grundidee dieser Arbeit, die Dynamik eines Modells aufzuzeigen, das nicht zu den traditionellen Modellen gehört: es stützt sich auf Fuzzy Logik, um mit Unsicherheit umzugehen und um Meinungen und Variablen andersartiger Natur, die aber repräsentativ für lokales Wissen sind, d.h. von Bedeutung für die Bewohner des untersuchten Gebiets, in die Analyse einzubeziehen. Diese Grundidee und die Anerkennung der ohne Zweifel bestehenden Zusammenhänge zwischen sozialer Verwundbarkeit und dem Klimawandel in Peru rechtfertigen und bekräftigen in überzeugender Weise die Relevanz des Indikators SVI und die Nützlichkeit der SILVIO-Methodologie für die Untersuchung sozialer Verwundbarkeit gegenüber dem lokalen Klimawandel. Trotz der mehrfach erwähnten Mängel in der Datenqualität, lassen sich mit der SILVIO-Methodologie Zusammenhänge und Tendenzen für das gewählte Fallbeispiel identifizieren und analysieren und dies in einer relativ einfachen Art und Weise. Die Untersuchung und Analyse der sozialen Verwundbarkeit hat mit SILVIO ein Werkzeug erhalten, das die Aufgabe erleichtert und eine schnelle Analyse des Zustands erlaubt.

## 5. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUGEN

In dieser Arbeit wird die Entwicklung einer Methodologie zur Modellierung und Simulation des Konzepts der Verwundbarkeit unter Berücksichtigung lokaler klimatischer Bedingungen vorgestellt. Als Fallbeispiel wird eine Gesellschaft in unmittelbarer Umgebung eines Gletschergebiets, die Quebrada Shallap in Huaraz-Peru, betrachtet. Dabei wird ein Computer basiertes Modell präsentiert, das erstmals sozialökologische Aspekte, die Verwundbarkeit der Bevölkerung und die lokale Klimaveränderung in einem System zusammenfasst. Die Zielsetzung dieser Arbeit liegt an der Schnittstelle zwischen der Humangeographie und der Systemwissenschaft, die mit Instrumenten wie Modellierung und Prozessautomatisierung Beiträge zur Analyse, zum Verständnis und zur Handhabung komplexer Zusammenhänge liefert. Zentrales Anliegen ist dabei die Anwendung des Konzepts der Verwundbarkeit unter sozialökologischer Perspektive auf den Forschungsgegenstand, die Bevölkerung in unmittelbarer Umgebung von Gletschergebieten.

Begonnen wurde mit einer Annäherung an die Untersuchungsregion über eine Literaturrecherche und Gespräche mit anderen Wissenschaftlern. Es folgte ein Forschungsaufenthalt in Peru, der zur Sekundärdatenerhebung und für eine Vielzahl von Befragungen genutzt wurde. Dabei bestimmten sowohl die Verfügbarkeit von Daten als auch die Einschätzungen der befragten Experten die letztlich für die Modellierung ausgewählten Variablen. Unter Verwendung mathematischer und statistischer Verfahren wurde so eine Methodologie entwickelt, die sich aus einem komplexen Index Sozialer Verwundbarkeit (SVI) und zwei ausgewählten klimatischen Variablen (LCV) zusammensetzt.

Zum einen verfolgt diese Arbeit den Anspruch einer möglichst holistischen Betrachtung des sozial-ökologischen Systems in der Untersuchungsregion. Andererseits ist die Repräsentation der Wahrnehmung und Bewertung aus der lokalen Perspektive das eigentliche charakteristische Element der vorgestellten Methodologie. Dazu werden Instrumente der Fuzzy Logik (Expertone) verwendet, um linguistische Bewertungen in mathematisch verwertbare numerische Werte zu transformieren. Diese Vorgehensweise, ebenso wie die Einbeziehung des lokalen

Wissens an sich in die Analyse der Forschungsthematik, ist der eigene und neue Beitrag dieser Arbeit zur Forschung zur Verwundbarkeit.

## **5.1 Vorstellung der Zielerreichung**

Zu Beginn dieser Arbeit in Kapitel 1 wurden soziale, ökologische und wissenschaftliche Zielsetzungen formuliert. Nachfolgend sollen diese drei Teilaspekte hinsichtlich ihrer Zielerreichung beleuchtet werden.

### **5.1.1 Soziale Ziele**

Die Erläuterungen zur Bewertung der eingangs formulierten Ziele mit einer überwiegend sozialen Dimension sind hier für jedes Ziel einzeln aufgeführt.

- Identifikation von kritischen Faktoren für die Lebensumstände der in der Umgebung von Gletschergebieten lebenden Bevölkerung.

Neben der Literaturrecherche spielten insbesondere der Besuch der Untersuchungsregion und die direkte Befragung der Bevölkerung eine entscheidende Rolle für das Verständnis der Lebenssituation in der Quebrada Shallap als Beispielregion für ein von Gletschern beeinflusstes Gebiet. Obwohl die Begriffe Verwundbarkeit und Klimawandel nicht explizit in der Befragung genannt wurden, deuteten die Äußerungen der Befragten genau auf diese Phänomene hin. Mit ihren eigenen Worten beschrieben die Bewohner die für ihre Lebensumstände entscheidenden Aspekte und deren Veränderung gemäß ihrer Erlebnisse. In erster Linie wurden hier Aussagen zur wichtigsten wirtschaftlichen Aktivität der Bevölkerung, der Landwirtschaft, gemacht und generell Veränderungen der äußeren Bedingungen beschrieben, z.B. Phänomene wie Trockenheit, Starkregen, Überschwemmung, Wasserverfügbarkeit, Hitze, Pflanzenkrankheiten. Daneben nannten die Befragten das Auftreten von Krankheiten in der Bevölkerung, eine verstärkte Abwanderung und die Ausweitung des Bergbaus in der Region als kritische Faktoren, die ihre Lebensumstände negativ beeinflussen. Die so identifizierten wesentlichen Ergebnisse sind in die Entwicklung von SILVIO

eingeflossen und gleichzeitig ein Beitrag zur Forschung über die in der Umgebung von Gletschergebieten lebende Bevölkerung.

- Beteiligung der Bevölkerung bei der Identifikation und Gewichtung der relevanten Variablen für die Gestaltung des Modells.

Wie im Vorhergehenden beschrieben, war die Befragung der Bevölkerung in der Untersuchungsregion ein zentrales Element der vorliegenden Forschungsarbeit. Die Aussagen der befragten Bewohner waren ausschlaggebend für die Auswahl der Variablen des Modells. Dies trifft insbesondere für die sozioökonomischen Variablen zu, die als Großbergbau (Large-Scale-Mining - LSM), Tourismus (Tour), Landwirtschaft (LWS), Migration (MIG), Analphabetismus (Anph) und Gesundheit (GSD) identifiziert wurden. Die genannte Reihenfolge spiegelt gleichzeitig die Priorisierung durch die Befragten wider. Sie wurde durch Einschätzung der Bedeutung aus den leitfadengestützten Interviews extrahiert. Die genannten Variablen bilden den Indikator Sozialer Verwundbarkeit (SVI). Die Auswahl der Klimavariablen ist ebenfalls durch die Aussagen der Bewohner gestützt.

Dieses Vorgehen ist für die Untersuchungsregion außergewöhnlich, denn üblicherweise wird die betroffene Bevölkerung dort nach eigener Aussage nicht oder nur teilweise in Prozesse zur Entscheidungsfindung in für sie relevanten Fragen einbezogen. Der vorliegende Ansatz stützt sich zwar ebenso auf die wissenschaftliche Forschung und Literatur (d.h. in der Regel auf Expertenmeinungen Dritter) zum Untersuchungsgebiet bzw. vergleichbarer Gebiete, gibt aber der Einschätzung der lokalen Bewohner ein großes Gewicht. Er ist daher ein Schritt in Richtung einer Beteiligung der Bevölkerung, der hier für ein Modell zur Analyse der Verwundbarkeit erfolgte, aber weitere Auswirkung haben kann, wenn danach auf Grundlage dieser Modellanalyse Entscheidungen getroffen werden. Der Ansatz hat Pilotcharakter und ist ein möglicher Weg für zukünftige andersgeartete Ansätze.

- Entwicklung einer Methodologie, die Informationen für die involvierten Akteure anbietet, um sie für den Dialog und die Zusammenarbeit zu motivieren.

Dialog und Zusammenarbeit basieren einerseits auf Beteiligung und andererseits auf einer Identifikation mit Inhalt und Thematik. Durch die Einbeziehung der Meinung und Erfahrung der Betroffenen in die Entwicklung der Methodologie wird eine solche Identifikation verstärkt geschaffen. Auch wenn diese Arbeit den Schritt eines Dialogs nicht weiter begleiten konnte, so wird angenommen, dass die Kommunikation

zwischen den involvierten Akteuren potenziell besser wird und die Motivation zur Mitwirkung steigt, wenn eine Methodologie wie die vorliegende angewandt wird. Dies könnte am Ende auch positive Auswirkungen auf die Umsetzung von Programmen und Projekten der übergeordneten administrativen Ebenen haben, weil über Dialog und Identifikation breiter getragene Entscheidungen und Konsensfindung erzeugt werden können. Letztlich kann hier nur über diese Potenziale spekuliert werden, da die vorgestellte Methodologie zwar eine Grundlage bietet, aber keine hinreichende Bedingung für ein Gelingen ist. Funktionieren wird es nur, wenn Entscheidungsträger den Mehrwert einer solchen Methodologie erkennen und offen sind für eine echte Beteiligung und Mitsprache der Betroffenen.

### 5.1.2 Umweltbezogene Ziele

Im Vorfeld sind zwei Ziele mit Bezug zu Umweltthemen formuliert worden. Diese werden im Folgenden kurz evaluiert.

- Einen Beitrag leisten zur Erforschung der Wahrnehmung des Problems der globalen Klimaveränderung und ihrer lokalen Folgen für die Region.

Durch Kombination von sozialen Aspekten mit Klimavariablen ist ein Modell vorgestellt worden, in welchem die Wahrnehmung der Bewohner prominent einbezogen ist. Es ermöglicht Aussagen zu sozialer Verwundbarkeit und lokalen Klimabedingungen und sensibilisiert dadurch für die Zusammenhänge und Problematik der Klimaveränderung. Letztere ist durch lokale Folgen für die Bewohner deutlich spürbar, wie aus den Interviews in der Quebrada Shallap deutlich wurde. Die Untersuchungsregion in unmittelbarer Umgebung eines Gletschers ist ausgenommen empfindlich für klimatische Veränderung und ihre Bewohner sind sich dessen in großen Teilen bereits bewusst. Die Arbeit leistet einen Beitrag zur Forschung in dieser Hinsicht und zwar insbesondere durch die Integration der lokalen Perspektive zur Verwundbarkeit, die hier untrennbar mit klimatischer Veränderung verbunden ist.

- Die Diskussion und Suche nach Alternativen für den Umgang mit Umweltveränderung bei den Akteuren fördern.

SILVIO ist intendiert als eine Methodologie, die einen Beitrag zur Diskussion von Verwundbarkeit und Umweltveränderung (klimatischer Veränderung) leistet. Der

Dialog ist ein fester Bestandteil der Methodik und fördert die Kommunikation von allen Beteiligten. Sie bietet die Chance in Zukunft in einen Diskussionsprozess einzusteigen, der über eine einfache momentane Bestandsaufnahme hinausgeht. Das Modell passt sich der Veränderung in den Einschätzungen der Beteiligten an und kann dadurch für die Suche nach Alternativen zum Umgang mit der Umweltthematik benutzt werden.

### 5.1.3 Wissenschaftliche Ziele

In Bezug auf die wissenschaftliche Dimension der Zielsetzung wurden eingangs drei Ambitionen formuliert, deren Erfüllung hier anschließend beleuchtet wird.

- Anwendung der systemischen Theorie und Modellierung des dynamischen sozial-ökologischen Systems in der Untersuchungsregion.

Der ganzheitliche Analyseansatz der Systemtheorie ermöglichte nicht nur einen allgemeinen Überblick über die beteiligten Akteure, sondern auch über die Interaktion oder die Art und Weise, wie diese Akteure in Beziehung stehen. Der Befragungs- und Interviewprozess wurde nicht nur auf die Zielgruppe der Bewohner der Quebrada Shallap beschränkt, sondern umfasste auch Akteure von Behörden, Ministerien, Forschungs- und Entwicklungshilfeprojekten außerhalb des Untersuchungsgebiets. Dies ermöglichte einen Vergleich der Perspektiven verschiedener Akteure durch Triangulierung von Informationen, was für die Erstellung des Modells sehr nützlich war.

Verwendung fand die Methodik der Systemdynamik, indem zwei verschiedene Prozesse, die soziale Dynamik und die Umweltdynamik, integriert wurden. Die Beziehung zwischen beiden wird durch den Austausch von Informationen zwischen ihnen beschrieben und wird mathematisch durch die Korrelation zwischen dem SVI und LCV ausgedrückt. Die Skalierung des Systems auf Ebene der Untersuchungsregion (Detailgrad oder Granulierungsniveau genannt) und seiner Funktionsweise stellt die Modellierung des sozial-ökologischen Systems dar. In der vorliegenden Arbeit wurde der Detailgrad auf Ebene des Flusseinzugsgebiets der Quebrada Shallap festgelegt und nicht auf Ebene einzelner Siedlungen, Bewässerungskomitees oder Haushalte.

- Einen Beitrag leisten zur Forschung über Verwundbarkeit.

Verwundbarkeit und Klimawandel sind keine neuen Forschungsthemen, aber neu ist es, beide Konzepte aus der Perspektive der mathematischen Modellierung zu vereinen. Gleichzeitig wird ein Werkzeug für die Analyse und das Verständnis des sozialwissenschaftlichen Konzepts der Verwundbarkeit unter dem Einfluss von externen Faktoren entwickelt. Dabei sind auch andere Einflussgrößen als die hier verwendeten klimatischen Variablen denkbar. Außerdem wurde das Verwundbarkeitskonzept auf die vorliegende Forschungsfrage und den Kontext angepasst (Identifikation relevanter Variablen) und sogar von den Betroffenen, die hinsichtlich ihrer Verwundbarkeit untersucht werden, mit gestaltet (Auswahl und Gewichtung der Variablen). Damit leistet die vorliegende Arbeit einen weiteren Baustein der Anwendung und Ausdifferenzierung des Konzepts der Verwundbarkeit für einen gewählten Kontext.

- Austausch und Rückkoppelung mit bestehenden Forschungsansätzen.

In Vorbereitung der Feldforschung gab es einen wissenschaftlichen Austausch mit Personen von der Universität Innsbruck, unter anderem mit der interdisziplinären Forschungsgruppe AlpS Research am Institut für Geographie der Universität. Darüber hinaus fanden Treffen mit Forschern aus anderen Disziplinen und mit anderen Ansätzen statt, die sich auch für die Gletschergebiete der Cordillera Blanca um Huaraz in Peru interessierten. Dieser Prozess war für alle beteiligten Forscher in diesem Themenfeld sehr bereichernd und ermöglichte es, andere Perspektiven und Ansätze der geographischen Forschung kennenzulernen und zu berücksichtigen. Zusätzlich sind das Forschungskonzept und Zwischenergebnisse auf mehreren internationalen Kongressen präsentiert worden (s. Anhang 12, Zeitungsartikel). Im Ergebnis ist es durch diesen Austausch gelungen, die Problematik umfassender zu analysieren und einen neuen Beitrag zur aktuellen Forschung zu präsentieren.

## 5.2 SILVIO, Ein Modell zur Analyse der Sozialen Verwundbarkeit unter dem Einfluss von Klimaveränderungen. Grenzen der Forschung

SILVIO ist eine Methodologie, deren Modellierung nicht den traditionellen Konzepten folgt. SILVIO etabliert eine auf fuzzy Logik basierende Methodik für den Umgang mit Unsicherheit, welche die Aggregation von Meinungen und Variablen unterschiedlicher Art (numerisch und linguistisch) ermöglicht und dabei lokales Wissen verwendet. Besonderen Merkmale von SILVIO sind: die Methodologie ist statisch, das heißt sie ist nicht zeitabhängig und erlaubt keine Prognose; sie ist deterministisch, da es für jede Eingabe A nur eine mögliche Ausgabe B gibt; und sie ist diffus (fuzzy), weil die Bearbeitung der erhobenen Meinungen durch eine fuzzy Logik basierte Struktur, das sogenannte Experton, erfolgt. Ein wichtiger wissenschaftlicher Beitrag von SILVIO ist die Erfassung der sozialen Verwundbarkeit über einen Index (SVI), der sich aus Variablen berechnet, die von Bewohnern des Untersuchungsgebiets ausgewählt und gewichtet worden sind. Darüber hinaus integriert SILVIO klimatische Variablen und korreliert diese mit dem SVI, was ein innovatives Vorgehen ist und eine umfassendere Betrachtung von Verwundbarkeit erlaubt. Dieser innovative Aspekt von SILVIO, das heißt die Einbeziehung von Umweltvariablen in die Analyse der sozialen Verwundbarkeit, entspricht nicht der gängigen Praxis bei der Betrachtung von Umweltsystemen, und auch die Modellierung und Analyse von sozialökologischen Systemen behandelt diese beiden Aspekte separat (Folke C. et al. 2002).

Die grafische Darstellung des SVI gegenüber den lokalen Klimavariablen Temperatur und Niederschlag ermöglicht eine jährliche Trendanalyse und erlaubt eine schnelle Diagnose des Systemzustands. Das Wesentliche ist hierbei nicht die numerische Zuordnung, sondern der Trend und das Verhalten des SVI im zeitlichen Vergleich mit den Klimavariablen.

Die Erstellung von SILVIO beinhaltet die Arbeit mit lokalen Repräsentanten im Untersuchungsgebiet Quebrada Shallap und schließt die Vision und die Prioritäten der lokalen Bevölkerung und damit der direkt Betroffenen ein. Dies stellt einen neuen Beitrag zum umfassenden Themengebiet der Modellierung menschlicher Systeme dar.

Die verwendeten Daten zur Erstellung von SILVIO waren begrenzt, sowohl was die Anzahl der Jahre angeht, für die Daten für alle Variablen vorlagen, als auch hinsichtlich des Stichprobenumfangs der befragten Experten. Trotz dieser Herausforderung für die Zustandsanalyse im Gebiet der Quebrada Shallap, erlaubt es die Struktur der Methodik, auch mit wenigen Daten zu arbeiten und gleichwohl Ergebnisse zu erhalten. Dies wird als Vorteil der Methodologie betrachtet, weil Daten in der Realität häufig nicht vollständig verfügbar sind.

SILVIO integriert Analysewerkzeuge für komplexe Systeme wie Data Mining, Prozesse der mathematischen Gewichtung und Normalisierung sozialer Variablen sowie die Ausarbeitung eines Index (SVI), dessen Indikatoren teilweise sprachlich definiert sind. Der SVI stellt das Herzstück von SILVIO dar. Er bildet den Trend der sozialen Verwundbarkeit ab durch eine multiplikative lineare Beziehung in Bezug auf die Expertenmeinungen und eine additive Beziehung zwischen seinen Variablen. Das bedeutet, der SVI ist additiv gewichtet.

Mit der Entwicklung des Indikators SVI wird ein Indikator entworfen, der feine Unterschiede zwischen den Gruppen von externen Experten, Entscheidungsträgern oder Bewohnern einer Region zu messen vermag. Diese Unterschiede sind beispielsweise auf die geringe oder begrenzte Identifikation der Entscheidungsträger mit der für den SVI wesentlichen Priorisierung der Variablen zurückzuführen. Im Jahr 2017 wurde ein neues Experten, basierend auf den Einschätzungen von Experten der deutscher Entwicklungszusammenarbeit, als Grundlage für einen neuen SVI berechnet, um die Robustheit des Modells zu testen. Die Priorisierung der Variablen hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Verwundbarkeit unterscheidet sich im Experten<sub>2017</sub> erheblich gegenüber dem Experten<sub>2012</sub>, das auf den Meinungen lokaler Experten basiert. Im Experten<sub>2012</sub> wird die Reihenfolge nach Bedeutung der Variablen von Bergbau an erster Stelle über Tourismus, Landwirtschaft, Migration, Analphabetismus und Gesundheit als geringster Einflussfaktor bewertet. Im Gegensatz dazu weist das Experten<sub>2017</sub> die Prioritätenabfolge Analphabetismus, Gesundheit, Migration, Landwirtschaft, Bergbau und Tourismus auf. Dieses deutlich unterschiedliche Ergebnis unterstreicht die Abhängigkeit des Experten von der jeweiligen Expertengruppe, die es etabliert. Die höchst subjektive Beurteilung von Verwundbarkeit und ihrer Ursachen wird hier offensichtlich. Die Verwendung des

Expertons als Werkzeug für die Analyse von Verwundbarkeit spiegelt diese Tatsache wider und eignet sich daher besonders gut zur Konzeption des SVI.

Mit der Konzeption von SILVIO ist ein neues Instrument präsentiert worden, welches das Wissen lokaler Bevölkerung nutzt, verarbeitet und interpretiert, um eine schnelle Analyse des Zustands sozialer Verwundbarkeit unter dem Einfluss von lokaler Klimaveränderung zu erhalten.

In Rahmen der Entwicklung von SILVIO wurden Erkenntnisse gewonnen die nicht für die hier präsentierte Methodologie von Bedeutung sind. Zum Beispiel äußerten die meisten der Befragten, dass für sie bei der Entscheidungsfindung Indikatoren wenig oder gar keine Rolle spielten. Dieses überraschende Ergebnis öffnet eine neue Tür für die Forschung über die Nutzung von Indikatoren in Entscheidungsprozessen.

### **5.3 Empfehlungen für weiterführende Arbeiten und zukünftige Forschung**

Im Rahmen der durchgeführten Umfragen wurde auch erhoben, ob die Befragten beim Treffen von Entscheidungen oder bei der Auswahl zwischen verschiedenen Alternativen auf Indikatoren zurückgreifen. Erstaunlicherweise beantworteten 40 von 42 Personen (ohne die Bewohner des Untersuchungsgebiets) diese Frage mit Nein. Das heißt, die ganz überwiegende Mehrheit der befragten Entscheidungsträger und Experten verwendet üblicherweise keine Indikatoren und es zeigt, wie gering das Vertrauen in diese Art von Hilfsmittel ist. Dieser überraschende Sachverhalt könnte Gegenstand für weitere Forschung zur Entscheidungsfindung sein.

Ein weiterer Vorschlag ist die vertiefte Untersuchung der Dynamik von Systemen in Gletschergebieten bzw. von Siedlungen in unmittelbarer Umgebung von Gletschern. Die Gletschergebiete sind allgemein wegen ihrer Bedrohung durch die aktuellen klimatischen Entwicklungen von hoher Dringlichkeit als thematischer Forschungsgegenstand. Die soziale und umweltbezogene Dynamik in Folge der globalen Klimavariation bietet eine reichhaltige und vielfältige Liste von Forschungsthemen.

In der Absicht SILVIO weiter zu optimieren, wäre ein Durchlauf des Modells mit einem größeren Datensatz wünschenswert. Dies ermöglicht die Untersuchung und den besseren Vergleich unterschiedlicher Fallbeispiele, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht behandelt werden konnten, da die Entwicklung der Methodologie im Vordergrund stand. Die Verwendung einer größeren Anzahl von Daten würde genauere Aussagen über die tatsächliche Verwundbarkeitssituation in einem untersuchten Gebiet erlauben. Darüber hinaus, um das Vertrauen in die Nutzung von SILVIO zu stärken, wird für den SVI eine statistische Zuverlässigkeitsanalyse vorgeschlagen.

## **5.4 Zukünftige Forschung**

Die Entwicklung von SILVIO öffnet die Tür zu einer Debatte über Möglichkeiten der Optimierung der Methodik. Im Folgenden werden einige Anregungen dazu gegeben:

- Einsatz von Experten für die Auswahl und Priorisierung lokaler Klimavariablen. Eine interessante Arbeit wäre die Anwendung der Expertone für die lokalen Klimavariablen LCV und dabei nach Möglichkeit eine größere Anzahl klimatischer Variablen zu berücksichtigen. Zum Zeitpunkt des Entwurfs der aktuellen Struktur von SILVIO waren genauere Informationen für das Untersuchungsgebiet im untersuchten Zeitraum nicht verfügbar. Im Fall des Vorhandenseins umfassender Daten könnte eine Indexstruktur ähnlich wie die des SVI auch für Umweltdaten angewandt werden.
- Vervollständigung eines Zyklus in der Dynamik des Modells, um vorhersagende Analysen durchzuführen. Es wird die Entwicklung eines erweiterten Modells vorgeschlagen, das es ermöglicht, den Einfluss der Klimavariablen LCV auf die sozioökonomischen Variablen des SVI darzustellen. Auf diese Weise würde die Verknüpfung zwischen den beiden im Modell geschlossen und die Analyse von Szenarien ermöglicht, um zum Beispiel zu untersuchen, wie sich Niederschlag auf die landwirtschaftliche Produktion, den Tourismus, die Gesundheit usw. auswirkt. Das aktuelle Modell von SILVIO erlaubt es nicht, beispielsweise die klimatischen Variablen zu verändern, um zu sehen, wie sich der SVI in der Folge verhält. SILVIO erlaubt nur die Analyse von Ergebnissen um bestimmte Ereignisse im Nachhinein zu untersuchen. Es wäre wünschenswert ein automatisiertes Vorgehen zur

Beschreibung von Ursache und Wirkung der Veränderung zu entwickeln, d.h. den Einfluss der Klimafaktoren auf die sozioökonomischen Variablen.

- Anwendung von SILVIO auf Systeme anderer Art. SILVIO ist eine Methodologie, die auf die Untersuchung der Verwundbarkeit in anderen Systemen wie beispielsweise in politischen, wirtschaftlichen, Gesundheits- oder Bildungssystemen anwendbar ist. Es erscheint interessant, den Prozess der Gewichtung und Priorisierung zwischen verschiedenen Gruppen unterschiedlicher Herkunft für solche Systeme zu beobachten.

- Erhöhung der Datenauflösung. Ein Beispiel hierfür ist das Szenario den Einfluss von Veränderungen der Niederschlagsmuster auf den SVI zu untersuchen, das heißt Studien zur Variabilität der monatlichen Niederschläge und nicht mit den gesamten Jahresniederschlägen durchzuführen. Ein ähnliches Vorgehen wäre auch für die Variable Temperatur möglich.

- Anwendung von SILVIO in anderen Feldforschungen und anderen Regionen. Die Kombination der Analyse von SVI und lokalen Klimaveränderungen ist ein Prozess, der nicht exklusiv nur für das ausgewählte Untersuchungsgebiet anwendbar ist. Die Anwendung von SILVIO ist daher auch für andere Regionen und Breitengrade ein lohnenswerter wissenschaftlicher Ansatz zur Analyse von Verwundbarkeit. Darüber hinaus kann die Methodologie durch Anwendung in anderen Kontexten weiter entwickelt werden.

## 6 LITERATUR

Adger, N. 1999. Social Vulnerability to Climate Change and Extremes in Coastal Vietnam. Elsevier Science Ltd. World Development Vol. 27, No. 2, pp. 249±269, 1999 . PII: S0305-750X(98)00136-3

ATCPS 2018. Metodología para la elaboración del índice de vulnerabilidad territorial de barrios y distritos de madrid y ranking de vulnerabilidad. Informes y estudios 2018. Area de Coordinacion Territorial y Cooperacion Público Social. <https://www.madrid.es/UnidadWeb/Contenidos/Publicaciones/TemaServiciosSociales/IndiceVulnerabil/indicevulnerabilidad.pdf>

Adger, N. et al. 2004. New Indicators of Vulnerability and Adaptive Capacity,.Tyndall Centre for Climate Change Research,UK, Technical Report 7.

Adger, N. et al 2005. Successful adaptation to climate change across scales. Global Environmental Change. Global Environmental Change 15 (2005) 77–86. <http://www.bonn-dialogues.com/file/get/9991.pdf>

Adger, N. 2010. Climate Change, Human Well-Being and Insecurity, New Political Economy, 15:2, 275-292, DOI: 10.1080/13563460903290912. <http://dx.doi.org/10.1080/13563460903290912>

Allison, P. 1978, Measures of Inequality. American Sociological Review, Vol. 43, Issue 6 (Dec., 1978) p. 865-880. [https://web.stanford.edu/group/scspi/\\_media/pdf/Classic\\_Media/Allison\\_1978\\_Measurement.pdf](https://web.stanford.edu/group/scspi/_media/pdf/Classic_Media/Allison_1978_Measurement.pdf)

ANA, 2014, S.17. Inventario de Glaciares del Peru ( 2da Edicion). [inv.\\_nacional\\_de\\_glaciares\\_de\\_las\\_19\\_cordilleras\\_nevadas\\_parte1.pdf](#)

Ancash 1980.. Territorio, poblacion, educacion, salud, vivienda, agropecuario, pesca, energia y minas, manufactura, transportes y comunicaciones, turismo, trabajo.(Kopiert).

Ancash 1995, Territorio, poblacion y demografia, educacion y cultura, salud, vivienda, trabajo, interior, agropecuario, pesca, mineria y petroleo, manufactura, electricidad y agua, transportes y comunicaciones, turismo. Kopiert.

Ancash 1987. Anuario Estadístico Servicios y Demografía en Ancash 1981-1986.

Ancash (2008-2009): Compendio Estadístico. (Digital).

Ancash 2005. Compendio Estadístico. (Digital).

Andriantiatsaholiniaina, L. 2001. Evaluating strategies for sustainable development: fuzzy logic reasoning and sensitivity analysis. *Ecological Economics* 48 (2004) 149–172. [www.elsevier.com/locate/ecocon](http://www.elsevier.com/locate/ecocon)

Anguita, J. et al, 2003. La Encuesta como técnica de investigación. Elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de datos. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0212656703707288>

AlpS 2009. Zentrum für Naturgefahren – und- Risikomanagement GmbH. Geschäftsbericht 2008/ 2009. Naturgefahren- und- Risikomanagement. KPlus

Aracil, J. 1978. „Dinámica de Sistemas“. Publicaciones de Ingeniería de Sistemas. Monografías de Ingeniería de Sistemas. ISDEFE. [https://www.academia.edu/8563256/Din%C3%A1mica\\_de\\_sistemas\\_-\\_Javier\\_Aracil](https://www.academia.edu/8563256/Din%C3%A1mica_de_sistemas_-_Javier_Aracil)  
Last review 22.08.19

Barnett, T. et al. 2007. Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature*. Quelle: <http://www.nature.com/nature/journal/v438/n7066/abs/nature04141.html>. Last review 22.10.13

BCV, 2015. Banco Central de Venezuela. PIB. [www.bcv.org.ve](http://www.bcv.org.ve)

Beaumont, L. et al. 2010. Impacts of climate change on the world's most exceptional ecoregions. *PNAS* Issue/vol. 108 no. 6/Linda J. Beaumont, 2306–2311, doi:10.1073/pnas.1007217108. <http://www.pnas.org/content/108/6/2306.abstract>

Bebbington, A. 2006. Social movements and the politicization of chronic poverty policy. Institute of development Policy and Management. CPRC working paper 63. ISBN: 1-904049-62-1. [http://www.chronicpoverty.org/uploads/publication\\_files/63Bebbington.pdf](http://www.chronicpoverty.org/uploads/publication_files/63Bebbington.pdf)

Bech, J. 2003. Vulnerabilidad Social. Um Indicador de Vulnerabilidad Social. [slideplayer.es/slide/100114/](http://slideplayer.es/slide/100114/)

Berkes, F. 2008. Ecological complexity, fuzzy logic, and holism in indigenous knowledge. *Futures* Volume 41, Issue 1, February 2009, Pages 6-12 *Futures of Indigenous Knowledges* . doi:10.1016/j.futures.2008.07.003 Copyright © 2008 Published by Elsevier Ltd.

Blanco, B. 2012. Evaluación de los Riesgos Empresariales de Operación con Métodos de las Matemáticas Borrosas . *Revista Caribeña de las Ciencias Sociales* , Habana-Cuba. <http://caribeña.eumed.net/evaluacion-de-riesgos-de-operacion-con-matematicas-borrosas/>

Bury J. et al. 2009. Glacier recession and human vulnerability in the Yanamarey watershed of the Cordillera Blanca, Peru. *Climatic Change* (2011) 105:179–206 DOI

CARE, 2012, Adaptation to the Impact of Rapid Glacier Retreat in the Tropical Andes Project – “PRAA”, S.1-3 .[http://www.care.org/sites/default/files/documents/CC-2012-CARE\\_PRAA\\_Summary.pdf](http://www.care.org/sites/default/files/documents/CC-2012-CARE_PRAA_Summary.pdf)

Carey, M. 2004. Living and dying with glaciers: people’s historical vulnerability to avalanches and outburst floods in Peru. Department of History, University of California, Davis, United States. *Global and Planetary Change* (Impact Factor: 2.77). 07/2005; 47(2):122-134. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2004.10.007

Carey, M. 2010. In the Shadow of Melting Glaciers. *Climate Change and Andean Society*. Oxford University Press, USA. ISBN: 9780195396072 USA. P 53 and 190-192

10.1007/s10584-010-9870-1

CDAM, o.d. Marco conceptual y metodologico para la construccion de indicadores ambientales.<http://cdam.minam.gob.pe/publielectro/investigacion%20ambiental/indicadoresambientales.pdf>

CEE, 1973. Revista del CEE-Vol. III, Num. 4, 1973. S.133. [http://cee.iteso.mx/BE/RevistaCEE/t\\_1973\\_4\\_08b.pdf](http://cee.iteso.mx/BE/RevistaCEE/t_1973_4_08b.pdf)

Carrere, J. 1998. Los verdaderos responsables de la deforestación. <http://www.revistadelsur.org.uy/revista.085/WRM.htm> (last review: April 2010).

CEPAL 2014. Índice de vulnerabilidad social (IVS) ¿Qué es?. Comisión económica para américa latina. <http://www.eclac.cl> (last review 03.12.14).

Chang, I. 2005. Consultoría: Indicadores de vulnerabilidad y desastres para américa latina. [http://www.disasterinfo.net/lideres/spanish/panama2005/presentaciones/facilitadores/isaias\\_chang\\_urriola/inmefinalconsindvd/informe\\_final\\_y\\_resumen\\_ejecutivo.doc](http://www.disasterinfo.net/lideres/spanish/panama2005/presentaciones/facilitadores/isaias_chang_urriola/inmefinalconsindvd/informe_final_y_resumen_ejecutivo.doc) (last review 13.05.13).

Cinner J. et al 2018. Building adaptive capacity to climate change in tropical coastal communities. *Nature Climate Change*. 10.1038/s41558-017-0065-x.

Climate-Decision 2015. Climate Decision.org. [http://www.climate-decisions.org/2\\_Adaptive%20Capacity.htm](http://www.climate-decisions.org/2_Adaptive%20Capacity.htm)

Cochran-Cox, 1992 © 1957. *Experimental Design*, 2nd Edition. ISBN: 978-0-471-54567-5

Colin, A. 2013. Agua y Cambio Climático en México 2007-2012: Análisis y Recomendaciones a Futuro. <http://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/references/water-and-climate-change-in-mexico-2007-2012.-analysis-and-future-recommendations-conaguapremia-2013-spanish.pdf>

Cooley, H. et al. 2012. (Pacific Institute). Social vulnerability to climate change in California. 2012. California Energy Commission. Publication Number: CEC-500-2012-013.

Comunidad, 2011. Indicadores de Vulnerabilidad Financiera. Comunidad Andina, Decision 765, Cartagena-Colombia. <http://www.sice.oas.org/trade/junac/Decisiones/DEC765s.pdf>

Con, M. 2009. Índice de Vulnerabilidad Social (IVS). Informes Temáticos de la Dirección de Investigación y Estadística del Ministerio de Educación del GCBA, Argentina. [http://www.buenosaires.gob.ar/areas/educacion/dirinv/pdf/indice\\_vulnerabilidad\\_social.pdf](http://www.buenosaires.gob.ar/areas/educacion/dirinv/pdf/indice_vulnerabilidad_social.pdf)

Craig A. 2006. Sprawl and the resilience of humans and nature: an introduction to the special feature. *Ecology & society* 11 (1), P. 36.

Crozier M., 1969. El fenómeno burocrático. Michel Crozier, Buenos Aires: Amorrortu, 1969.

Cutter S. 1996, *Vulnerability to Environmental Hazards*. *Progress in Human Geography* 20,4 (1996) pp. 529-539. S.534.

Cutter S. et al 2003. *Social Vulnerability to Environmental Hazards*. Cutter, S. L., Boruff, B. J. and Shirley, W. L. (2003), *Social Vulnerability to Environmental Hazards*. *Social Science Quarterly*, 84: 242–261. doi: 10.1111/1540-6237.8402002

Cutter S. et al. 2008. A Sensitivity Analysis of the Social Vulnerability Index. *Risk analysis*: : an official publication of the Society for Risk Analysis. 28. 1099-114. 10.1111/j.1539-6924.2008.01072.x

Cutter S. et al. 2009. Social Vulnerability to Climate Variability Hazards: A Review of the Literature. [http://adapt.oxfamamerica.org/resources/Literature\\_Review.pdf](http://adapt.oxfamamerica.org/resources/Literature_Review.pdf)

Cutter S. 2016. Social Vulnerability and Community Resilience Measurement and Tools. *Natural Disaster Resilience: An Urgent Need and Opportunity for Chile* CNID and CREDEN. <http://www.cnid.cl/wp-content/uploads/2016/09/SUSAN-CUTTER.pdf>

De Lameda, B. 1999. Conjuntos Borrosos y su Aplicación al Análisis de Confiabilidad y Fallas en un Sistema Informático. Trabajo de ascenso presentado para optar a la categoría de Profesor Titular. Universidad Centro Occidental „ Lisandro Alvarado“ Decanato de Ciencias y Tecnologías.

Drew, D. 1995. Dinámica de Sistemas Aplicada. Publicaciones de Ingeniería de Sistemas, ISDEFE. ISBN: 84-89338-03-5. España

Diercke, 1997. Wörterbuch Allgemeine Geographie. Hrsg. Hartmut Leser. Dtv, ISBN: 3-423-03421-1

Duek, J. 1979. „ Biología de Ecosistemas, 1“. El Sistema Población. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, CIDIAT. Mérida - Venezuela.

Egner,H. et al, 2008. Umwelt als System – System als Umwelt?. *Systemtheorien auf*

dem Prüfstand. Oekom Verlag, München.

FAO, 2015. AQUASTAT.  
[http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries\\_regions/per/indexesp.stm](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/per/indexesp.stm)

Folke, C. et al, 2002. Folke C., J. Colding, and F. Berkes, 2002. Building resilience for adaptive capacity in social-ecological systems. In: Berkes F., J. Colding, and C. Folke (eds). Navigating Social-Ecological Systems: Building Resilience for Complexity and Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Folke, C. et al, 2002.b. Resilience and Sustainable Development: Building Adaptive Capacity in a World of Transformations . © Royal Swedish Academy of Sciences 2002. Ambio Vol. 31 No. 5, August 2002. <http://www.ambio.kva.se>

Forrester, J. 1968. Principles of systems. MIT Press, Cambridge-Massachusetts.

Favier, V. et al 2004. One-year measurements of surface heat budget on the ablation zone of Antizana glacier 15, Ecuadorian Andes. Journal of Geophysical Research. doi:10.1029/2003JD004359.

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2003JD004359/abstract>

Francou, B. et al 2003. Tropical climate change recorded by a glacier in the central Andes during the last decades of the 20th century: Chacaltaya, Bolivia. Journal of Geophysical Research. doi:10.1029/2002JD002959.

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2002JD002959/abstract>

Francou, B. et al 2004 New evidence for an ENSO impact on low latitude glaciers: Antizana 15, Andes of Ecuador, 0°28'S. Journal of Geophysical Research. doi:10.1029/2003JD004484.

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2003JD004484/abstract;jsessionid=4188590D043AE394EA44B38964B62E9B.f04t04>

Fraser, B. 2012. Gletscher der Anden: kalter Abschied. <http://www.spektrum.de/news/kalter-abschied/1170684>

Fuenmayor, A. et al, 1991. An interpretive-systemic study of the University of Los Andes, Fuenmayor, R., Bonucci, M. & López-Garay, H. Systems Practice (1991) 4: 507. doi:10.1007/BF01104464

Gamez J. et al. 2012. Universidad, Sociedad y Mercados Globales, 2008-01-01,

ISBN 978-84-691-5667-4, pags. 263-278.

[http://biblioteca.universia.net/html\\_bura/ficha/params/title/codigo-etica-franquicia-evaluacion-teoria-expertones/id/44770545.html](http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/title/codigo-etica-franquicia-evaluacion-teoria-expertones/id/44770545.html)

Garcia, G 2010. Future Scenarios Of Temperature And Rain Precipitation Under The Effect Of A Climatic Change In The Agricultural Region Of The Plains, Durango. <https://chapingo.mx/revistas/phpscript/download.php>

Garcia Y. 2014. Portal: Concepto de Definicion, Ponderaciones. <http://conceptodefinicion.de/ponderacion/>

Ge, Y. et al. 2013. Assessment of social vulnerability to natural hazards in the Yangtze River Delta, China. *Stoch Environ Res Risk Assess* (2013) 27:1899–1908 DOI 10.1007/s00477-013-0725-y

Ge, Y. et al 2017. A New Approach to Identify Social Vulnerability to Climate Change in the Yangtze River Delta. [www.mdpi.com](http://www.mdpi.com) › pdf

Georges, C. 2004. 20th-Century Glacier Fluctuations in the Tropical Cordillera Blanca, Peru. <http://www.mendeley.com/research/20thcentury-glacier-fluctuations-tropical-cordillera-blanca-peru/>

Gioli, G. 2016. Human mobility, climate adaptation, and development. Introduction to special issue, *Migration & Development*, S.165-170.

Gil-Aluja, J. et al. 1990. *Las matemáticas del azar y de la incertidumbre*. Madrid: Editorial Centro de estudios Ramón Areces.

Gil-Aluja, J. 1998. *Taller de Manejo de la Incertidumbre en el Ámbito Económico*. Universidad de Los Andes, Venezuela. Facultad de Economía

Gil-Aluja, J. 2004. *Studies in Fuzziness and Soft Computing. Fuzzy sets in the management of uncertainty. The setting up of a business*. ISBN-978-3-642-05794-6, S.51-84

Gil-Lafuente, A. 2017. *La gestión y toma de decisiones en el sistema empresarial cubano*. ISBN- 978-84-697-6328-5, S.32)

Gil-La Fuente, J. 2002. Equipados Para Ganar: Aplicación de la Teoría de los Subconjuntos Borrosos Para un Mejor Rendimiento Comercial de la Equipación Deportiva . <http://elib.bsu.by/bitstream/123456789/51921/1/509-519.pdf>

Giraldo,J.A. 2008. Indicadores de Alerta Temprana de Vulnerabilidad Macroeconomica. Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 10, p. 131-140. Diciembre 2008 Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia).

GIZ-El Sira, 2011. Análisis de la vulnerabilidad y estrategias para la adaptación al cambio climático en la Reserva Comunal El Sira-Perù. <http://www.riesgoycambioclimatico.org/biblioteca/archivos/DC1145.pdf> (last review: April 2014)

Grasso, M. et al. 2013. Assessing social vulnerability to climate change in Samoa. Reg Environ Change DOI 10.1007/s10113-013-0570-z. S.2

Groebe n, N. et al 1999. Subjektive Theorien-Rekonstruktion und Dialog-Konsens. Spiel, 18 (1999) H.1, 138-153 [https://www.psychologie.uni-heidelberg.de/ae/allg/mitarb/uc/Christmann\\_Groebe n\\_Schreier\\_1999\\_Subjektive%20Theorien.pdf](https://www.psychologie.uni-heidelberg.de/ae/allg/mitarb/uc/Christmann_Groebe n_Schreier_1999_Subjektive%20Theorien.pdf) S. 140

Gruber E. o.d. Tropische Gletscher als Klimaindikatoren. <http://sciencev1.orf.at/science/news/71786>

Guerrero, C. 2012. Tipificación, Estandarizacion y valores-Z. <http://de.scribd.com/doc/104228732/Tipificacion-estandarizacion-valores-Z>

Gunderson, L. 2005. Resilience - Now more than ever. Ecology&Society 10 (2), P. 22.

Gunderson,L. and Holling,C. 2002. Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural Systems. Island Press, Washington

Gurgiser W. et al 2016. Comparing peasants' perceptions of precipitation change with precipitation records in the tropical Callejón de Huaylas, Peru. Earth Syst. Dynam., 7, 499–515, 2016 [www.earth-syst-dynam.net/7/499/2016/](http://www.earth-syst-dynam.net/7/499/2016/) doi:10.5194/esd-7-499-2016

Haldar,A. Mahadevan, S. 2000. Probability, Reliability and Statistical Methods in

Engineering Design. Jhon Wiley & Sons, Inc. ISBN: 0-471-33119-8

Hernández, N. et al 2009. Cultivos Tropicales. Modelos de simulación de cultivos. Características y usos. versión ISSN 0258-5936. La Habana, Cuba. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362009000100014](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362009000100014)

Holling, C. 1973. „Resilience and stability of ecological systems“. Review of ecological and systems. p. 2-23. [www.stockholmresilience.org](http://www.stockholmresilience.org)

Hurtado, E. o.D. Facultad de Ciencias UNAM. Curso para el Calculo Integral y diferencial III.

Hyogo, 2005, <http://www.ifrc.org/Global/safer-communities-sp.pdf>

Ide, T. Scheffran, J. 2014. Towards Methodological Pluralism: An Empirical Evaluation of Research Methods for Assesing the Link between Climate Change and Violent Conflict. Dissertation, Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften im Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg.

IFCR 2013. Reducción del Riesgo de desastres: una forma de formar comunidades mas seguras. <https://www.ifrc.org/en/publications-and-reports/world-disasters-report/world-disasters-report-2013/> (last review 17.10.14).

INEI o.d. <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/Cap03044.xls>

INEI, 1996. Departamento de Ancash: Superficie, Población Total, Densidad Poblacional, Numero de Provincias y Distritos: 1995.

INEI 2007. Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda: Principales Indicadores demográficos, sociales y economicos a nivel departamental. Edicion de Bolsillo. [www.inei.gob.pe](http://www.inei.gob.pe)

INEI 2007-a. Censos Nacionales 2007: Primeros Resultados. Peru: Crecimiento y Distribucion de la Poblacion.pp18. <http://censos.inei.gob.pe/censos2007/documentos/ResultadoCPV2007.pdf>

INEI 2008. Sistema de consulta de datos. Censos Nacionales 2007. XI de Poblacion y VI de Vivienda. (Digital).

INEI 2009. Mapa de Pobreza. Provincial y distrital 2007. El enfoque de la pobreza monetaria.

INEI 2009-a. Peru: Perfil del Productor Agropecuario 2008.

INEI 2009-b. Peru: Compendio Estadístico 2009. (Digital).

INEI 2010. Peru: Anuario de Estadísticas Ambientales 2010.  
<https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/59366>.

INEI 2013. Cuentas Nacionales del Perú. Producto Bruto Interno por Departamentos. 2001-2012. Año base 1994. Lima, Octubre 2013. Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú No 2013-15807

INEI, 2014. Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú.  
<http://www.inei.gob.pe/sistemas-consulta/> , last review 15.09.15.

IPCC, 2014. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part B: Regional Aspects. New York: Cambridge University Press. S. 9, S.1530, S. 1538

IPCC, 2019. Overview of Impacts, Adaptation, and Vulnerability to Climate Change. Schneider, S. and Sarukhan, J.  
<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/wg2TARchap1.pdf>

Ipenza, C. 2012. La Pequeña Minería y la Minería Artesanal y los Decretos Legislativos Vinculados a la Minería Ilegal. Sociedad Peruana de Derecho Ambiental Lima, agosto de 2012. Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2012-10020 ISBN: 978-9972-792-79-3 .

Ipenza, C. 2016. Nota de prensa en Periodico El Comercio/Jueves-14 de Abril/ Editorial/Pag.2: Minería Ilegal, La afectación en áreas naturales protegidas (ANP).

ITACAB, o.d. Centro de Recursos para la Transferencia Tecnológica.  
[http://www.itacab.org/adminpub/web/index.php?mod=ficha&ficha\\_id=120](http://www.itacab.org/adminpub/web/index.php?mod=ficha&ficha_id=120)(S.1, letzte revision 13.04.19)

Jeffrey, T. 2009. Glacier recession and human vulnerability in the Yanamarey watershed of the Cordillera Blanca, Peru Climatic Change (2011) 105:179–206 DOI 10.1007/s10584-010-9870-1 Received: 7 April 2009 / Accepted: 18 March 2010 / Published online: 15 June 2010 © The Author(s) 2010. This article is published with open access at Springerlink.com

Jørgensen, S. 1996. „ Handbook of environmental and ecological modeling“. (Eds)

S.E. Jørgensen, B. Halling-Sørensen und S.N. Nielsen. Copenhagen, Denmark. Lewis Publisher. Boca Raton – New York – London – Tokyo.

Jørgensen, S. 1997. „Ecollogical Modelling in 100 volumes“. *Ecological Modeling* 100, (1997).

Jørgensen, S. 1999. „State oft the art of ecological modeling with emphasis on development of structural dynamic models“. *Ecological Modeling*, 120 (1999), p. 75-96.

Juen, I. 2006. Glacier mass balance and runoff in the tropical Cordillera Blanca, Perú. Dissertation, [https://www.researchgate.net/profile/Irmgard\\_Juen/publication/282002231\\_Glacier\\_mass\\_balance\\_and\\_runoff\\_in\\_the\\_tropical\\_Cordillera\\_Blanca\\_Peru/links/5600fed608ae07629e52b4da.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Irmgard_Juen/publication/282002231_Glacier_mass_balance_and_runoff_in_the_tropical_Cordillera_Blanca_Peru/links/5600fed608ae07629e52b4da.pdf)

Juen, I. et al 2007. Modeling observed and future runoff from a glacierized tropical catchment (Cordillera Blanca, Perú). *Global Planet. Change* 59 (1–4), 37–48. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921818106002967>

Kaplan, D. 1995. *Understanding Nonlinear Dynamics*. Springer Science and Business Media, LLC. SBN 978-0-387-94440-1 ISBN 978-1-4612-0823-5 (eBook) DOI 10.1007/978-1-4612-0823-5

Kasang, D. 2018. Gletscher in den tropischen Anden. [https://wiki.bildungserver.de/klimawandel/index.php/Gletscher\\_in\\_den\\_tropischen\\_Anden#Peru](https://wiki.bildungserver.de/klimawandel/index.php/Gletscher_in_den_tropischen_Anden#Peru)

Kaser, G. et al 1997 Changes of the Equilibrium-line Altitude in the Tropical Cordillera Bianca, Peru, 1930–1950, and their Spatial Variations. *Annuary of Glaciology*. **24**, 344–349. <https://www.cambridge.org/core/journals/annals-of-glaciology/article/div-classtitlechanges-of-the-equilibrium-line-altitude-in-the-tropical-cordillera-blanca-peru-193050-and-their-spatial-variationsdiv/F02FA2D3ABE33CAB5127108F8054DEB1#>

Kaser, G. et al 2003 The impact of glaciers on the runoff and the reconstruction of mass balance history from hydrological data in the tropical Cordillera Blanca, Perú. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169403002592>

Kasperson et al, 1988. The social amplification of Risk: A Conceptual Framework.

Risk Analysis, Vol 8, No.2, 1988. <http://dx.doi.org/10.18419/opus-7221>

Kasperson,R. and J., 2005. The Social Contours of risk, Volume I: Publics, Risk Communication & the Social Amplification of Risk. EARTHSCAN, London, VA.

Kasperson,R. and J.,2005. The Social Contours of risk, Volume II: Risk Analysis, Corporations & the Globalization of Risk. EARTHSCAN, London, VA.

Kaztman,R. o.d. Notas sobre la medicion de la vulnerabilidad social. CEPAL <http://www.cepal.org/deype/mecovi/docs/taller5/24.pdf> Last review: 25.07.15

Khaliq, I. et al 2015. Global variation in thermal tolerances and vulnerability of endotherms to climate change. Proc. R. Soc. B 281: 20141097. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2014.1097>

Klir, G. und Yuan, B. 1995. Fuzzy sets and Fuzzy Logic.Theory and applications. Ed. Prentice Hall. 1995

KLIWAS o.d [http://www.kliwas.de/KLIWAS/DE/Home/homepage\\_node.html](http://www.kliwas.de/KLIWAS/DE/Home/homepage_node.html). Last review 24.06.17

Kosko, B. 1992. Neural Networks and Fuzzy Systems, a dynamical System Approach to Machine Intelligence. Prentice Hall, 1992, P 3,6.

Kuhlicke , C. et al. 2011. Contextualizing social vulnerability: findings from case studies across Europe. Nat Hazards (2011) 58:789–810 DOI 10.1007/s11069-011-9751-6

Larsen, K. 2008. Climate change scenarios and citizen-participation: Mitigation and adaptation perspectives in constructing sustainable futures. Habitat International 33 (2009), P. 260-266.

Law, T. – Zhang, W.2009. Structural changes in lake functioning induced from nutrient loading and climate variability. Ecological Modelling 220(7), P. 979-997.

Lira H., Medina, S. 2000. „Aplicaciones de la logica difusa en los analisis economicos- financieros en ambientes con incertidumbre“. Tesis de grado, Universidad de Los Andes, Merida-Venezuela.

López, T. Medina S. 2000. „Aplicaciones de la Lógica Difusa en la Toma de

Decisiones en Ambientes con Incertidumbre“. Universidad de los Andes, Mérida-Venezuela.

López T. Tonella G. 2003. Un modelo de Población y uso de la tierra en la Amazonia Legal Brasileña. Universidad de los Andes, Mérida- Venezuela.

López, T. et al. 2012. „Modelling and Simulating Social Vulnerability under the Influence of Climate Change in the Cordillera Blanca (Peru)“ International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs), 2012 International Congress on Environmental Modelling and Software „Managing Resources of a Limited Planet“, Sixth Biennial Meeting, Leipzig, Germany. R. Seppelt, A.A. Voinov, S. Lange, D. Bankamp (Eds.). <http://www.iemss.org/society/index.php/iemss-2012-proceedings>.

López T. et al 2013. „Modelando un Indicador para la Vulnerabilidad Social“. 2 Congreso Venezolano de Ciencias, Tecnologías e Innovación. Ministerio del Poder Popular para Ciencia, Tecnología e Innovación. Caracas del 07 al 10 de Noviembre de 2013

López T. et al 2014. „SiVlo, Modelling Social Vulnerability under a Local Perspective“ International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs). 7th Intl. Congress on Env. Modelling and Software, San Diego, CA, USA, Daniel P. Ames, Nigel W.T. Quinn and Andrea E. Rizzoli (Eds.). <http://www.iemss.org/society/index.php/iemss-2014-proceedings>

López-Moreno, J. et al 2017, Hydrological and depositional processes associated with recent glacier recession in Yanamarey catchment, Cordillera Blanca (Peru), <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.107>

Lozán, J. L. und Kasang, D. 2015. Gletscher Südamerikas. Warnsignal Klima: Das Eis der Erde. doi:10.2312/warnsignal.klima.eis-der-erde.25

Lozan, J.L et al 2018. Warnsignal Klima - Extremereignisse. Buchreihe Warnsignale (17 Bände). ISBN 978-3-982-0067-0-3

Lozán, J.L. et al 2018b. Klimawandel und Wetterextreme: Ein Überblick .Warnsignal Klima - Extremereignisse. Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg. [www.warnsignal-klima.de](http://www.warnsignal-klima.de)

Macroeconomía y Política Fiscal. <http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2012/04/Fun->

Econ/11.pdf

Magaña, V. 2012. Guía metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad ante el cambio climático. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC); Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo (PNUD), México, 2012.

Mallick, B. 2014. Der gesellschaftliche Umgang mit zunehmender Verwundbarkeit. KITpublishing, Karlsruhe. EAN(Elektronische vesion) 9782821851412.

Marshall N. et al. 2014. Social vulnerability to climate change in primary producers: A typology approach. Agriculture, Ecosystems and Environment 186 (2014) 86–93. [www.elsevier.com/locate/agee](http://www.elsevier.com/locate/agee)

Martínez-Patiño 2012, Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en México Tecnología y Ciencias del Agua [en línea] 2012, III (Enero-Marzo) : [Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2017] Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353531976001>> ISSN 0187-8336

Mark, B. 2008 Tracing tropical Andean glaciers over space and time: Some lessons and transdisciplinary implications. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921818107000197>

Mark, B. et al 2005. Deglaciation in the Peruvian Andes: climatic forcing, hydrologic impact and comparative rates over time. [https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F1-4020-3508-X\\_21](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F1-4020-3508-X_21). DOI: 10.1007/1-4020-3508-X\_21

Mark B. et al. 2010. Climate Change and Tropical Andean Glacier Recession: Evaluating Hydrologic Changes and Livelihood Vulnerability in the Cordillera Blanca, Peru. Annals of the Association of American Geographers, 100(4)2010,P. 794-805.

Meadows, D. 1974. „Dynamics of growth in a finite world“. Wright – Allen Press, Inc. 238 Main Street. Cambridge, Massachusetts 02142.

Medina S. 2010. Curso de Introducción al Modelado y la Simulación II. EISULA, Dpto de Investigación de Operaciones, ULA – Venezuela

Medina S. und Moya J. 2017. Optimización de modelos de simulación en Simpy : aplicación de la metodología de superficies de respuesta. EISULA, Dpto de

Investigación de Operaciones, ULA – Venezuela. Digital Version RedULA

Menacho, T. 2014. [http:// www.ced.uab.es/ personal/ documents/ tmenacho/ MemoriaTMenacho.pdf](http://www.ced.uab.es/personal/documents/tmenacho/MemoriaTMenacho.pdf)

Mendaña, C. und López, E. 2001. European Aplicación de los Expertones a la Representación con 2-Tuplas Lingüísticas para la Valoración de Empresas en Ambiente de Incertidumbre. Association of Business Economics. <http://sicodinet.unileon.es/misyg/Pscript/doc85.pdf>

Minam, 2010. Plan de Acción de Adaptación y Mitigacion Frente al Cambio Climático. ISBN 978-612-45818-2-3. Deposito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N°2010-15612. Last review 01.02.16.

Minam-Duran 2010. Adaptation in the Tropical Anden. Adaptation Knowledge Day 32nd SBSTA [http://www.unep.org/climatechange/adaptation/Portals/133/documents/AdaptationKnowledgeDay\\_EDurand.pdf](http://www.unep.org/climatechange/adaptation/Portals/133/documents/AdaptationKnowledgeDay_EDurand.pdf)

MInam, 2015. Se aprueba la nueva Estrategia Nacional ante el Cambio Climático (ENCC). <http://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/se-aprueba-la-nueva-estrategia-nacional-ante-el-cambio-climatico-encc/>

MFCED, 2008. Ministerio Federal de Coperación Económica y Desarrollo, 2008. El clima cambia, mi vida también. 30 testimonios. En el marco de: V Cumbre ALC-UE, Perú-2008. [www.elclimacambia.pe](http://www.elclimacambia.pe)

Mondragón, A. 2002. ¿Qué son los indicadores? Notas. Revista de información y análisis 19. <http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/contenidos/articulos/economicas/indicadores.pdf> (last review: 23.12.13).

Montgomery, D. 2002. Applied Statistics and Probability for Engineers. 3rd ed. S.401. ISBN 0-471-20454-4

Morales, R. 2005. Estadísticas de la Última Decada, precios, producción y pobreza en el Perú. IEP, Instituto de Estudios Peruanos. <http://iep.org.pe/fondo-editorial/tienda-virtual/estadisticas-de-la-ultima-decada-precios-produccion-y-pobreza-en-el-peru/>

Moreno, A. 2008. Impactos Sociales del Cambio Climático en México. [http://centro.paot.mx/documentos/pnud/impactos\\_sociales\\_CC.pdf](http://centro.paot.mx/documentos/pnud/impactos_sociales_CC.pdf)

Murillo, J. o.d. Cuestionarios y escalas de actitudes. Universidad Autonoma de Madrid. Facultad de Formacion de Profesorado y Educacion. [https://www.uam.es/personal\\_pdi/stmaria/jmurillo/Met\\_Inves\\_Avan/Materiales/Apuntes%20Instrumentos.pdf](https://www.uam.es/personal_pdi/stmaria/jmurillo/Met_Inves_Avan/Materiales/Apuntes%20Instrumentos.pdf)

National Geographic, 2012. Wird das Wetter immer extremer?. September 2012. [www.nationalgeographic.de](http://www.nationalgeographic.de). 4 195069 005007 09

NEAS, o.d. Vulnerabilidades Social. Um Indicador de Vulnerabilidade Social para Grupos Humanos Núcleo de Estudos em Administração y Salud; FURG:Fundação Universidade Federal do Rio Grande. [www.bibalex.org/supercourse/.../10011.../10841.ppt](http://www.bibalex.org/supercourse/.../10011.../10841.ppt)

Neuburger, M. 2002. Pionierfrontenentwicklung im Hinterland von Cáceres (Mato Grosso, Brasilien). Ökologische Degradierung, Verwundbarkeit und kleinbäuerliche Überlebensstrategien. Tübinger Geographische Studien 135 / Tübinger Beiträge zur Geographischen Lateinamerika-Forschung 23 (Hrsg. G. Kohlhepp). S.23

Neuburger, M. et al. 2012. *Peasant Vulnerability, Glacier Mass Decline and Water Availability: Case Study Concerning the Effects of Changing Runoff Regimes in the Cordillera Blanca, Peru*. In: SANDNER LE GALL, V. & WEHRHAHN, R. (Hrsg.): Geographies of Inequality in Latin America. Kieler Geographische Schriften, 123. Kiel, S. 77-93. [https://www.stadtgeo.uni-kiel.de/de/team/wehrhahn/artikelmaterial%/Inhaltsverzeichnis\\_KGS\\_123.pdf](https://www.stadtgeo.uni-kiel.de/de/team/wehrhahn/artikelmaterial%/Inhaltsverzeichnis_KGS_123.pdf) ISSN 0723 – 9874, ISBN 978-3-923887-65-1. S.12

Neuburger, M. Kaser G. 2013 *Power Related Access to Water and Glacier Fed Water Availability in the Tropical Callejón de Huaylas, Peru*. A joint case study of human-geographers and glacio-hydrologists. A research proposal submitted to the Austrian Science Fond, FWF, and the German Research Fund, DFG.

Neuburger, M. 2016 Comparing peasants' perceptions of precipitation change with precipitation records in the tropical Callejón de Huaylas, Peru. *Earth System Dynamics*. 7. 499-515. 10.5194/esd-7-499-2016.

Neuburger, M. 2018. Perus Bevölkerung: Das historische Gewordensein von

Diskriminierungen und Privilegierungen. 10.17058/redes.v23i1.11585 . Vol 23

OCTAVE, Octave/Matlab Tutorial, <http://ais.informatik.uni-freiburg.de/teaching/ws11/robotics2/pdfs/rob2-03-octave.pdf>

OCTAVE, Manual de iniciación a GNU.  
[http://softlibre.unizar.es/manuales/aplicaciones/octave/manual\\_octave.pdf](http://softlibre.unizar.es/manuales/aplicaciones/octave/manual_octave.pdf)

OEA. 1993. Manual sobre el manejo de peligros naturales en la planificación para el desarrollo integral planificado.  
<http://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea65s/oea65s.pdf/> (last review: 17.06.13).

OMS 2015. Portal de la Organización Mundial de la Salud. <http://www.who.int/es/>

Ortwin,R. 2007. RISIKO, Über den gesellschaftlichen Umgang mit Unsicherheit. Oekom Verlag, München.

Otto, I. et al. 2017. Social vulnerability to climate change: a review of concepts and evidence.  
[https://www.researchgate.net/publication/314091403\\_Social\\_vulnerability\\_to\\_climate\\_change\\_a\\_review\\_of\\_concepts\\_and\\_evidence](https://www.researchgate.net/publication/314091403_Social_vulnerability_to_climate_change_a_review_of_concepts_and_evidence)

Ovando, N. 2008. Impactos del cambio climático en áreas protegidas y glaciares: Foco América Latina.

Pampillón, R. 2013. Economy Weblog.  
<http://economy.blogs.ie.edu/archives/2013/02/que-es-el-pib-nominal-que-es-el-pib-real.php#sthash.XjhTrLZ1.dpuf>

Patterson, M. 2013. Vulnerability: A Short Review. ICR Working Paper #3. Available at: <http://www.viu.ca/icr/resources/publications/>

Piani, C. et al 2010, Statistical bias correction of global simulated daily precipitation and temperature for the application of hydrological models, Journal of Hydrology. Elsevier <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169410006475>  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.10.024>

PNUD 2010. Impacto de la relacion agua y cambio climatico en los sistemas sociales de México. Instituto Mexicano de Tecnologia del Agua, IMTA. Subcoordinacion de Participación Social.  
PNUD\_vulnerabilidad\_indicadores\_dif\_sedesol\_otros.pptm

Pratap, R. 2002. Getting Started with MATLAB. A quick Introduction for Scientists and Engineers. Oxford University Press, Inc. ISBN: 0-19-515014-7.

Prato, T. 2005. Evaluating land use plans under uncertainty. ScienceDirect, Land Use Policy 24 (2007) 165–174.

Prato, T. 2006. Accounting for risk and uncertainty in determining preferred strategies for adapting to future climate change. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. © Springer Science+Business Media, B.V. 2007. 10.1007/s11027-007-9080-y.

Prato, T. 2008. Conceptual framework for assessment and management of ecosystem impacts of climate change. Ecological Complexity. Volume 5, Issue 4, December 2008, Pages 329-338

Prato, T. 2008a. Adaptive management of natural systems using fuzzy logic. Environmental Modelling & Software 24 (2009) 940–944

Prato, t. 2008b. Fuzzy adaptive management of social and ecological carrying capacities for protected areas . Journal of Environmental Management 90 (2009) 2551–2557

Prato, T. 2009. Adaptive management of natural systems using fuzzy logic. Environmental Management . Environmental Modelling & Software Volume 24, Issue 8 August 2009, Pages 940–944.

Prato, T. 2010. Sustaining Ecological Integrity with Respect to Climate Change: A Fuzzy Adaptive Management Approach. Environmental Management (2010) 45:1344–1351 DOI 10.1007/s00267-010-9493-3

Prato, T. 2014. Vulnerability and adaptation of crop production to future climate change: a case study for representative farms in Flathead Valley, Montana, USA. International Environmental Modelling and Software Society (iEMSS) 7th International Congress on Environmental Modelling and Software San Diego, California, USA, D.P Ames, N.W.T. Quinn and A.E. Rizzoli (Eds.) <http://www.iemss.org/society/index.php/iemss-2014-proceedings>

Prato, T. 2016. Chapter 10 - Fuzzy Adaptive Management of Coupled Natural and Human Systems. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63623-2.00010-4>

Developments in Environmental Modelling. Volume 28, 2016, Pages 211-225

PUCP, 2010. Algorithm applied in dialogue with Stakeholders: a case study in a business tourism sector Contabilidad y Negocios; Vol. 5, No. 10 (2010); 76-85  
<http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/contabilidadyNegocios/article/view/269/263>

Quiroga R. 2009. Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe. Serie Manuales, Numero 61. ISBN: 9789213232989. <http://www.cepal.org/es/publicaciones/5502-guia-metodologica-para-desarrollar-indicadores-ambientales-y-de-desarrollo>

Rabatel A. et al 2012. Review article of the current state of glaciers in the tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change. In: The Cryosphere Discussions 6.  
[http://www.heltschl.org/5/52/pdfs/Spektrumde2012\\_11\\_15.pdf](http://www.heltschl.org/5/52/pdfs/Spektrumde2012_11_15.pdf)

Reuber,P. 2013, Methoden der empirischen Humangeographie. Das geographische seminar, Band 22. 2. Auflg. Braunschweig-Westermann.

Rincón, M. 2009. Consideraciones para construcción de Indicadores socio demográficos y ambientales e implementación en un sistema. Last review: 24.10.13 at: <http://www.ues.edu.sv/inve/publica/labores/informe09/>

Ruiz, N. 2011. La definición y medición de la vulnerabilidad social. Un enfoque normativo.  
[http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/inves\\_geo/boletines/77/bltn77\\_art\\_e.pdf](http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/inves_geo/boletines/77/bltn77_art_e.pdf) S, 65 (last Review Juli 2017).

Ruiz, V. 2012. Comparación de dos variables climáticas: temperatura y precipitación, registradas en dos Estaciones Agro meteorológicas del norte de Nicaragua en el período 2009 - 2011.  
<http://www.farem.unan.edu.ni/revistas/index.php/RCientifica/article/viewFile/22/19>.

Rumbos, 2018. Cordillera Blanca: glaciares cercanos a las ciudades se derriten más rápido. <https://www.rumbosdelperu.com/ambiente/15-04-2018/cordillera-blanca-glaciares-cercanos-a-las-ciudades-se-derriten-mas-rapido/>

Sahui, J. oD. Aplicación Del Modelo De Análisis Estratégico De Michel Crozier Y Erhard Friedberg A Una Organización De Educación Superior (Oes).

<https://www.scribd.com/document/216052543/Alplicacion-del-moelo-de-analisis-estrategico-de-Crozier-a-una-organizacion-de-educacion-superior> letzte Revsion im Oktober 2018

Schauwecker, S. et al 2014. Climate trends and glacier retreat in the Cordillera Blanca, Peru, revisited. Zurich Open Repository and Archive University of Zurich Main Library Strickhofstrasse 39 CH-8057 Zurich [www.zora.uzh.ch](http://www.zora.uzh.ch). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2014.05.005>

Schellnhuber HJ. Et al. 2016. The challenge of a 4 °C World by 2100. [https://www.researchgate.net/publication/306037653\\_The\\_Challenge\\_of\\_a\\_4C\\_World\\_by\\_2100/citation/download](https://www.researchgate.net/publication/306037653_The_Challenge_of_a_4C_World_by_2100/citation/download). 10.1007/978-3-319-43884-9\_11.

SENAHMI, 2010, Escenarios Climáticos en la Cuenca del Río Santa para el 20130. Segunda Convención Nacional de Cambio Climático, S.13. [https://www.senamhi.gob.pe/usr/cmn/pdf/Resumen\\_Santa.pdf](https://www.senamhi.gob.pe/usr/cmn/pdf/Resumen_Santa.pdf)

Shannon, R. - Johannes, J. 1976, «Systems simulation: the art and science». IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics 6(10). pp. 723-724

Schuler, S. 2009. Schülervorstellungen zu Bedrohung und Verwundbarkeit durch den globalen Klimawandel. [https://www.ph-ludwigsburg.de/fileadmin/subsites/1d-geox-t-01/user\\_files/personen/schuler/Schuler-2009\\_Schuelervorst-Verwundbarkeit-Klimawandel.pdf](https://www.ph-ludwigsburg.de/fileadmin/subsites/1d-geox-t-01/user_files/personen/schuler/Schuler-2009_Schuelervorst-Verwundbarkeit-Klimawandel.pdf) S.3,8,20,21

Scheffran J. et al. 2010. Integrated Concepts and Adaptive Strategies for Addressing Social Vulnerability to Climate Change: the Case of the Mediterranean Region. <http://www.icarus.info/wp-content/uploads/2010/06/Jurgen-Scheffran.pdf> . S.3

Scheffran J. et al. 2013. Vulnerabilities, adaptive capacities and transboundary relations in the Nile River Basin in times of climate change, Poster, Conference "Climate Change and Security at the Crossroads - Pathways to Conflict or Cooperation?", Kristiansand, Norway, June 20-21, 2013. [https://clisec.zmaw.de/fileadmin/user\\_upload/fks/staff/link/Poster\\_Link\\_et-al\\_2013\\_Nile.pdf](https://clisec.zmaw.de/fileadmin/user_upload/fks/staff/link/Poster_Link_et-al_2013_Nile.pdf)

Scheffran, J. 2018. Migration und Soziale Probleme als Folge von Wetterextremen. S.320-325. In Lozan, J. et al. Warnsignal Klima - Extremereignisse. Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg. <https://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de/wp-content/uploads/2018/11/Scheffran.pdf>

Semana 2015. Escenarios de cambio climático (2011 – 2100): ¿Qué son y para qué sirven?. <http://sostenibilidad.semmana.com/medio-ambiente/articulo/escenarios-cambio-climatico-2011-2100-que-para-que-sirven/32812>

Senamhi, 2009, *Climate Scenarios for the Santa River Basin to 2030*. National Metereology and Hidrology Service. Numerical prediction Center-CPN. <http://www.senamhi.gob.pe>

Senamhi, 2009<sup>2</sup>, *Climate Scenarios for Peru*. National Metereology and Hidrology Service. Numerical prediction Center-CPN. <http://www.senamhi.gob.pe>

Senamhi, 2009<sup>3</sup>, *Escenarios Climáticos en la Cuenca del Rio Santa*. National Metereology and Hidrology Service. Numerical prediction Center-CPN. <http://www.senamhi.gob.pe>

Senamhi, 2009<sup>4</sup>, *Climate Scenarios for the Mayo River Basin to 2030*. National Metereology and Hidrology Service. Numderical prediction Center-CPN. [https://www.senamhi.gob.pe/usr/cmn/pdf/Resumen\\_Santa.pdf](https://www.senamhi.gob.pe/usr/cmn/pdf/Resumen_Santa.pdf)

Senamhi, 2009<sup>5</sup>, *Revista Peruana GEO-Atmosferica Tiempo-Clima-Agua-Agro-Ambiente*. ISSN 2077-3447. Ausgabe N.1. Lima-Peru. [www.senamhi.gob.pe/RPGA](http://www.senamhi.gob.pe/RPGA)

Senamhi, 2009<sup>6</sup>, *Revista Peruana GEO-Atmosferica Tiempo-Clima-Agua-Agro-Ambiente*. ISSN 2077-3447. Ausgabe N.2. Lima-Peru. [www.senamhi.gob.pe/RPGA](http://www.senamhi.gob.pe/RPGA)

Senamhi, 2009<sup>7</sup> *Escenarios de Cambio Climático en la Cuenca del Rio Mantaro para el año 2100*. National Metere ology and Hidrology Service. Numerical prediction Center-CPN. <http://www.senamhi.gob.pe>

Senahmi, 2009. *Escenarios Climaticos En La Cuenca Del Rio Santa Para El Año 2030*.

SIISE, o.d. *Indicadores de Vulnerabilidad Social*, SIISE. Ecuador. [http://www.siise.gob.ec/siiseweb/PageWebs/POBREZA/ficpob\\_P40.htm](http://www.siise.gob.ec/siiseweb/PageWebs/POBREZA/ficpob_P40.htm)

SUP 2011. Sociedad Urbanista de Peru. Informe Peru: vulnerabilidad de las ciudades frente al cambio climático en agua potable y saneamiento. <http://www.asocam.org/biblioteca/files/original/cc6ae5e1d9e6d1e1b5ccf077f6322552.pdf>

Trejo, D – Medina, S. 2015. Modelado y Simulación mediante SOCLAB, del Juego de Poder, en la Escuela de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Los Andes (EISULA). Mérida-Venezuela. Trabajo de Grado.

Turner, B.L. et al 2003. A Framework for vulnerability analysis in sustainability science. [www.pnas.org/cdi/doi/10.1073/pnas.1231335100](http://www.pnas.org/cdi/doi/10.1073/pnas.1231335100), S.8075 (last review: Juli 2017)

Turner, B.L. 2010. Vulnerability and resilience: coalescing or paralleling approaches for sustainability science?. [http://www.public.asu.edu/~bturner4/JGEC\\_Turner2010.pdf](http://www.public.asu.edu/~bturner4/JGEC_Turner2010.pdf)

UBA, 2015 <http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/folgen-des-klimawandels/risiken-verwundbarkeit>. S.1

Ulanowicz, R. 2009. The dual nature of ecosystem dynamics. Ecological Modelling (2009), doi: 10.1016/j.ecolmodel.2009.04.015.

Villanueva, R. 2010. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Fac de Economía y contabilidad. Biblioteca Virtual. Población de Ancash y su problemática. <http://bdfec.blogspot.de/2010/07/poblacion-de-ancash-y-su-problematica.html> . last review: 23.11.13 at: <http://bdfec.blogspot.de/2010/07/poblacion-de-ancash-y-su-problematica.html>

Terram, 2009. Glaciares en peligro por cambio climático. [http://www.terram.cl/index.php?option=com\\_content&task=view&id=3440](http://www.terram.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=3440). (last review: April 2010).

UBA o.d. Umwelt Bundesamt. <http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/folgen-des-klimawandels/risiken-verwundbarkeit> Last review 24.06.17

Vahidi, A. 2007. A New Defuzzification Method for Solving Fuzzy Mathematical Programming Problems.

[https://www.researchgate.net/publication/307560908\\_Provide\\_A\\_Model\\_To\\_Defuzzify\\_Fuzzy\\_Mathematical\\_Programming\\_Models/link/5c5aa6a3299bf1d14caf5248/download](https://www.researchgate.net/publication/307560908_Provide_A_Model_To_Defuzzify_Fuzzy_Mathematical_Programming_Models/link/5c5aa6a3299bf1d14caf5248/download)

VDI, 2012. Visión de Inversión. <http://www.visiondeinversion.com/?p=554>

VIU, 2013. Vulnerability: A Short Review.

<https://www2.viu.ca/icr/files/2012/06/Vulnerability-Literature-review-SSHRC-partnership-grant.pdf>

Villanueva, R. 2011. Características de la Cuenca del Río Santa, Folleto Informativo No.1. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2011-087.pdf>

Vittal, H. et al. 2019. A Comprehensive Social Vulnerability Analysis at a National Scale. 10.1007/978-981-13-0280-0\_10.

Vuille, M. et al 2000. Mean annual temperature trends and their vertical structure in the tropical Andes. *Journal of Geophysical Research*.

<http://onlinelibrary.wiley.com/store/10.1029/2000GL011871/asset/grl13930.pdf;jsessionid=5C5E729BA60B18C0A045C59D786EA382.f01t02?v=1&t=j4zxrFu8&s=91d06be2b8105379f6105b1a5243433c82e128fc>

Vuille, M. et al 2003. 20TH Century Climate Change in the Tropical Andes: Observations and Model Results. [https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-94-015-1252-7\\_5](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-94-015-1252-7_5)

Vuille, M. et al 2007 Glacier mass balance variability in the Cordillera Blanca, Peru and its relationship with climate and the large-scale circulation *Global and Planetary Change* 62 (2008) 14–28

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921818107001919?via%3Dihub>

Vuille, M. Kaser, G. 2008. Climate change and tropical Andean glaciers: past, present and future. *Earth-Science Reviews* 89 (2008) P. 79-96.

Vuille, M. et al, 2007. Glacier mass balance variability in the Cordillera Blanca, Peru and its relationship with climate and the large-scale circulation. *ScienceDirect, Global and Planetary Change* 62 (2008) 14–28  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.11.003>

Wagemann, C. 2007. Standards Of Good Practice In Qualitative Comparative

Analysis (Qca) And Fuzzy-Sets,  
<http://www.compass.org/wpseries/WagemannSchneider2007.pdf>

Walker, B. et al. 2006. Exploring resilience in social-ecological systems through comparative studies and theory development: introduction to the special issue. *Ecology & Society*, 11 (1), P. 12.

Webde, o.d. variables del clima y del cambio climatico. <http://www.webgeo.de/>. Last review 03.05.17

Weber, M. 1949. "Objectivity" in social sciences and social policy. In *The Methodology of the Social Sciences*, Free Press, New York, 1949, S. 11,15,52. <https://ia802608.us.archive.org/30/items/maxweberonmethod00webe/maxweberonmethod00webe.pdf>

Weiss, S. 2014. Die gefährlichen Lagunen von Peru. <http://www.tagesspiegel.de/weltspiegel/land-der-un-klimakonferenz-die-gefaehrlichen-lagunen-von-peru/11095728.html>

WGMS, 2007. Global Glacier Chances. Facts and Figures. World Glacier Monitoring Services, WGMS. UNEP <http://www.grid.unep.ch/glaciers/pdfs/glaciers.pdf>

WHO o.d. The Nature and Use of Indicators, Kap. 2. <http://www.who.int/mediacentre/events/IndicatorsChapter2.pdf>

Yohe, G. and Tol, R. 2002. Indicators for social and economic coping capacity. Moving toward a working definition of adaptive capacity. *Global Environmental Change* 12 (2002) 25–40

Young, K. 2006. Adaptive governance and climate change in the tropical highlands of western South America. *Climatic Change* 78 (2006), P. 63-102.

Youssefi, H. 2011. A New Method for Modelling System Dynamics by Fuzzy Logic: Modelling of Research and Development in the National System of Innovation. [http://www.tjmcs.com/includes/files/articles/Vol2\\_Iss1\\_88%20-%2099\\_A\\_New\\_Method\\_for\\_Modeling\\_System\\_Dynamics\\_by\\_Fuzzy\\_Logic\\_Modeling\\_of\\_Research\\_and\\_Development\\_in\\_the\\_National\\_System\\_of\\_Innovation.pdf](http://www.tjmcs.com/includes/files/articles/Vol2_Iss1_88%20-%2099_A_New_Method_for_Modeling_System_Dynamics_by_Fuzzy_Logic_Modeling_of_Research_and_Development_in_the_National_System_of_Innovation.pdf) (last review: December 2011)

Zadeh, L. 1965. Fuzzy Sets. *Information and Control*. Volume 8, Issue 3, June 1965,

Pages 338-353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)

Zadeh, L. 1997. Toward a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic. *Fuzzy Sets and Systems* Volume 90, Issue 2, 1 September 1997, Pages 111-127.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165011497000778>

[https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(97\)00077-8](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(97)00077-8)Get rights and content

Zimmermann, H. 1993. *Fuzzy Set, Decision Making, and Expert Systems*. Third Edition. 1993. ISBN 978-94-009-3249-4

Zwiecker, E. 1981. *Simulation und Analyse dynamischer Systeme in den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften*. Berlin; New York: De Gruyter, 1981, 168-374.

## 7 ANHANG

### Anhang 1: Befragung 1. Offener Fragebogen.

Befragung 1. Cuestionarios abiertos (15 encuestados expertos y/no residentes en Huaraz/ + 10 encuestados habitantes de la Quebrada Shallap )

Area de trabajo:

Ubicación:

1.- Podría definir, en conceptos cortos, su visión de los impactos del Cambio Climático(CC) en el Perú:

2.- Cómo le afecta a Ud y a su comunidad el CC

3.- Cual ha sido hasta ahora, según su opinión, el plan de mejora en el uso de los recursos??.(Podría mencionarlos?).

4.-Podría definir las acciones que le parece hicieron o hacen de ese plan algo particular o positivo?

5.- Cuales son,a su modo de ver, los factores “de conflicto” en el aspecto “agua” ( en el aspecto clima) en la zona de la Cordillera Blanca ( Huaráz (    ), Otra Zona(    )).

6.- Se ha incorporado la Vulnerabilidad y la Percepción del Riesgo, de los pobladores adyacentes a la zona Glaciar (Huaráz (    ), Otra Zona(    ) \_\_\_\_\_), en los planes/proyectos de optimización de recursos en la zona?

Si:

No:

7.- Podría mencionar un plan y cómo aparece esa incorporación en el plan?

8.- Si Ud. pudiese ejecutar el plan de reducción de la vulnerabilidad social en la Cordillera Blanca (Huaráz(    ), Otra Zona(    ) \_\_\_\_\_ ), cuales sería las acciones a realizar?

9.- Cuales son las debilidades y fortalezas de los planes aplicados en el Perú ante el CC??

Debilidades	Fortalezas

10.- La recopilación, captura de datos, (evaluaciones, analisis de indicadores) de los entes y organizaciones ambientales, son aplicadas en la toma de decisiones gubernamentales

Totalmente Bastante

Parcialmente Muy Poco

Nada

11.- Podría darme una medida del grado de satisfacción de las actividades que realiza para minimizar el CC

Totalmente Bastante

Parcialmente Muy Poco

Nada

12.- Cómo definiría la comunicación entre el gobierno y los pobladores de las zonas adyacentes a la Cordillera Blanca (Huaráz(            ), Otra Zona(            )  
\_\_\_\_\_ )

Excelente Buena

Parcial Muy Poca

Inexistente

**13.-** Cuales son los problemas que mas le afectan y en cuanto le afectan( cuanto le daría en un puntaje del 1 al 10)

Muchas Gracias por su tiempo!.

## Anhang 2: Befragung 2. Maßgebliche Variablen in der Region.

Encuesta 2. Variables distintivas en la región (10 Consultados)

Area de trabajo: \_\_\_\_\_ Ubicación, País:  
\_\_\_\_\_

La Vulnerabilidad Social es presentada aqui, como la posibilidad de daños a ciertas amenazas que pudiesen ocurrir sobre poblaciones o individuos.

.- El sistema de calificación será con una valuacion en un rango de 0 a 10 , donde valor "0" representa el mínimo y valor "10" el máximo.

1.-Considera Ud que la toma de decisiones de nuestros entes gubernamentales fundamentada en recopilación,captura de datos, evaluaciones, analisis de indicadores es, en la escala del [0,10]

Inclusión de índices y estadísticas en la toma de decisiones	
Grado de inclusión	Marque con X
0: Nada	
1: Prácticamente nada	
2: Muy Poco	
3: Poco	
4: Medianamente algo	
5: Algo	
6: Poco mas que algo	
7: Bastante	
8: Considerablemente	

bastante	
9: Mucho	
10: Totalmente	

2.- Dando una medida al grado de influencia que tiene cada situación emitida, en la vulnerabilidad social, coloque el puntaje en la casilla que se ha denominado **PONDERACIÓN**. El puntaje sigue las definiciones dadas en la tabla anterior

Vulnerabilidad Social	
Situación	<b>PONDERACIÓN</b>
Minería	
Turismo	
Agricultura	
Estructura Poblacional	
Migración*	
Analfabetismo*	
Salud	
Pobreza	

\*: Migración y Analfabetismo están incluidos en algunos modelos de población pero no siempre es el caso. Por eso se pide emitir también su apreciación en estos dos puntos.

Las opiniones emitidas en este formulario son confidenciales y anónimas. Muchas Gracias por su tiempo!.

### Anhang 3: Bewertungen der lokalen Experten.

Tabla 9. Opinion de Expertos locales Ponderacion y peso de las variables(10 Encuestados, representantes de comités de riego, representantes comunales, habitantes moradores y conocedores de la zona).

	Agric	LSM	Tour	Mig	Gsd	Anph
Expert 1	0,1	0,9	0,8	0,2	0	0,1
Expert 2	0,4	0,7	0,9	0,4	0,2	0,3
Expert 3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Expert 4	0,7	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2
Expert 5	0	1	0,3	0,2	0	0,2
Expert 6	0,1	0,9	0,9	0,5	0,1	0,1
Expert 7	0	0,9	0,1	0,1	0,1	0,1
Expert 8	0,1	0,8	0,2	0,2	0	0
Expert 9	0,7	0,1	0,1	0,5	0	0
Expert 10	0,5	0,8	0,8	0,1	0,4	0,5

## Anhang 4: Befehle zur Berechnung der kleinste Quadrate-Methode mit MatLab.

%% Comandos para el cálculo en MatLab de la recta de mínimos cuadrados que ajusta

%% los datos de (fracción de) Mig entre los años 2005 al 2012

%%

%%

%% Time = años base para la predicción

%% Ea = Emigración de Ancash en los años base

%% Pa = Población de Ancash en los años base

%% Mig = (fracción de la) Migración en los años base

%%

%%

disp('Time = años base para la predicción')

Time = [ 1961 1972 1981 1993 2007]'

disp('Ea = Emigración de Ancash en los años base')

Ea = [130225 227361 286409 367137 389905]'

disp('Pa = Población de Ancash en los años base')

Pa = [586214 732092 826399 955023 1097098]'

disp('Mig = (fracción de la) Migración en los años base')

Mig = Ea ./ Pa

%%

disp('P contiene los coeficientes de la recta de mínimos cuadrados que ajusta los datos')

```

P = polyfit(Time, Mig, 1)

%%

%% P contiene los coeficientes de la recta de mínimos cuadrados que "ajusta"
%% los datos, en orden decreciente de las potencias de la variable independiente.

%%

%% La recta es: Mig = P(1) * Time + P(2)

%%

%% Extd_Time = años a predecir

%% Ext_Mig = (fracción de la) Migración predicha

%%

%%

Extd_Time = [2005:2012]'

%%

%%

Ext_Mig = polyval(P,Extd_Time)

```

Das Ergebnis dieses Algorithmus ist wie folgt:

Valores predichos de Mig entre 2005 y 2012	
2005	0.38777
2006	0.39065
2007	0.39353
2008	0.39641
2009	0.39929
2010	0.40218
2011	0.40506
2012	0.40794

## Anhang 5: MatLab Berechnung des EXPERTONS.

Calculo del EXPERTON

% Funciona para n matrices de cualquier tamaño, no es dinámico,

% hay que introducir las matrices en el código

%clear all

%close all

global M1 M2 M3 M4 M5 M6 M7 M8 M9 M10 vx VM c d e n % Declarar tantas matrices como

    %opiniones de expertos haya

    %una matriz por experto...

M1=[0.1 0.9 0.8 0.2 0 0.1];

M2=[0.4 0.7 0.9 0.4 0.2 0.3];

M3=[0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5]; %Inicializar las matrices declaradas...

%

M4=[0.7 0.4 0.3 0.3 0.3 0.2];

% .

M5=[0 1 0.3 0.2 0 0.2];

%

M6=[0.1 0.9 0.9 0.5 0.1 0.1];

%

M7=[0 0.9 0.1 0.1 0.1 0.1];

%

M8=[0.1 0.8 0.2 0.2 0 0];

%

M9=[0.7 0.1 0.1 0.5 0 0];

%

M10=[0.5 0.8 0.8 0.1 0.4 0.5];

%

[a b]=size(M1);

c=a\*b; %Calcula el numero máximo de elementos que

    %poseen las Matrices

n=10; %Numero de Matrices = Nro de Expertos

```
VM=zeros(11,c); %Es una Matriz "Vector de Vectores"
```

```
    %Tiene tantos vectores (Expertones)
```

```
    %como elementos (ai) tienen las M's)
```

```
d=zeros(1,11); %Vector auxiliar, sirve de contador
```

```
    %de frecuencias para cada ai
```

```
e=zeros(1,c); %Vector donde se almacenan las
```

```
    %esperanzas matemáticas de los expertones
```

```
for k=1:1:c    %Camina por todos los aij de LA MATRIZ
```

```
    switch M1(k)    %Revisa el elemento aij y compara
```

```
        %con el decadario en M1
```

```
    case 0
```

```
        d(1)=d(1)+1;
```

```
    case 0.1
```

```
        d(2)=d(2)+1;
```

```
    case 0.2
```

```
        d(3)=d(3)+1;
```

```
    case 0.3
```

```
        d(4)=d(4)+1;
```

```
    case 0.4
```

```
        d(5)=d(5)+1;
```

```
    case 0.5
```

```
        d(6)=d(6)+1;
```

```
    case 0.6
```

```
        d(7)=d(7)+1;
```

```
    case 0.7
```

```
        d(8)=d(8)+1;
```

```
    case 0.8
```

```
        d(9)=d(9)+1;
```

```
    case 0.9
```

```
        d(10)=d(10)+1;
```

```
    case 1
```

```

d(11)=d(11)+1;
...
otherwise, % opción por defecto
M1;
end

switch M2(k) %Revisa el elemento aij y
    %compara con el decadario en M2
case 0
d(1)=d(1)+1;
case 0.1
d(2)=d(2)+1;
case 0.2
d(3)=d(3)+1;
case 0.3
d(4)=d(4)+1;
case 0.4
d(5)=d(5)+1;
case 0.5
d(6)=d(6)+1;
case 0.6
d(7)=d(7)+1;
case 0.7
d(8)=d(8)+1;
case 0.8
d(9)=d(9)+1;
case 0.9
d(10)=d(10)+1;
case 1
d(11)=d(11)+1;
...
otherwise, % opción por defecto
M2;
end

```

```

%
switch M3(k) %Revisa el elemento aij y
    %compara con el decadario en M2
case 0
d(1)=d(1)+1;
case 0.1
d(2)=d(2)+1;
case 0.2
d(3)=d(3)+1;
case 0.3
d(4)=d(4)+1;
case 0.4
d(5)=d(5)+1;
case 0.5
d(6)=d(6)+1;
case 0.6
d(7)=d(7)+1;
case 0.7
d(8)=d(8)+1;
case 0.8
d(9)=d(9)+1;
case 0.9
d(10)=d(10)+1;
case 1
d(11)=d(11)+1;
...
otherwise, % opción por defecto
M3;
end
%
switch M4(k) %Revisa el elemento aij y
    %compara con el decadario en M2
case 0
d(1)=d(1)+1;
case 0.1

```

```

d(2)=d(2)+1;
case 0.2
d(3)=d(3)+1;
case 0.3
d(4)=d(4)+1;
case 0.4
d(5)=d(5)+1;
case 0.5
d(6)=d(6)+1;
case 0.6
d(7)=d(7)+1;
case 0.7
d(8)=d(8)+1;
case 0.8
d(9)=d(9)+1;
case 0.9
d(10)=d(10)+1;
case 1
d(11)=d(11)+1;
...
otherwise, % opción por defecto
M4;
end
%
switch M5(k) %Revisa el elemento aij y
    %compara con el decenario en M2
case 0
d(1)=d(1)+1;
case 0.1
d(2)=d(2)+1;
case 0.2
d(3)=d(3)+1;
case 0.3
d(4)=d(4)+1;
case 0.4

```

```

d(5)=d(5)+1;
case 0.5
d(6)=d(6)+1;
case 0.6
d(7)=d(7)+1;
case 0.7
d(8)=d(8)+1;
case 0.8
d(9)=d(9)+1;
case 0.9
d(10)=d(10)+1;
case 1
d(11)=d(11)+1;
...
otherwise, % opción por defecto
M5;
end
%
switch M6(k) %Revisa el elemento aij y
    %compara con el decenario en M2
case 0
d(1)=d(1)+1;
case 0.1
d(2)=d(2)+1;
case 0.2
d(3)=d(3)+1;
case 0.3
d(4)=d(4)+1;
case 0.4
d(5)=d(5)+1;
case 0.5
d(6)=d(6)+1;
case 0.6
d(7)=d(7)+1;
case 0.7

```

```

d(8)=d(8)+1;
case 0.8
d(9)=d(9)+1;
case 0.9
d(10)=d(10)+1;
case 1
d(11)=d(11)+1;
...
otherwise, % opción por defecto
M6;
end
%
switch M7(k) %Revisa el elemento aij y
    %compara con el decenario en M2
case 0
d(1)=d(1)+1;
case 0.1
d(2)=d(2)+1;
case 0.2
d(3)=d(3)+1;
case 0.3
d(4)=d(4)+1;
case 0.4
d(5)=d(5)+1;
case 0.5
d(6)=d(6)+1;
case 0.6
d(7)=d(7)+1;
case 0.7
d(8)=d(8)+1;
case 0.8
d(9)=d(9)+1;
case 0.9
d(10)=d(10)+1;
case 1

```

```

d(11)=d(11)+1;
...
otherwise, % opción por defecto
M7;
end
%
switch M8(k) %Revisa el elemento aij y
    %compara con el decenario en M2
case 0
d(1)=d(1)+1;
case 0.1
d(2)=d(2)+1;
case 0.2
d(3)=d(3)+1;
case 0.3
d(4)=d(4)+1;
case 0.4
d(5)=d(5)+1;
case 0.5
d(6)=d(6)+1;
case 0.6
d(7)=d(7)+1;
case 0.7
d(8)=d(8)+1;
case 0.8
d(9)=d(9)+1;
case 0.9
d(10)=d(10)+1;
case 1
d(11)=d(11)+1;
...
otherwise, % opción por defecto
M8;
end
%
```

```

switch M9(k) %Revisa el elemento aij y
    %compara con el decadario en M2
case 0
d(1)=d(1)+1;
case 0.1
d(2)=d(2)+1;
case 0.2
d(3)=d(3)+1;
case 0.3
d(4)=d(4)+1;
case 0.4
d(5)=d(5)+1;
case 0.5
d(6)=d(6)+1;
case 0.6
d(7)=d(7)+1;
case 0.7
d(8)=d(8)+1;
case 0.8
d(9)=d(9)+1;
case 0.9
d(10)=d(10)+1;
case 1
d(11)=d(11)+1;
...
otherwise, % opción por defecto
M9;
end
%
switch M10(k) %Revisa el elemento aij y
    %compara con el decadario en M2
case 0
d(1)=d(1)+1;
case 0.1
d(2)=d(2)+1;

```

```

case 0.2
d(3)=d(3)+1;
case 0.3
d(4)=d(4)+1;
case 0.4
d(5)=d(5)+1;
case 0.5
d(6)=d(6)+1;
case 0.6
d(7)=d(7)+1;
case 0.7
d(8)=d(8)+1;
case 0.8
d(9)=d(9)+1;
case 0.9
d(10)=d(10)+1;
case 1
d(11)=d(11)+1;
...
otherwise, % opción por defecto
M10;
end
%
%
%Repetir el bloque anterior tantas veces
%como matrices haya,teniendo en cuenta
%la nomenclatura adecuada
%

VM(:,k)=d'; %asigna el vector de (transpuesto)
           %a la primera columna de VM
d=zeros(1,11); % reinicia al vector d
end

VM;    % Frecuencias

```

```

VN=VM./n; % Normalizado

for i=10:-1:1 % Ciclo para la acumulacion
    for j=1:1:c %
VN(i,j)= VN(i,j)+VN(i+1,j);
end
end

VO = VN; % EXPERTÓN ACUMULADO

%Calcula la esperanza matemática de VO, es decir
%de cada uno de los expertones....
for i=1:1:c
    e(i)= (sum(VO(:,i))-1)/10;
end
e;

VP=zeros(a,b);

for i=1:1:c
    VP(i)=e(i);
end
VP; % Vector de esperanzas matemáticas...

```

## Anhang 6: MatLab Code zur Berechnung des SVI.

Codigo Matlab para la NORMALIZACION

```
%  
  
% Rutina que calcula los coeficientes en el SVI  
  
% a partir del expertón VO obtenido por "expertones"  
  
%  
  
NIVELES=(0:1:10)/10; % Escala endecadaria  
  
CN = sum(VO,2); % Coeficientes de normalización  
  
NORMALIZADA = []; % Guardará el experton normalizado  
  
for i = 1 : 11,  
  
NORMALIZADA(i,:) = VO(i,+)/CN(i);  
  
end  
  
MMA = size(VO,2);  
  
MMA1 = (MMA+1)*MMA/2; % Máximo valor posible para la suma de los índices no  
nulos  
  
INDICE = 11;  
  
for i = 1 : 11,  
  
    if sum(find(NORMALIZADA(i,:))) ~= MMA1, % Si no todos los coeficientes son  
  
        INDICE = i-1;          % distintos de cero en la fila "i"  
  
        break                  % guarde el índice de dicha fila  
  
    end  
  
end  
  
end
```

```
if INDICE == 0, % Si al nivel cero el experton tiene entradas cero, entonces  
ERROR...
```

```
    disp('Error: No se puede normalizar el experton debido a que al nivel cero,')
```

```
    disp('Error: algunos coeficientes son cero!!');
```

```
else
```

```
    COEFICIENTES = NORMALIZADA(INDICE,:);
```

```
% fprintf('El nivel mas alto de confianza donde todas las \n')
```

```
% fprintf('variables se expresan es alpha = %4.2f \n\n',NIVELES(INDICE))
```

```
% fprintf('Coeficientes: \n')
```

```
% for j = 1 : MMA,
```

```
%     fprintf('% 6.3f',COEFICIENTES(j))
```

```
% end
```

```
% fprintf('\n')
```

```
end
```

```
coefs = sort(COEFICIENTES','descend');
```

## Anhang 7: MatLab Befehle zur Typisierung der Variablen.

Comandos Matlab para los Datos totales tipificados. Base para las graficas y Analisis de CRR

```
# Created by Octave 3.8.1, Sun Feb 08 14:20:36 2015 VET <thaisa@TUEBINGEN>
```

```
# name: CN
```

```
# type: matrix
```

```
# rows: 11
```

```
# columns: 1
```

```
6
```

```
5.2
```

```
3.9
```

```
3.1999999999999999
```

```
2.7
```

```
2.3
```

```
1.3
```

```
1.3
```

```
1
```

```
0.60000000000000001
```

```
0.1
```

```
# name: COEFICIENTES
```

# type: matrix

# rows: 1

# columns: 6

0.1739130434782609      0.3478260869565217      0.2173913043478261  
0.1304347826086956 0.04347826086956522 0.08695652173913043

-----

# name: INDICE

# type: scalar

6

# name: M1

# type: global matrix

# rows: 1

# columns: 6

0.1 0.9 0.8 0.2 0 0.1

# name: M10

# type: global matrix

# rows: 1

# columns: 6

0.5 0.8 0.8 0.1 0.4 0.5

# name: M2

# type: global matrix

# rows: 1

# columns: 6

0.4 0.7 0.9 0.4 0.2 0.3

# name: M3

# type: global matrix

# rows: 1

# columns: 6

0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5

# name: M4

# type: global matrix

# rows: 1

# columns: 6

0.7 0.4 0.3 0.3 0.3 0.2

# name: M5

# type: global matrix

# rows: 1

# columns: 6

0 1 0.3 0.2 0 0.2

# name: M6

# type: global matrix

# rows: 1

# columns: 6

0.1 0.9 0.9 0.5 0.1 0.1

# name: M7

# type: global matrix

# rows: 1

# columns: 6

0 0.9 0.1 0.1 0.1 0.1

# name: M8

# type: global matrix

# rows: 1

# columns: 6

0.1 0.8 0.2 0.2 0 0

# name: M9

# type: global matrix

# rows: 1

# columns: 6

0.7 0.1 0.1 0.5 0 0

# name: MMA

# type: scalar

6

# name: MMA1

# type: scalar

21

---

# name: NIVELES

# type: matrix

# rows: 1

# columns: 11

0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1

---

# name: NORMALIZADA

# type: matrix

# rows: 11

# columns: 6

0.1666666666666667            0.1666666666666667            0.1666666666666667  
0.1666666666666667 0.1666666666666667 0.1666666666666667  
  
0.1538461538461539            0.1923076923076923            0.1923076923076923  
0.1923076923076923 0.1153846153846154 0.1538461538461539  
  
0.1282051282051282            0.2307692307692308            0.2051282051282051  
0.2051282051282051 0.1025641025641026 0.1282051282051282  
  
0.15625    0.2812500000000001    0.21875    0.15625    0.0937500000000004  
0.0937500000000004

0.1851851851851852 0.3333333333333333 0.1851851851851852  
0.1481481481481481 0.07407407407407407 0.07407407407407407  
0.1739130434782609 0.3478260869565217 0.2173913043478261  
0.1304347826086956 0.04347826086956522 0.08695652173913043  
0.1538461538461538 0.5384615384615384 0.3076923076923077 0 0 0  
0.1538461538461538 0.5384615384615384 0.3076923076923077 0 0 0  
0 0.6000000000000001 0.4 0 0 0  
0 0.6666666666666666 0.3333333333333333 0 0 0  
0 1 0 0 0 0

---

# name: SVI

# type: matrix

# rows: 8

# columns: 1

0.2358716280608696  
0.2211840288434782  
0.2002669958086956  
0.2008223357347826  
0.2190994126391304  
0.2216941510521739  
0.2336120224521739  
0.2282224426521739

```
# name: TABLASF
# type: matrix
# rows: 8
# columns: 3
-0.3602727433 0.2111165784 0.3940389014
2.4365169706 0.1383926511 0.8417590623
0.0644473108 0.9013887588 0.2996378805
-0.4111195104 -0.6706637422 -0.1156680223
-0.3602727433 1.376605053 0.7068598481
-0.4434110847 0.2270139444 -0.5335607169
-0.5147686894 -1.9113170713 -0.8122311469
-0.4111195104 -0.2725361722 -0.7808358061
```

```
# name: VM
# type: global matrix
# rows: 11
# columns: 6
2 0 0 0 4 2
3 1 2 2 2 3
0 0 1 3 1 2
0 0 2 1 1 1
1 1 0 1 1 0
```

2 1 1 3 1 2  
0 0 0 0 0  
2 1 0 0 0 0  
0 2 2 0 0 0  
0 3 2 0 0 0  
0 1 0 0 0 0

# name: VN

# type: matrix

# rows: 11

# columns: 6

1 1 1 1 1 1

0.8 1 1 1 0.6000000000000001 0.8

0.5 0.9 0.7999999999999999 0.8 0.4 0.5

0.5 0.9 0.7 0.5 0.3 0.3

0.5 0.9 0.5 0.4 0.2 0.2

0.4 0.8 0.5 0.3 0.1 0.2

0.2 0.7000000000000001 0.4 0 0 0

0.2 0.7000000000000001 0.4 0 0 0

0 0.6000000000000001 0.4 0 0 0

0 0.4 0.2 0 0 0

0 0.1 0 0 0 0

# name: VO

# type: matrix

# rows: 11

# columns: 6

1 1 1 1 1 1

0.8 1 1 1 0.6000000000000001 0.8

0.5 0.9 0.7999999999999999 0.8 0.4 0.5

0.5 0.9 0.7 0.5 0.3 0.3

0.5 0.9 0.5 0.4 0.2 0.2

0.4 0.8 0.5 0.3 0.1 0.2

0.2 0.7000000000000001 0.4 0 0 0

0.2 0.7000000000000001 0.4 0 0 0

0 0.6000000000000001 0.4 0 0 0

0 0.4 0.2 0 0 0

0 0.1 0 0 0 0

# name: VP

# type: matrix

# rows: 1

# columns: 6

0.3099999999999999 0.7 0.4900000000000001 0.2999999999999999 0.16 0.2

# name: XX

# type: matrix

# rows: 8

# columns: 8

-0.3602727433 2.4365169706 0.0644473108 -0.4111195104 -0.3602727433 -  
0.4434110847 -0.5147686894 -0.4111195104

-0.3602727433 2.4365169706 0.0644473108 -0.4111195104 -0.3602727433 -  
0.4434110847 -0.5147686894 -0.4111195104

-0.3602727433 2.4365169706 0.0644473108 -0.4111195104 -0.3602727433 -  
0.4434110847 -0.5147686894 -0.4111195104

-0.3602727433 2.4365169706 0.0644473108 -0.4111195104 -0.3602727433 -  
0.4434110847 -0.5147686894 -0.4111195104

-0.3602727433 2.4365169706 0.0644473108 -0.4111195104 -0.3602727433 -  
0.4434110847 -0.5147686894 -0.4111195104

-0.3602727433 2.4365169706 0.0644473108 -0.4111195104 -0.3602727433 -  
0.4434110847 -0.5147686894 -0.4111195104

-0.3602727433 2.4365169706 0.0644473108 -0.4111195104 -0.3602727433 -  
0.4434110847 -0.5147686894 -0.4111195104

-0.3602727433 2.4365169706 0.0644473108 -0.4111195104 -0.3602727433 -  
0.4434110847 -0.5147686894 -0.4111195104

# name: YY

# type: matrix

# rows: 8

# columns: 8

0.2111165784 0.2111165784 0.2111165784 0.2111165784 0.2111165784  
0.2111165784 0.2111165784 0.2111165784

0.1383926511 0.1383926511 0.1383926511 0.1383926511 0.1383926511  
0.1383926511 0.1383926511 0.1383926511

0.9013887588 0.9013887588 0.9013887588 0.9013887588 0.9013887588  
0.9013887588 0.9013887588 0.9013887588

-0.6706637422 -0.6706637422 -0.6706637422 -0.6706637422 -0.6706637422 -  
0.6706637422 -0.6706637422 -0.6706637422

1.376605053 1.376605053 1.376605053 1.376605053 1.376605053 1.376605053  
1.376605053 1.376605053

0.2270139444 0.2270139444 0.2270139444 0.2270139444 0.2270139444  
0.2270139444 0.2270139444 0.2270139444

-1.9113170713 -1.9113170713 -1.9113170713 -1.9113170713 -1.9113170713 -  
1.9113170713 -1.9113170713 -1.9113170713

-0.2725361722 -0.2725361722 -0.2725361722 -0.2725361722 -0.2725361722 -  
0.2725361722 -0.2725361722 -0.2725361722

# name: ZZ

# type: matrix

# rows: 8

# columns: 8

0.3940389014 0.8417590623 0.2996378805 -0.1156680223 0.7068598481 -  
0.5335607169 -0.8122311469 -0.7808358061

0.3940389014 0.8417590623 0.2996378805 -0.1156680223 0.7068598481 -  
0.5335607169 -0.8122311469 -0.7808358061

0.3940389014 0.8417590623 0.2996378805 -0.1156680223 0.7068598481 -  
0.5335607169 -0.8122311469 -0.7808358061

0.3940389014 0.8417590623 0.2996378805 -0.1156680223 0.7068598481 -  
0.5335607169 -0.8122311469 -0.7808358061

0.3940389014 0.8417590623 0.2996378805 -0.1156680223 0.7068598481 -  
0.5335607169 -0.8122311469 -0.7808358061

0.3940389014 0.8417590623 0.2996378805 -0.1156680223 0.7068598481 -  
0.5335607169 -0.8122311469 -0.7808358061

0.3940389014 0.8417590623 0.2996378805 -0.1156680223 0.7068598481 -  
0.5335607169 -0.8122311469 -0.7808358061

0.3940389014 0.8417590623 0.2996378805 -0.1156680223 0.7068598481 -  
0.5335607169 -0.8122311469 -0.7808358061

# name: a

# type: scalar

1

# name: ans

# type: scalar

0.9999999999999998

# name: anyos

# type: range

# base, limit, increment

2005 2012 1

# name: b

# type: scalar

6

# name: c

# type: global scalar

6

# name: coef\_norm

# type: matrix

# rows: 1

# columns: 6

0.3478260869565217          0.2173913043478261          0.1739130434782609  
0.1304347826086956 0.08695652173913043 0.04347826086956522

# name: d

# type: global matrix

# rows: 1

# columns: 11

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

# name: datos

# type: matrix

# rows: 8

# columns: 6

0.009471690200000001 0.046933464 0.001774486 0.07682321759999999  
1.9895833333 0.8978723404

0.0109808855 0.05016936 0.0020873585 0.0765126815 1.7934782609  
0.9236947791

0.0102265351 0.0441361723 0.0020094121 0.0762021455 1.5764705882  
0.9140625

0.0098391 0.0332152022 0.0020112818 0.0758916094 1.5731707317  
0.9920634921

0.0126532368 0.0295581874 0.002511491 0.0755810733 1.6315789474  
1.2903225806

0.008215806500000001 0.0321856623 0.0019759955 0.0752705373 1.527027027  
1.5845410628

0.0069519188 0.0325211085 0.0018992258 0.0749600012 1.6056338028  
1.7111111111

0.0076864285 0.033909394 0.0018050012 0.07464946510000001 1.5967741935  
1.5933609959

# name: e

# type: global matrix

# rows: 1

# columns: 6

0.3099999999999999 0.7 0.49000000000000001 0.2999999999999999 0.16 0.2

# name: i

# type: scalar

7

# name: j

# type: scalar

6

# name: k

# type: scalar

6

# name: n

# type: global scalar

10

# name: vx

# type: global matrix

# rows: 0

# columns: 0

## Anhang 8: MatLab Code für die Korrelation.

```
load Variables.dat

year=Variables(:,1);

lsm = Variables(:,2);

tour = Variables(:,3);

agric = Variables(:,4);

migra = Variables(:,5);

illit = Variables(:,6);

health = Variables(:,7);

temp = Variables(:,8);

precip = Variables(:,9);

zlsm = standarize(lsm);

ztour = standarize(tour);

zagric = standarize(agric);

zmigra = standarize(migra);

zillit = standarize(illit);

zhealth = standarize(health);

ztemp = standarize(temp);

zprecip = standarize(precip);

expertones;

normalizacion;

zdatos = [zlsm, ztour, zagric, zmigra, zillit, zhealth];

coefs = round(coefs*1000)/1000;
```

```

svi = -zdatos * coefs;

Corr_svi_temp=corr(-svi,ztemp);

Corr_svi_precip=corr(-svi,zprecip);

Corr_temp_precip=corr(ztemp,zprecip);

plot(year,svi,'m','linewidth',5)

legend('SVI');

title('SVI vs Time')

xlabel('Year'); ylabel('SVI')

figure()

plot(year,svi,'y','linewidth',5); hold on

plot(year,ztemp,'b','linewidth',5)

plot(year,zprecip,'r','linewidth',5)

plot(year,zeros(8,1),'k','linewidth',2)

legend('SVI','Normalized Temperature','Normalized Precipitation')

title('SVI, Norm. Temperature & Norm. Precipitation vs Time')

xlabel('Year'); ylabel('Values')

disp('Correlations between Variables')

disp('SVI vs Temperature ')

disp(Corr_svi_temp)

disp('SVI vs Precipitation ')

disp(Corr_svi_precip)

disp('Temperature vs Precipitation ')

disp(Corr_temp_precip)

```

## Anhang 9: Befragung deutscher Experten zur Region.

Anhang 2-B. Repräsentative Variablen in der Region Ancash/ Huaraz/ Quebrada Shallap, Peru

Arbeitsfeld: \_\_\_\_\_ Region, Land:  
\_\_\_\_\_

Sozialer Wenwundbarkeit wird hier als, como la posibilidad de daños a ciertas amenazas que pudiesen ocurrir sobre poblaciones o individuos.

.- El sistema de calificación será con una valuacion en un rango de 0 a 10 , donde valor "0" representa el mínimo y valor "10" el máximo.

1.-Considera Ud que la toma de decisiones de nuestros entes gubernamentales fundamentada en recopilación,captura de datos, evaluaciones, analisis de indicadores es, en la escala del [0,10]

Inclusión de índices y estadísticas en la toma de decisiones	
Grado de inclusión	Marque con X
0: Nada	
1: Prácticamente nada	
2: Muy Poco	
3: Poco	
4: Medianamente algo	
5: Algo	
6: Poco mas que algo	

7: Bastante	
8: Considerablemente bastante	
9: Mucho	
10: Totalmente	

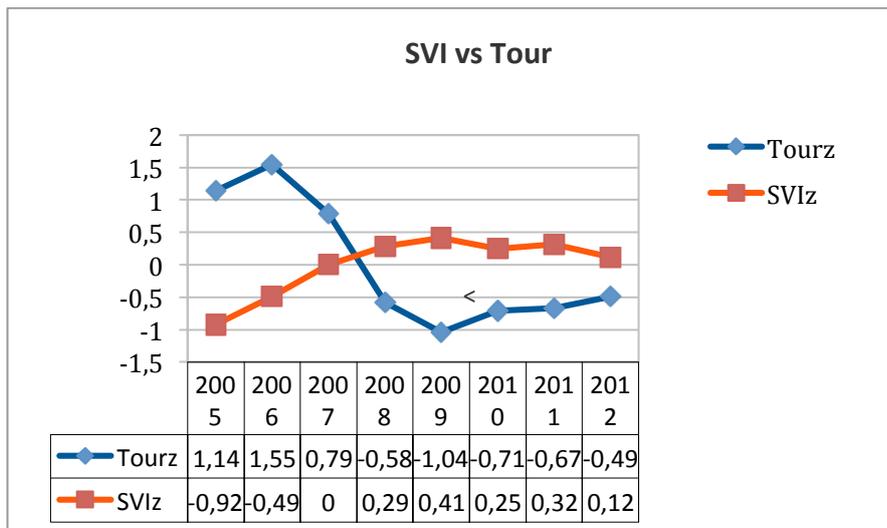
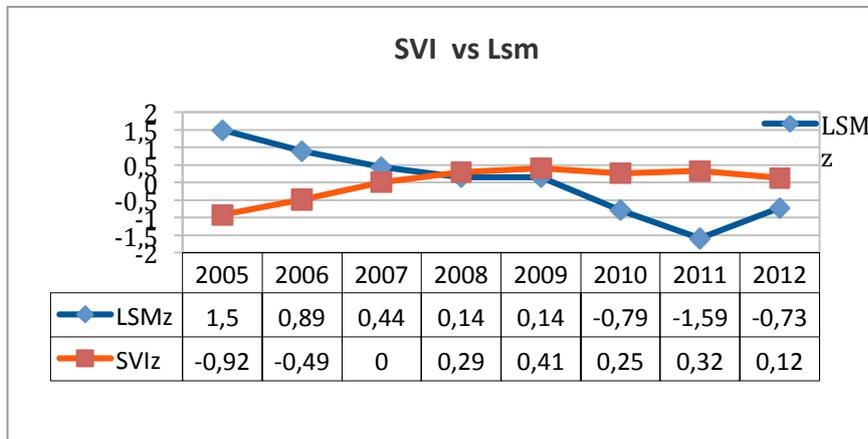
2.- Dando una medida al grado de influencia que tiene cada situación emitida, en la vulnerabilidad social, coloque el puntaje en la casilla que se ha denominado **PONDERACIÓN**. El puntaje sigue las definiciones dadas en la tabla anterior

Vulnerabilidad Social	
Situación	<b>PONDERACIÓN</b>
Minería	
Turismo	
Agricultura	
Estructura Poblacional	
Migración*	
Analfabetismo*	
Salud	
Pobreza	

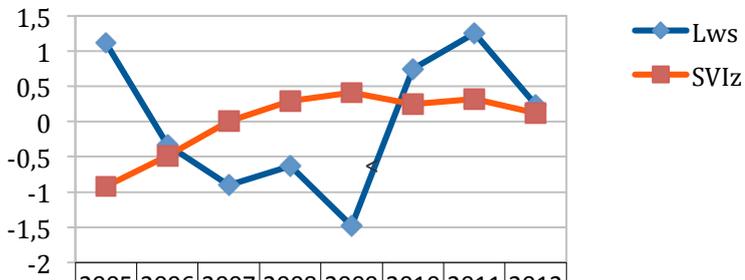
\*: Migración y Analfabetismo están incluidos en algunos modelos de población pero no siempre es el caso. Por eso se pide emitir también su apreciación en estos dos puntos.

Las opiniones emitidas en este formulario son confidenciales y anónimas. Muchas Gracias por su tiempo!.

## Anhang 10: Vergleichende Grafiken des SVI mit seinen einzelnen Variablen.

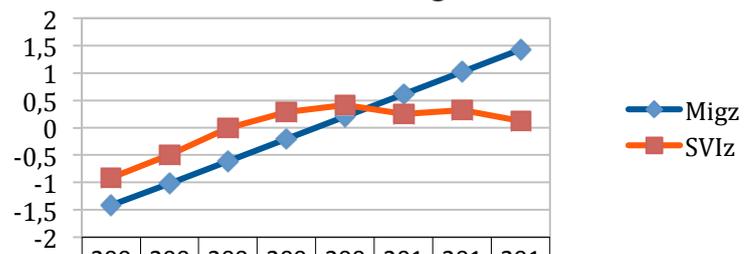


SVI vs Lws

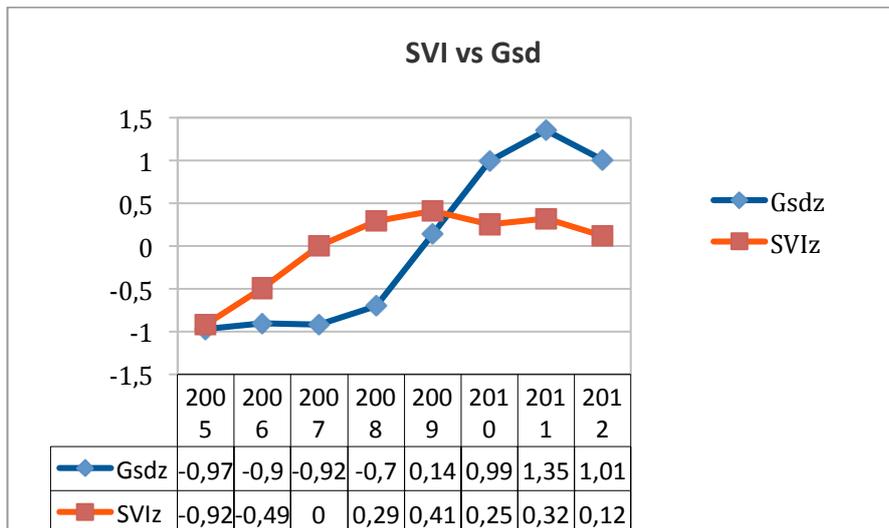
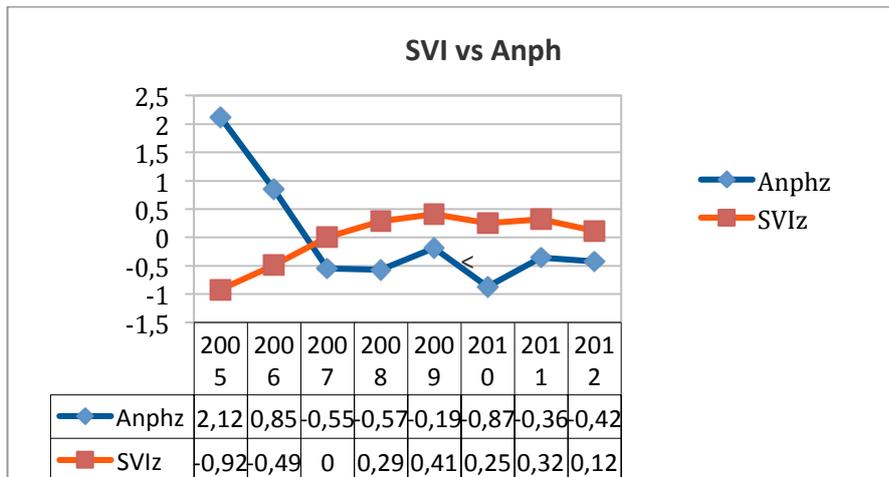


	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
◆ Lws	1,12	-0,33	-0,9	-0,63	-1,48	0,75	1,25	0,24
■ SVIz	-0,92	-0,49	0	0,29	0,41	0,25	0,32	0,12

SVI vs Mig



	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
◆ Migz	-1,42	-1,02	-0,61	-0,2	0,2	0,61	1,02	1,43
■ SVIz	-0,92	-0,49	0	0,29	0,41	0,25	0,32	0,12



## Anhang 11: Gewichtung der Variablen durch die deutschen Experten.

	ANPH	LSM	MIG	GSD	LWS	TOUR		
0	1	1	1	1	1	1		
0,1	1	1	1	1	1	1		
0,2	1	1	0,9	1	1	0,9		
0,3	1	1	0,9	1	1	0,7		
0,4	1	0,8	0,9	1	0,9	0,4		
0,5	1	0,7	0,9	1	0,8	0,3	SumCi= 4,7	
0,6	0,8	0,6	0,7	1	0,3	0		
0,7	0,8	0,5	0,6	0,9	0,2	0		
0,8	0,8	0,1	0,3	0,7	0,1	0		
0,9	0,8	0,1	0	0,4	0,1	0		
1	0,6	0,1	0	0,2	0,1	0		
Alfa	C1	C5	C3	C2	C4	C6		
0,5	0,212	0,148	0,191	0,212	0,17	0,063		
	$SVI(\text{Alfa } 0,5) = 0,212 * \text{ANPH} + 0,212 * \text{GSD} + 0,191 * \text{MIG} + 0,17 * \text{LWS} + 0,148 * \text{LSM} + 0,063 * \text{Tour}$							

## Anhang 12: Eigene Publikationen

- 2012 ***Modelling and Simulating Social Vulnerability under the Influence of Climate Change in the Cordillera Blanca (Peru)***  
Proceedings of the sixth biennial meeting of the international environmental modelling and software society, Leipzig, Germany, July 1-5, 2012, R. Seppelt, A. A. Voinov, S. Lange, D. Bankamp (eds.) (2012): International Environmental Modelling and Software Society.  
<http://www.iemss.org/sites/iemss2012/proceedings.html>  
ISBN. 978-88-9035-742-8
- 2013 ***Modelando un Indicador para la Vulnerabilidad Social***  
II. Congreso Venezolano de Ciencia, Tecnología e Innovación en el marco de la LOCTI y del PEII, Caracas, Venezuela.  
[http://oncti.gob.ve/index.php?option=com\\_content&view=article&id=4525](http://oncti.gob.ve/index.php?option=com_content&view=article&id=4525)
- 2014 ***Silvio, Modelling Social Vulnerability under a local Perspective***  
International Environmental Modelling and Software Society (iemss), 7th Intl. Congress on Env. Modelling and Software, San Diego, CA, USA. Daniel P. Ames, Nigel W.T. Quinn and Andrea E. Rizzoli (eds.).  
<http://www.iemss.org/society/index.php/iemss-2014-proceeding>  
ISBN. 978-88-9035-744  
<https://scholarsarchive.byu.edu/iemssconference/2014/Stream-H/53/>
- 2015 ***Revista N°10, Metrología.com.ve.***  
<http://metrologia.com.ve/2014/revistas-online>  
Eds/Technical Cooperation