

# Effizientes Management von Tierseuchenrisiken

Eine Analyse externer Effekte und asymmetrischer Information

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors  
der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften (Dr. rer. pol.)  
des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaften  
der Universität Hamburg  
am Lehrstuhl für Versicherungsbetriebslehre  
bei Professor Dr. Martin Nell

vorgelegt von  
Diplom-Volkswirt Bernhard Hirsch  
aus München

Stuttgart, den 15. Juni 2010

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis . . . . .	iv
Tabellenverzeichnis . . . . .	v
Abkürzungsverzeichnis . . . . .	vi
Symbolverzeichnis . . . . .	vii
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung und Methodik . . . . .	3
1.2 Aufbau der Arbeit . . . . .	4
<b>2 Tierseuchenrisiko und Risikomanagement</b>	<b>7</b>
2.1 Tierkrankheiten und Tierseuchen . . . . .	7
2.1.1 Maul- und Klauenseuche . . . . .	10
2.1.2 Klassische Schweinepest . . . . .	13
2.1.3 Hochpathogene Vogelgrippe . . . . .	15
2.2 Epizootiologische Grundlagen . . . . .	17
2.3 Maßnahmen des Risikomanagements hochinfektiöser Tierseuchen . . . . .	22
2.3.1 Biosicherheit . . . . .	23
2.3.1.1 Betriebliche Biosicherheitsmaßnahmen . . . . .	23
2.3.1.2 Regionale Biosicherheitsmaßnahmen . . . . .	26
2.3.2 Seuchenbekämpfung . . . . .	28
2.3.2.1 Vorbereitung und Planung . . . . .	29
2.3.2.2 Frühzeitige Meldung . . . . .	31
2.3.2.3 Seuchenbekämpfungsmaßnahmen . . . . .	32
2.3.3 Intensität der Tierproduktion . . . . .	36
2.3.4 Klassifikation von Risikomanagementmaßnahmen . . . . .	38
<b>3 Effizientes Management von Tierseuchenrisiken</b>	<b>40</b>
3.1 Risikokostenarten und ihre Bewertung . . . . .	41
3.1.1 Kosten hochinfektiöser Tierseuchen . . . . .	41
3.1.2 Wohlfahrtsverluste von Handelsrestriktionen . . . . .	45
3.1.3 Auswirkungen auf andere Industrien . . . . .	46
3.1.4 Risikoprämien . . . . .	47
3.1.5 Partialanalyse . . . . .	47
3.2 Optimales Tierseuchen-Risikomanagement . . . . .	49
3.2.1 Kaldor-Hicks effizientes Risikomanagement . . . . .	50

3.2.2	Annahme der Vollversicherung . . . . .	52
3.2.3	Risikokosten in Abhängigkeit des Risikomanagements . . . . .	54
3.3	Modellierung der Risikokosten . . . . .	57
3.3.1	Effizientes Risikomanagement als stoch. Kontrollproblem . . . . .	58
3.3.2	Grundlagen der epizootologischen Risikokostenmodellierung . . . . .	61
3.3.2.1	Systemsimulation als Modellansatz . . . . .	62
3.3.2.2	Regionalität der Modellierung . . . . .	63
3.3.2.3	Aufbau der Modellierung . . . . .	64
3.3.3	Epizootologische Risikokostenmodellierung . . . . .	65
3.3.3.1	Seucheneinschleppungsmodellierung . . . . .	66
3.3.3.2	Seuchenausbreitungsmodellierung . . . . .	70
3.3.3.3	Kostenmodellierung . . . . .	77
3.3.3.4	Optimierung . . . . .	83
3.3.4	Bewertung des epizootologischen Risikokostenmodells . . . . .	85
<b>4</b>	<b>Externe Effekte des Risikomanagements</b>	<b>88</b>
4.1	Ineffizientes Risikomanagement aufgrund von externen Effekten . . . . .	89
4.1.1	Externalitätenproblem . . . . .	90
4.1.2	Charakterisierung der second-best Risikomanagementstrategie . . . . .	92
4.2	Korrektur des Marktversagens . . . . .	97
4.2.1	Internalisierung beim kollektiven Risikomanagement . . . . .	99
4.2.2	Internalisierung beim individuellen Risikomanagement . . . . .	104
4.2.3	Staatliche Durchführung des Risikomanagements . . . . .	113
4.3	Effiziente Finanzierung der Risikokosten . . . . .	115
4.4	Finanzierung der Risikokosten in der Europäischen Union . . . . .	119
<b>5</b>	<b>Informationsprobleme der Versicherung des Tierseuchenrisikos</b>	<b>125</b>
5.1	Unvollkommene Beobachtbarkeit . . . . .	126
5.2	Asymmetrische Information . . . . .	130
5.2.1	Grundlagen der Analyse . . . . .	132
5.2.2	Meldung einer Primärinfektion . . . . .	135
5.2.3	Frühzeitige Entdeckung einer Primärinfektion . . . . .	144
5.2.3.1	Seuchenprävalenz und Prüfsorgfalt . . . . .	146
5.2.3.2	Anreize zur Erhöhung der Prüfsorgfalt . . . . .	148
5.2.3.3	Optimale Zusatzentschädigung . . . . .	150
5.2.3.4	Anreizkompatbile Entschädigung . . . . .	158
5.2.4	Verhaltensbasierte Biosicherheit . . . . .	160
5.2.4.1	Risikotechnische Wirkung der Biosicherheit . . . . .	161
5.2.4.2	Ex ante-ex post Anreizkonflikt . . . . .	163
5.2.4.3	Optimale Entschädigung von Reaktionskosten . . . . .	169
5.2.4.3.1	Endemische versus exotische Tierseuchen . . . . .	171
5.2.4.3.2	Entschädigung endemischer Tierseuchen . . . . .	175
5.2.4.3.3	Entschädigung exotischer Tierseuchen . . . . .	178

5.2.5	Effiziente Entschädigung von Reaktionskosten in Krisenzeiten . . . .	181
5.2.5.1	Sekundärinfizierte Betriebe . . . . .	181
5.2.5.2	Nicht infizierte Betriebe . . . . .	184
5.2.6	Implementierung der optimalen Entschädigung . . . . .	187
5.3	Anreizkompatibilität der Entschädigung in den EU-Mitgliedsländern .	188
5.3.1	Bestehende Entschädigungsregeln . . . . .	189
5.3.2	Anreizproblem bei der frühzeitigen Meldung . . . . .	192
5.3.3	Fehlanreize zur Seuchenausbreitung . . . . .	193
<b>6</b>	<b>Schlussbetrachtung</b>	<b>196</b>
<b>A</b>	<b>Ausmaß eines Seuchenzuges im SIR-Modell</b>	<b>200</b>
<b>B</b>	<b>Mathematischer Anhang zur Analyse des moralischen Risikos</b>	<b>204</b>
B.1	Zulässigkeit des First-Order Ansatzes . . . . .	204
B.2	Überprüfung bindender Nebenbedingung . . . . .	206
B.3	Verlauf der optimalen Zusatzentschädigung . . . . .	207
B.4	Überprüfung auf Konkavität . . . . .	208
B.5	Überprüfung bindender Nebenbedingungen . . . . .	209
	Literaturverzeichnis . . . . .	212

# Abbildungsverzeichnis

2.1	SIR-Modell . . . . .	18
2.2	Dynamik eines Infektionsprozesses im SIR-Modell . . . . .	21
3.1	Skizzierter Effekt des Risikomanagements auf die Risikokosten . . . . .	57
3.2	Aufbau der epizootiologischen Risikokostenmodellierung . . . . .	65
3.3	Seucheneinschleppungsmodell $SEM_{jk}$ . . . . .	68
3.4	Seuchenausbreitungsmodell $SAM_{jk}$ . . . . .	76
5.1	Skizzierte Prävalenzquoten-Dichtefunktionen . . . . .	147
5.2	Individuell optimale Prüfsorgfalt und Optimierungsziel . . . . .	151
5.3	Optimaler Selbstbehalt im Bereich $y(\psi_p)^+$ . . . . .	156
5.4	Optimale Entschädigung mit Prüfsorgfaltsanreizen . . . . .	157
5.5	Individuell optimale Biosicherheit und Zielkonflikt . . . . .	163
5.6	Infektionswahrscheinlichkeit und Biosicherheit . . . . .	171
5.7	Seuchenprävalenz und Biosicherheitsstandard . . . . .	173
5.8	Optimaler Selbstbehalt bei endemischen Tierseuchen . . . . .	176
5.9	Optimale Entschädigung bei endemischen Tierseuchen . . . . .	178
5.10	Optimaler Selbstbehalt bei exotischen Tierseuchen . . . . .	179
5.11	Optimale Entschädigung bei exotischen Tierseuchen . . . . .	180
A.1	Verlauf der Hilfsfunktion $h(\xi)$ . . . . .	202
B.1	Werte der Lagrange-Parameter $\lambda_b$ und $\lambda_p$ . . . . .	211

# Tabellenverzeichnis

2.1	Hochinfektiöse Tierseuchen . . . . .	9
2.2	Offiziell registrierte Tierseuchenausbrüche im Jahr 2009 . . . . .	10
2.3	Aerosole Infektion durch MKS-Viren . . . . .	37
3.1	Risikokosten . . . . .	53
5.1	Kontrollspiel in Normalform . . . . .	128

# Abkürzungsverzeichnis

CARA	konstante absolute Risikoaversion
FAO	UN-Organisation für Ernährung und Landwirtschaft (Food and Agriculture Organisation)
HPAI	hochpathogene Vogelgrippe
HRP	Hochrisikoperiode
KSP	klassische Schweinepest
MKS	Maul- und Klauenseuche
OIE	Welttiergesundheitsorganisation (Office International des Epizooties)
SAM	Seuchenausbreitungsmodell
SEM	Seucheneinschleppungsmodell
WTO	Welthandelsorganisation (World Trade Organization)

# Symbolverzeichnis

$A_{jk}$	Anzahl an Einschleppungen der Tierseuche $j$ in Region $k$
Index $A$	Index zur Kennzeichnung von Agent $A$
$\alpha$	Genesungsrate
Index $B$	Index zur Kennzeichnung von Agent $B$
$\beta$	Infektionsrate
$C$	Kontrollraum
$c, c_1, c_2, c_3$	Integrationskonstanten
$c^A$	monetäres Äquivalent der Sanktion für Agent $A$
$c^{AP}$	Arrow-Pratt Konstante
$c^B$	monetäres Äquivalent der Sanktionierung für Agent $B$
$c^k$	Kontrollkosten
$c(t)$	Risikomanagement zum Zeitpunkt $t$
$c^{**}$	externe Kosten für Agent $B$ durch second-best Risikomanagement von Agent $A$
$d_{\nu}$	Distanz zwischen den Herden $\nu$ und $\iota$
$\Delta KR^P$	Verlust an Konsumentenrente
$\Delta PR^P$	Verlust an Produzentenrente
$\mathbb{E}[\ ]$	Erwartungswertoperator
$e$	Euler'sche Zahl
$E()$	Entschädigungsfunktion
$E^{MAX}$	Maximal zulässiges Budget für erwartete Zusatzentschädigungsleistungen
$E^m()$	Mindestentschädigungsfunktion
$E^+()$	Zusatzentschädigungsfunktion
$E^{+B}$	Budget für erwartete Zusatzentschädigungsleistungen
$F()$	Verteilungsfunktion
$f()$	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion
$g()$	deterministische Komponente der epizotologischen Entwicklung
$h()$	Hilfsfunktion
$\theta$	Hilfssymbol
$I(t)$	Anzahl infektiöser Einheiten zum Zeitpunkt $t$
Index $i \in [1, \dots, I]$	Index zur Kennzeichnung individueller Tierproduzenten
Index $j \in [1, \dots, J]$	Index zur Kennzeichnung hochinfektiöser Tierseuchen
Index $\iota$	Index zur Kennzeichnung einer infektiösen Herde

$K()$	Funktion zur Abbildung des Einflusses der Distanz auf das Risiko einer aerosolen Infektion
Index $k \in [1, \dots, K]$	Index zur Kennzeichnung von Regionen
$L()$	Lagrange-Funktion
$\lambda_b, \lambda_p, \lambda_+$	Lagrange-Multiplikatoren
$N$	Größe einer Tierpopulation
Index $n \in [1, \dots, N]$	Index zur Kennzeichnung nationaler Veterinärbehörden
$\xi$	Hilfssymbol
$O_{jk}$	Ausbruchzeitpunkt der Tierseuche $j$ in Region $k$
$P$	Wahrscheinlichkeit
$p^0$	Wahrscheinlichkeit der Seuchenfreiheit
$p^{0max}$	Grenzwert der maximalen Wahrscheinlichkeit $p^0$
$p^{0min}$	Grenzwert der minimalen Wahrscheinlichkeit $p^0$
$p_{jk}$	Preise der Güter und Dienstleistungen in $q_{jk}^R$
$p_k$	Wahrscheinlichkeit für kooperatives Verhalten durch Agent $A$
$p_{\nu\nu}$	Infektionswahrscheinlichkeit von Herde $\nu$ durch Herde $\iota$
$p^P$	Preise der Güter und Dienstleistungen in $q^P$
$\Psi$	Risikomanagementstrategie
$\psi_b \in ]0; \infty[$	Intensität der Risikomanagementmaßnahme 'verhaltensbasierte Biosicherheit'
$\psi_m \in \{0; 1\}$	Intensität der Risikomanagementmaßnahme 'sofortige Meldung von Seuchenverdachtsfällen'
$\psi_p \in ]0; \infty[$	Intensität der Risikomanagementmaßnahme 'Prüfsorgfalt'
$q_k$	Wahrscheinlichkeit einer Kontrolle durch Agent $B$
$q_{jk}^R$	Güter- und Dienstleistungsmengen, die in Region $k$ bei einem Ausbreitungsszenario der Tierseuche $j$ als Mehreinsätze oder Mindererträge in der Produktion aufgewendet werden
$q^P$	Güter- und Dienstleistungsmengen, die als Mehreinsätze oder Mindererträge in der Produktion zur Prävention aufgewendet werden
$R(t)$	Anzahl immuner, gekeulter oder gestorbener Einheiten zum Zeitpunkt $t$
$R_0$	Basis-Reproduktionsrate
$r$	risikofreier Zins
$r^{AP}$	Arrow-Pratt Maß der absoluten Risikoaversion
$S_k$	kritische Größe der Subpopulation $S(t)$ in $t = 0$
$S(t)$	Anzahl empfänglicher Einheiten zum Zeitpunkt $t$
$S_s$	spezifische Empfänglichkeit der Tierart $s$
$s$	Anteil der empfänglichen Population in $t = \infty$

Index $s$	Index zur Kennzeichnung einer Tierart
$\sigma()$	stochastische Komponente der epizootiologischen Entwicklung
$T$	Ende des Betrachtungszeitraums
$T_s$	spezifische Übertragbarkeit der Tierart $s$
$t, \tau$	Zeitvariablen
$t_0$	Beginn des Betrachtungszeitraums
$t_1, t_2$	Zeitpunkte im Betrachtungszeitraum
$u()$	Nutzenfunktion
$u^b()$	Disnutzenfunktion der verhaltensbasierten Biosicherheit
$u^p()$	Disnutzenfunktion der Prüfsorgfalt
$u^w()$	Nutzenfunktion des Vermögens
$\mathbb{V}[]$	Wertfunktion des stochastischen Kontrollproblems
$w$	Vermögen
$w_0$	Periodenvermögen bei Seuchenfreiheit
$X$	Barwert der Risikokosten im Betrachtungszeitraum
$\tilde{x}()$	Risikokostenfunktion
$x^{max}, x^{min}$	maximale bzw. minimale Ausprägung von $X$
$x^P$	Präventionskosten
$x^S()$	Selbstbehaltsfunktion
$X_{jk}^R$	Barwert der Reaktionskosten in Region $k$ bei einem Ausbreitungsszenario der Tierseuche $j$
$\tilde{X}^R$	Reaktionskosten im primärinfizierten Betrieb
$x^R()$	Funktion der Reaktionskosten im primärinfizierten Betrieb
$Y$	Prävalenzquote einer primärinfizierten Herde bei Entdeckung des Seuchenausbruchs
$Y(t)$	Prozess des epizootiologischen Zustands zum Zeitpunkt $t$
$y^k$	Prävalenzquote, bei der die Likelihood Ratio gleich null ist
$y^a, y^b, y^m, y^v$	Prävalenzquoten
$y(\psi_p)^+$	Prävalenzquotenbereich mit positiver Likelihood Ratio
$y(\psi_p)^-$	Prävalenzquotenbereich mit Likelihood Ratio kleiner gleich null
$\bar{y}, \hat{y}$	tatsächliche und geschätzte Realisation von $Y$
$y_0$	Szenario der Seuchenfreiheit
Index $v$	Index zur Kennzeichnung einer empfänglichen Herde
$Z(t)$	stochastischer Prozess
Index $z \in \{en; ex\}$	Index zur Kennzeichnung einer endemischen bzw. exotischen Tierseuche
Index *	Index zur Kennzeichnung eines Optimums (first-best) oder eines Gleichgewichts
Index **	Index zur Kennzeichnung eines second-best
Index ***	Index zur Kennzeichnung eines third-best

# Kapitel 1

## Einleitung

Ein relevantes wirtschaftliches Risiko von Tierseuchen besteht spätestens seit etwa 10.000 Jahren, als Menschen die Haltung von Nutztieren als Nahrungsquelle etablierten. Erste historische Belege von Tierseuchenausbrüchen gehen auf das 4. Jahrhundert zurück. Durch Völkerwanderungen erfolgte die Einschleppung des bis dahin in Asien heimischen Rinderpesterregers nach Europa, die sich nach dem Mongoleneinfall im 13. Jahrhundert, nach dem 30-jährigen Krieg sowie nach den Eroberungszügen Napoleons wiederholte.<sup>1</sup>

Das Tierseuchenrisiko birgt auch gegenwärtig ein enormes Bedrohungspotential. In Bezug auf Europa sind vor allem die Seuchenzüge der Schweinepest 1997/98 in den Niederlanden und der Maul- und Klauenseuche 2001 in Großbritannien hervorzuheben, die jeweils Schäden in Milliardenhöhe verursachten.<sup>2</sup> Hochinfektiöse Tierseuchen sind in Europa hinsichtlich ihres Schadenpotentials sogar mit Naturkatastrophen wie Überschwemmungen und Winterstürmen vergleichbar.<sup>3</sup> Im Gegensatz zu den regional begrenzten Schäden aus Naturkatastrophen können sich Tierseuchenausbrüche zu einer globalen Bedrohung ausweiten, die je nach den Eigenschaften der Krankheitserreger auch die Gesundheit von Menschen gefährden können. Beispielsweise konnte eine Pandemie in Folge eines Ausbruchs der Vogelgrippe in Hong Kong im Jahr 1997 nach Experteneinschätzung nur durch die Massenkeulung von Geflügel verhindert werden.<sup>4</sup> Die Verbreitung des für den Ausbruch in Hong Kong verantwortlichen Virus H5N1 und anderer Virenstämme, die als Erreger der Vogelgrippe bekannt sind, setzte sich jedoch fort. Während in dem 40-jährigen Zeitraum zwischen 1959 und 1998 rund 23 Mio. Vögel an der Vogelgrippe erkrankten oder zu ihrer Eindämmung gekeult wurden, stieg diese Anzahl in dem 6-Jahres Zeitraum von 1999 bis 2004 auf über 200 Mio. Vögel an.<sup>5</sup> Insbesondere seit Sommer 2005 ist

---

<sup>1</sup>Vgl. Selbig und Bisping [1995], S. 5, 86 f.

<sup>2</sup>Vgl. Alleweldt et al. [2006], S. 24, 26.

<sup>3</sup>Vgl. die Angaben des NatCat-Services der Münchener Rück zu den teuersten Winterstürmen in Europa und den teuersten Überschwemmungen für die Volkswirtschaft unter [www.munichre.com](http://www.munichre.com).

<sup>4</sup>Vgl. Berg et al. [2008], S. 141.

<sup>5</sup>Vgl. Capua und Marangon [2007], S. 5645.

eine Ausbreitung von H5N1 aus Südostasien Richtung Westen festzustellen. Allein in den Monaten Februar und März 2006 wurden infizierte Schwäne und Wildenten in 15 europäischen Ländern tot aufgefunden.<sup>6</sup>

Das Tierseuchenrisiko ist einer starken Dynamik unterworfen. Teilweise gelingt es, Tierseuchen durch jahre- oder jahrzehntelange Anstrengungen im Rahmen von Seuchenausrottungsprogrammen aus den Wild- oder Nutztierbeständen einzelner Regionen zu tilgen.<sup>7</sup> Andererseits ist eine zunehmende Verbreitung von Tierseuchen zu beobachten, wie das Beispiel der Vogelgrippe in den letzten Jahren belegt. Neben klimatischen und evolutorischen Faktoren kann eine Zunahme des Tierseuchenrisikos auch von einem Anstieg der Tierproduktion hervorgerufen werden, da eine steigende Anzahl an Wirtstieren die Vermehrung infektiöser Krankheiten begünstigt. Das Wachstum interregionaler Kontakte sowie die mit einem Produktionsanstieg einhergehende Tierdichte erhöhen darüber hinaus die Gefahr einer Ausbreitung von Tierseuchen.

Die rasante Industrialisierung ehemaliger Entwicklungsländer wird von einer Veränderung der Ernährungsgewohnheiten ihrer Bevölkerungen und einem starken Anstieg des Konsums der Tierprodukte Fleisch, Eier und Milch begleitet.<sup>8</sup> Beispielsweise beträgt die jährliche Wachstumsrate der Fleischproduktion in China nach Einschätzung der Food and Agricultural Organisation der Vereinten Nationen (FAO) zwischen 1961 und 2007 über 8 %.<sup>9</sup> Bezogen auf alle Entwicklungsländer ist etwa seit 1975 ein rapider Anstieg der Tierproduktion zu beobachten.<sup>10</sup> BROWN [2003] bezeichnet diesen signifikanten Produktionsanstieg plakativ als "Livestock Revolution". Die Befriedigung der stark steigenden Nachfrage nach Tierprodukten geht mit einer Ausweitung des Tierhandels und einer Intensivierung der Tierproduktion einher.<sup>11</sup>

Die weltweite wirtschaftliche und demographische Entwicklung bewirkt demzufolge ein Anwachsen des Tierseuchenrisikos. Im Vergleich zu anderen Katastrophenrisiken ist die Gefahr durch Tierseuchenausbrüche in hohem Maße beeinflussbar, denn durch Biosicherheits- und Seuchenbekämpfungsmaßnahmen können die Wahrscheinlichkeit zukünftiger sowie die Größe zukünftiger und gegenwärtiger Seuchenausbrüche verringert werden.<sup>12</sup> Die geschilderten Entwicklungen bringen die zunehmende Notwendigkeit einer globalen Steuerung des Tierseuchenrisikos mit sich.

Tierseuchen sind vorwiegend Gegenstand der veterinärmedizinischen Forschung.

---

<sup>6</sup>Vgl. Yee et al. [2009], S. 327-331.

<sup>7</sup>Vgl. Leforban [1999], S. 1755.

<sup>8</sup>Vgl. Zijp [1999], S. 200-202.

<sup>9</sup>Die Daten wurden der Datenbank FAOSTAT unter [www.fao.org/statistics](http://www.fao.org/statistics) entnommen. Der Anstieg der Fleischproduktion ist angesichts des moderaten Bevölkerungswachstums in China besonders bemerkenswert, das nach Angaben der Datenbank UNSTATS unter [unstats.un.org](http://unstats.un.org) seit 1975 die 2 %-Marke und seit 1996 die 1 %-Marke fortwährend unterschreitet.

<sup>10</sup>Vgl. Fraser [2008], S. 331.

<sup>11</sup>Vgl. Zijp [1999], S. 199-202.

<sup>12</sup>Vgl. Hirsch und Nell [2008], S. 263. Alle Maßnahmen, die in diesem Sinne eine Reduktion des Tierseuchenrisikos ermöglichen, werden hier als Risikomanagementmaßnahmen bezeichnet.

Gemessen an ihrer hohen ökonomischen Bedeutung werden sie in der wirtschaftswissenschaftlichen Forschung bislang nicht ausreichend berücksichtigt. Die veterinärmedizinische Forschung kann erklären, welche Faktoren das Entstehen und die Verbreitung von Tierseuchen beeinflussen und stellt damit elementare Informationen zur Risikosteuerung bereit. Der wirtschaftswissenschaftlichen Forschung obliegt die Entwicklung eines Zielkriteriums der globalen Risikosteuerung und die Analyse der Implementierung des auf Basis dieses Zielkriteriums optimierten Risikomanagements. Die ökonomisch bedeutsamen Probleme im Tierseuchen-Risikomanagement werden in der veterinärmedizinischen Literatur nicht behandelt, geschweige denn überhaupt erkannt.<sup>13</sup> Die vorliegende Dissertation füllt diese Forschungslücke. Es wird aufgezeigt, wie das Tierseuchenrisiko aus wohlfahrtsökonomischer Sicht gesteuert werden sollte, und wie ein wohlfahrtsökonomisch optimales Risikomanagement umgesetzt werden kann.

## 1.1 Problemstellung und Methodik

Die erste Herausforderung bei der Untersuchung des effizienten Managements von Tierseuchenrisiken betrifft die Erschließung der Erkenntnisse aus der veterinärmedizinischen Forschung für die ökonomische Analyse. Die biologischen Realisationen des Tierseuchenrisikos liegen in Form einer Verbreitung von Krankheitserregern vor. Ökonomisch relevant sind dagegen die mit der Seuchendynamik korrespondierenden Wohlfahrtsverluste. Deshalb wird in dieser Arbeit ein Risikokostenmodell entwickelt, das auf bestehenden biologischen Modellen aufbaut und die Wohlfahrtsverluste des Tierseuchenrisikos in Abhängigkeit des Risikomanagements bewertet. Methodisch basiert das Risikokostenmodell auf der aus der Produktionstheorie bekannten Produktivitätsbeziehung zwischen Inputs und Outputs sowie auf dem kollektiven Risikomodell, das zur Abschätzung der Gesamtschadenverteilungen von Versicherungsportfolios in der Schadenversicherung verwendet wird.<sup>14</sup>

Effizientes Management von Tierseuchenrisiken zeichnet sich durch eine Minimierung erwarteter Risikokosten aus. Auf vollkommenen Märkten ist dies das Ergebnis der Risikomanagementaktivitäten aller relevanten Akteure wie Tierproduzenten und Veterinärbehörden. Die Risikokostenmodellierung dient dann lediglich der Erklärung des in der Realität beobachtbaren, effizienten Risikomanagements. Die ökonomische Analyse des Tierseuchen-Risikomanagements offenbart jedoch zwei wesentliche Ursachen für Marktversagen. Maßnahmen des Risikomanagements *hochinfektöser* Tierseuchen, die im Fokus dieser Arbeit stehen, rufen in hohem Maße externe Effekte hervor. Neben der Externalitätenproblematik bestehen teilweise gravierende Informationsprobleme bei der Implementierung des effizienten Tierseuchen-Risiko-

---

<sup>13</sup>Vgl. dazu die in Horst [1998], S. 7 beschriebenen Forschungsschwerpunkte zum Thema ansteckende Tierseuchen mit den in Abschnitt 1.1 dargestellten Problemstellungen in dieser Arbeit.

<sup>14</sup>Vgl. Vgl. Panjer und Wilmot [1992], S. 165 f.

managements.

Zur Darstellung des Externalitätenproblems im Tierseuchen-Risikomanagement wird auf bestehende Interdependent Security-Modelle Bezug genommen, die allokativen Konsequenzen von externen Effekten der Schadenverhütung abbilden.<sup>15</sup> Marktversagen in Folge von externen Effekten setzt voraus, dass eine Internalisierung durch Verhandlungen mit signifikanten Transaktionskosten verbunden ist.<sup>16</sup> Dies ist beim Risikomanagement hochinfektiöser Tierseuchen zweifellos der Fall. Die Wahl geeigneter Internalisierungsmechanismen ist deshalb der zweite Schwerpunkt der Untersuchung. Diese Analyse geht im Wesentlichen auf PIGOU [1946] zurück, der Externalitäten als Nebenprodukte wirtschaftlicher Aktivitäten als vermeintlich neue Quelle eines Marktversagens identifizierte.<sup>17</sup> Dabei zeigt sich, dass eine zentrale Steuerung des Tierseuchen-Risikomanagements - bis zu einem gewissen Grad - vorteilhaft ist. Die zur Verwendung der veterinärmedizinischen Erkenntnisse entwickelte Risikokostenmodellierung kann deshalb als Instrument zur zentralen Steuerung des Risikomanagements eingesetzt werden.

Ursache der Informationsprobleme bei der Implementierung des effizienten Tierseuchen-Risikomanagements ist die Unbeobachtbarkeit einiger Risikomanagementmaßnahmen, die von individuellen Tierproduzenten durchgeführt werden. Effizientes Risikomanagement erfordert deshalb den Einsatz anreizkompatibler Mechanismen. Es zeigt sich, dass die Kompensation der Schäden aus Tierseuchenausbrüchen ein entscheidendes Instrument zur Implementierung des effizienten Risikomanagements ist. Allerdings entfalten Kompensationsansprüche auch die als moralisches Risiko bekannten, negativen Anreizwirkungen auf unbeobachtbare Schadenverhütungsaktivitäten der versicherten Tierproduzenten. Das Design der optimalen Entschädigungsfunktion im Angesicht dieses Anreizkonflikts ist der dritte Schwerpunkt vorliegender Analyse. Die Untersuchung der asymmetrischen Information basiert auf der Prinzipal-Agent-Theorie<sup>18</sup> und enthält eine Weiterentwicklung von Moral Hazard-Modellen im versicherungswissenschaftlichen Kontext. Technisch ist die Abbildung des Risikomanagements unter asymmetrischer Information an die Moral Hazard-Modelle von HOLMSTRÖM [1979] und WINTER [2000] angelehnt.

## 1.2 Aufbau der Arbeit

Die Analyse des effizienten Managements von Tierseuchenrisiken erfordert einen interdisziplinären Ansatz, der veterinärmedizinische sowie ökonomische Methoden

---

<sup>15</sup>Vgl. Kunreuther und Heal [2003].

<sup>16</sup>Vgl. Coase [1960].

<sup>17</sup>Bei Betrachtung der Anreizstrukturen von Externalitätenproblemen zeigt sich, dass Externalitäten nur ein allgemeiner Fall der schon zur Zeit der klassischen Nationalökonomie diskutierten Bereitstellungsprobleme bei öffentlichen Gütern sind. Vgl. Cornes und Sandler [1996], S. 5 f.

<sup>18</sup>Vgl. Schmidt [1995], S. 17-21 zur Einführung in die Analyse des moralischen Risikos unter Verwendung von Prinzipal-Agent-Modellen.

und Erkenntnisse beinhaltet. Neben einer beispielhaften Einführung anhand von drei ökonomisch bedeutsamen, hochinfektiösen Tierseuchen werden in Kapitel 2 die Faktoren vorgestellt, die eine Eindämmung oder Ausbreitung hochinfektiöser Krankheitserreger begünstigen. Dadurch können die Maßnahmen des Risikomanagements hochinfektiöser Tierseuchen und ihre Auswirkungen im Rahmen biologischer Prozesse umfassend dargestellt werden. In Kapitel 2 soll grundlegendes veterinärmedizinisches Wissen vermittelt werden, so dass die Anwendung des Instrumentariums der ökonomischen Analyse auf den Kontext des Tierseuchenrisikos ohne entsprechende Vorbildung nachvollzogen werden kann.

Die darauf folgenden Kapitel enthalten die Analyse des effizienten Managements von Tierseuchenrisiken. Dabei wird schrittweise im Sinne eines Abbaus von Annahmen vorgegangen. In Kapitel 3 werden zunächst verschiedene Arten von Risikokosten hochinfektiöser Tierseuchen vorgestellt. Unter der Einschränkung einer partialanalytischen Betrachtung und der Annahme vollversicherter Tierproduzenten wird gezeigt, dass die Kaldor-Hicks effiziente Risikomanagementstrategie<sup>19</sup> zur globalen Steuerung des Tierseuchenrisikos darin besteht, den Barwert der zukünftigen erwarteten Risikokosten zu minimieren. Zur Berechnung der erwarteten Risikokosten werden regionale Seucheneinschleppungs- und Seuchenausbreitungsmodelle durch ein Risikokostenmodell ergänzt, das eine Abbildung von der implementierten Risikomanagementstrategie zu den erwarteten Risikokosten ermöglicht. Die nach dem Kaldor-Hicks-Kriterium optimale Risikomanagementstrategie würde durch eine globale, wohlfahrtsmaximierende Veterinärbehörde automatisch implementiert werden. Unter der Annahme vollkommener Märkte würden auch die im Tierseuchen-Risikomanagement handelnden Agenten, das heißt Veterinärbehörden und Tierproduzenten, Kooperationsvereinbarungen zur Durchführung des Kaldor-Hicks effizienten Risikomanagements treffen.

In Kapitel 4 wird von der Annahme vollkommener Märkte abgerückt. Es wird berücksichtigt, dass die Durchführung konkreter Risikomanagementmaßnahmen im Ermessen von eigennützig handelnden Veterinärbehörden und Tierproduzenten liegt. Angesichts der externen Effekte des Risikomanagements ist deren Kooperation Voraussetzung für die Implementierung des effizienten Risikomanagements. Auf unvollkommenen Märkten entstehen im Zuge dieser Kooperationsvereinbarungen Transaktionskosten. Folglich spielt das institutionelle Arrangement, das den Rahmen der Zusammenarbeit der Agenten im Risikomanagement hochinfektiöser Tierseuchen vorgibt, eine zentrale Rolle bei der Implementierung der effizienten Risikomanagementstrategie. Nach der Darstellung des Externalitätenproblems werden in Kapitel 4 verschiedene Ansätze zur Internalisierung der externen Effekte des Risikomanagements hochinfektiöser Tierseuchen überprüft. Dabei zeigt sich, dass die Finanzierung

---

<sup>19</sup>Eine Risikomanagementstrategie ist als bedingter Handlungsplan aufzufassen, der vorgibt, welche Risikomanagementmaßnahmen in Abhängigkeit des Eintritts von Umweltzuständen durchgeführt werden. Eine exakte Definition erfolgt in Abschnitt 3.3.1.

der Risikokosten eine entscheidende Rolle bei der Implementierung des effizienten Risikomanagements spielt. Nach der Darstellung der effizienten Risikokostenfinanzierung wird die Finanzierung der Risikokosten hochinfektiöser Tierseuchen in den Mitgliedsländern der Europäischen Union dargestellt und beurteilt.

Jegliche Kooperationsvereinbarung hinsichtlich des Tierseuchen-Risikomanagements setzt voraus, dass die Kooperationspartner die Einhaltung der vereinbarten Risikomanagementmaßnahmen wechselseitig beobachten und im Fall eines Disputs verifizieren können. Ist dies nur eingeschränkt oder gar nicht der Fall, liegen Informationsprobleme vor. Diese werden in Kapitel 5 untersucht. Damit unbeobachtbare Risikomanagementmaßnahmen in aus gesamtwirtschaftlicher Sicht bestmöglicher Intensität durchgeführt werden, ist der Einsatz anreizkompatibler Mechanismen notwendig. Die Kompensation der Risikokosten von Tierproduzenten in Folge von Seuchenausbrüchen spielt dabei eine zentrale Rolle. Ein Großteil des Kapitels 5 widmet sich deshalb der Ableitung der optimalen Entschädigungsfunktion. Zum Abschluss werden die Kompensationssysteme in den Mitgliedsländern der Europäischen Union auf Anreizkompatibilität hin überprüft.

Die Arbeit endet mit einer Schlussbetrachtung und einem kurzen Ausblick.

## Kapitel 2

# Tierseuchenrisiko und Risikomanagement

Die Reduktion des Tierseuchenrisikos auf eine abstrakte, zu steuernde Risikokostengröße erfordert grundlegendes Wissen über die biologisch bedeutsamen Faktoren und Prozesse beim Risiko hochinfektiöser Tierseuchen. Abschnitt 2.1 enthält dazu eine anschauliche Einführung in das Thema Tierkrankheiten und Tierseuchen. Anhand von drei bedeutenden Tierseuchen werden Merkmale von Tierseuchen und Tierseuchenrisiken vorgestellt, die im Hinblick auf das Risikomanagement bedeutsam sind. Anschließend wird der modellhafte Verlauf eines Seuchenausbruchs dargestellt (Abschnitt 2.2), auf den im weiteren Verlauf der Arbeit, insbesondere bei der Einführung in Risikomanagementmaßnahmen und bei der Abbildung der Seuchenausbreitung, wiederholt zurückgegriffen wird. In Abschnitt 2.3 werden konkrete Maßnahmen vorgestellt, die zum Management des Risikos hochinfektiöser Tierseuchen durchgeführt werden können.

### 2.1 Tierkrankheiten und Tierseuchen

Der Begriff der Tierseuche ist legal definiert und unterscheidet sich daher zwischen Ländern mit unterschiedlicher Tierseuchengesetzgebung. Zu den Tierseuchen zählen ausschließlich durch Krankheitserreger wie zum Beispiel durch Bakterien, Viren, Parasiten oder Pilze hervorgerufene Tierkrankheiten. Die rechtliche Regulierung einer Tierkrankheit im Rahmen der Tierseuchengesetzgebung erfolgt dann, wenn die Krankheit als ernste Gefahr angesehen wird. Meist besteht diese Gefahr im Risiko wirtschaftlich hoher Schäden in Folge des Ausbruchs einer Tierseuche. Seltener motiviert die Bedrohung der Bevölkerungsgesundheit in Folge des Ausbruchs einer Zoonose<sup>1</sup> die Aufnahme einer Tierkrankheit in das nationale oder internationale Tierseuchenrecht.

Das Gefahrenpotenzial einer Tierkrankheit hängt im Besonderen von ihrer *Übertragbarkeit* ab. Bei hochinfektiösen Tierkrankheiten besteht die Gefahr, dass im Rah-

---

<sup>1</sup>Zoonosen sind auf Menschen übertragbare Tierkrankheiten.

men einer Epizootie oder Panzootie<sup>2</sup> große Teile des Tierbestands ganzer Regionen, Länder oder Kontinente erkranken oder sterben und damit die Nahrungsgrundlagen des Menschen bedrohen. Weiterhin bestimmt die *Pathogenität* einer Tierkrankheit, ob sie als gefährliche Bedrohung eingeschätzt wird. Hohe Mortalitätsraten oder dauerhaft gesunkene Produktionsleistungen von Tieren in Folge einer Erkrankung erhöhen beispielsweise das Schadenpotenzial von Tierkrankheiten.

Diese Hauptkriterien für die Gefährlichkeit von Tierkrankheiten und damit für deren Einbeziehung in die Seuchengesetzgebung stimmen weltweit überein. Die von einer bestimmten Tierkrankheit ausgehende Gefahr hängt unter anderem von den landwirtschaftlichen Strukturen und von den klimatischen und geographischen Bedingungen eines Landes ab. Insofern ist es nicht verwunderlich, dass sich die als Tierseuchen regulierten Krankheiten zwischen Ländern und Regionen unterscheiden, wenn diese Regionen in Bezug auf landwirtschaftliche, klimatische und geographische Faktoren differieren.

Einen sehr breiten Überblick über die weltweit als gefährlich eingestuften Tierkrankheiten bietet die von der Weltorganisation für Tiergesundheit (OIE – Office International des Epizooties)<sup>3</sup> geführte Liste der meldepflichtigen Krankheiten. Sie enthält derzeit 118 Tierkrankheiten.<sup>4</sup> Zu dieser Liste wurden Ende 2004 die sogenannten Listen A und B der OIE zusammengefasst. Liste A enthielt hochinfektiöse Tierkrankheiten, die sich sehr schnell verbreiten können und deshalb eine schwerwiegende ökonomische oder gesundheitliche Bedrohung für mehrere Länder darstellen. Liste B enthielt weitere gefährliche Krankheiten, deren Ausbreitungsfahr und ökonomische oder gesundheitliche Bedrohung nicht so gravierend eingeschätzt wurden, dass die Kriterien für einen Einschluss in Liste A gerechtfertigt waren.<sup>5</sup> Die Differenzierung in die Listen A und B wurde im Zuge einer Reform der internationalen Meldevorgaben der OIE für Krankheitsausbrüche in den OIE-Mitgliedsländern abgeschafft, um eine Vereinheitlichung mit internationalen Handelsregularien der Welthandelsorganisation (WTO) und eine bessere Umsetzung der Meldepflicht in Abhängigkeit der Dringlichkeit einer Seuchenausbruchsmeldung zu erreichen, die für Krankheiten beider Listen nach einheitlichen Kriterien festgelegt werden sollte.<sup>6</sup>

---

<sup>2</sup>Analog zur Epidemie und Pandemie beim Menschen versteht man unter einer Epizootie bzw. Panzootie die starke Ausbreitung einer Tierkrankheit über mehrere Regionen bzw. über verschiedene Länder und Kontinente. Endemien bzw. Enzoootien bezeichnen dagegen ein lokal begrenztes, erhöhtes Auftreten einer Krankheit.

<sup>3</sup>Die OIE ist die Dachorganisation der Veterinärbehörden von 169 Mitgliedsländern und Territorien und unterhält Beziehungen zu 35 weiteren regionalen und internationalen Organisationen. Sie wird auch als internationales Tierseuchenamt bezeichnet. Ihr Primärziel ist die Verbesserung der weltweiten Tiergesundheit. Als Referenzorganisation der World Trade Organisation entwickelt die OIE unter anderem Standards für den internationalen Handel von Tieren und Produkten tierischen Ursprungs. Vgl. Zijpp [1999], S. 203. Sie hat damit eine bedeutende Rolle im globalen Management von Tierseuchenrisiken.

<sup>4</sup>Stand 2. Mai 2010. Die Liste der 'diseases notifiable to the OIE' ist auf der Homepage der OIE abrufbar unter [www.oie.int](http://www.oie.int).

<sup>5</sup>Vgl. Lester [2002], S. 487.

<sup>6</sup>Vgl. International Society for Infectious Diseases [2004] und [2005].

Im Zentrum dieser Arbeit stehen die hochinfektiösen Tierkrankheiten der ehemaligen Liste A, da bei diesen Risiken die in Kapitel 4 analysierten externen Effekte des Risikomanagements in ganz erheblichem Maße auftreten. Tabelle 2.1 zeigt die 15 hochinfektiösen Tierseuchen, die bis Ende 2004 in der Liste A der OIE geführt wurden. Sie bietet aber keine vollständige Erfassung der besonders gefährlichen Tierkrankheiten, die hier im Mittelpunkt der Betrachtung stehen. Eine derartige Übersicht müsste die regionalen Unterschiede in der Gefährdungssituation berücksichtigen. Nicht jede der 15 Krankheiten in Tabelle 2.1 zählt in jeder Region der Erde zu den gefährlichsten Tierseuchen.<sup>7</sup> Andererseits geht in vielen Regionen auch von hier nicht genannten, ansteckenden Krankheiten eine ernsthafte Bedrohung aus.<sup>8</sup> Insofern sind die in Tabelle 2.1 aufgeführten Tierkrankheiten nur Beispiele für Risiken, deren Management in dieser Arbeit untersucht wird.

**Tabelle 2.1: Hochinfektiöse Tierseuchen**

Maul- und Klauenseuche
Vesikuläre Schweinekrankheit
Pest der kleinen Wiederkäuer
Lumpy-Skin-Krankheit
Blauzungenerkrankung
Afrikanische Pferdepest
Klassische Schweinepest
Newcastle-Krankheit
Stomatitis Vesicularis
Rinderpest
Lungenseuche der Rinder
Rifttal-Fieber
Pockenseuche der Schafe und Ziegen
Afrikanische Schweinepest
Hochpathogene Vogelgrippe

In den folgenden Abschnitten werden drei hoch ansteckende Tierseuchen vorgestellt. Die Maul- und Klauenseuche (MKS), die klassische Schweinepest (KSP) sowie die hochpathogene Vogelgrippe (HPAI - Highly Pathogenic Avian Influenza) stellen in vielen Teilen der Erde eine schwere wirtschaftliche oder gesundheitliche Bedrohung dar. In der weiteren Arbeit wird im Rahmen von Beispielen auf diese Tierseuchen und aufgrund der guten Dokumentation besonders auf deren jüngste und größte Ausbrüche wiederholt Bezug genommen. Der Fokus auf wenige Epizootien soll aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass Ausbrüche hochinfektiöser Tierseuchen weltweit betrachtet alltäglich sind. Tabelle 2.2 zeigt

<sup>7</sup>Zum Beispiel ist das Auftreten der Afrikanischen Pferdepest in der Regel auf Afrika beschränkt, denn die Insekten, die für die Krankheitsübertragung als biologische Vektoren hauptsächlich sind, sind an die dortigen klimatischen Verhältnisse gebunden. Vgl. die *Disease Card* auf der Homepage der OIE unter [www.oie.int](http://www.oie.int).

<sup>8</sup>Rindertuberkulose ist beispielsweise ein fortwährendes Problem in Großbritannien, weil Dachse ein natürliches Reservoir des Erregers *Mycobacterium Bovis* darstellen. Vgl. Reilly und Courtenay [2007], S. 130.

die Anzahl der offiziell registrierten Ausbrüche dieser Tierseuchen im Jahr 2009.<sup>9</sup>

Tabelle 2.2: Offiziell registrierte Tierseuchenausbrüche im Jahr 2009

	MKS	KSP	HPAI
Afrika	43	0	1.087
Amerika	1	20	0
Asien	98	1	681
Europa	0	151	4

### 2.1.1 Maul- und Klauenseuche

Die Maul- und Klauenseuche ist insbesondere für Paarhufer wie Rinder, Schweine, Schafe und Ziegen eine hochinfektiöse Viruserkrankung<sup>10</sup>, was sie zu einem landwirtschaftlich bedeutenden Risiko macht. Sie befällt aber auch eine Reihe nicht domestizierter bzw. nicht überwiegend in der landwirtschaftlichen Produktion genutzter Tiere wie Wildschweine, Wasserbüffel, Bisons, Hirsche, Antilopen, Elche, Lamas, Kamele, Giraffen und Elefanten. Auch Menschen können an der Maul- und Klauenseuche erkranken. Die Wahrscheinlichkeit ist jedoch selbst bei direktem Kontakt mit erkrankten Tieren sehr gering, und die Symptome sind mit denen einer leichten Grippe vergleichbar.<sup>11</sup> Die Regulierung von MKS im Rahmen der Tierseuchengesetzgebung ist deshalb eindeutig durch das wirtschaftliche Risiko dieser Krankheit begründet.

Der *MKS-Virus* kommt in sieben verschiedenen Serotypen vor. MKS-Viren eines Serotyps können noch verschiedenen Topotypen zugeordnet werden. Diese detaillierte Klassifizierung des MKS-Virus ermöglicht es, Verbreitungswege sehr genau nachzuvollziehen.<sup>12</sup> Der MKS-Virus ist äußerst resistent. Es ist ein Fall dokumentiert, in dem ein MKS-Virus zwölf Jahre in der Erde im Profil eines Gummistiefels überlebt hat, das heißt er war selbst nach dieser Zeit noch ansteckend.<sup>13</sup> Auch in nicht pasteurisierten Milchprodukten oder in gepökelt, geräuchertem oder nur unvollständig gekochtem Fleisch kann der MKS-Virus lange Zeit überleben.<sup>14</sup> Je geringer die Temperaturen, desto länger bleibt der Virus aktiv. Reinigung bzw. Desinfektion ist äußerst wirksam zur Bekämpfung des Virus, da er bei Kontakt mit sauren Lösungen, die einen pH-Wert von weniger als 6,5 haben, deaktiviert wird. Die Empfindlichkeit gegenüber Säure impliziert, dass MKS-Viren im Muskelfleisch von Tierkadavern normalerweise innerhalb von 48 Stunden abgetötet werden, da in diesem Zeitraum der pH-Wert des Fleisches auf unter 6,0 absinkt. In den Lymph-

<sup>9</sup>Angaben aus der Homepage der OIE unter [www.oie.int](http://www.oie.int) am 30. Mai 2010. In Australien und Neuseeland wurden im Jahr 2009 keine Ausbrüche registriert.

<sup>10</sup>Vgl. Mahy [2005], S. 6.

<sup>11</sup>Vgl. University of Georgia [2001].

<sup>12</sup>Vgl. Mahy [2005], S. 3 f.

<sup>13</sup>Vgl. Mahy [2005], S. 5.

<sup>14</sup>Vgl. University of Georgia [2001].

knoten oder im Knochenmark von Kadavern bzw. in gefrorenem Gewebe kann der Erreger jedoch mehrere Jahre überleben.<sup>15</sup>

Die *Pathogenese* eines an der Maul- und Klauenseuche erkrankten Tieres beginnt nach einer 2 bis 14-tägigen Inkubationszeit. Es bilden sich Blasen im Mund und zwischen den Zehen, die etwa 24 Stunden nach dem Auftreten von Krankheits-symptomen aufreißen.<sup>16</sup> Die Folgen eines Ausbruchs hängen stark davon ab, ob das erkrankte Tier schon früher mit dem MKS-Virus infiziert war. In Regionen, wo die Maul- und Klauenseuche endemisch<sup>17</sup> ist, wie zum Beispiel in weiten Teilen Afrikas, Asiens und Südamerikas, sind die Tiere an den Virus gewöhnt. Wenn es überhaupt zu einem Krankheitsausbruch kommt, verheilen die wenigen Blasen meistens schnell.<sup>18</sup> Trifft die Tierseuche jedoch auf einen Tierbestand, der niemals vorher in Kontakt mit der Maul- und Klauenseuche gekommen ist, können die Folgen desaströs sein. Es kann zu schwerer Krankheit und, je nach Serotyp, zu Mortalitätsraten bis zu 50 % kommen.<sup>19</sup>

Die *Übertragbarkeit* von MKS ist der entscheidende Faktor, warum diese Tierseuche so gefährlich ist. Direkter Kontakt zwischen infizierten und gesunden Tieren ist wie bei den meisten Krankheiten ein bedeutsamer Übertragungsweg. MKS kann jedoch auch durch indirekte Kontakte übertragen werden, indem zum Beispiel Menschen oder Geräte den Virus nach Kontakt mit infizierten Tieren in gesunde Herden einschleppen. Durch Fernreisen und durch den Transport von nicht adäquat behandelten Tierprodukten ist eine Übertragung auch über sehr weite Entfernungen möglich.<sup>20</sup> Die Verbreitung des MKS-Virus als Schwebstoff in der Luft ist eine spezifische Gefahr dieser Tierseuche. Bei hoher Luftfeuchtigkeit und mittleren bis geringen Temperaturen kann der Virus auch auf diesem Weg respektable Entfernungen zurück legen. Beim Ausbruch der Maul- und Klauenseuche in der Bretagne im Jahr 1981 haben Krankheitserreger über 250 km durch die Luft zurück gelegt und Rinder auf der Isle of Wight an der Südküste Englands infiziert.<sup>21</sup> Infizierte Tiere sind nur einige Tage ansteckend. Aufgrund der rapiden Vermehrung des MKS-Virus in seinem Wirt ist die Weiteransteckung sogar noch während der Inkubationszeit möglich.<sup>22</sup> Die Gefahr einer Verbreitung von MKS hängt auch von den bereits infizierten Arten ab. Besonders hoch ist der Virenausstoß bei infizierten Schweinen. Ihr Virenausstoß, gemessen am Virengehalt der Atemluft, kann den von Rindern um das mehr als 1000-fache übersteigen.<sup>23</sup> Ein noch nicht quantifiziertes Übertragungsrisiko geht von sogenannten Trägertieren aus. Ein gewisser Anteil infizierter Tiere

---

<sup>15</sup>Davies [2002], S. 196.

<sup>16</sup>Vgl. University of Georgia [2001].

<sup>17</sup>In der Veterinärmedizin spricht man von einer endemischen Krankheit, wenn der Krankheitserreger dauerhaft präsent ist, zum Beispiel im Wildtierbestand.

<sup>18</sup>Vgl. Davies [2002], S. 195 f.

<sup>19</sup>Vgl. University of Georgia [2001].

<sup>20</sup>Vgl. Nissen [2001], S. 21.

<sup>21</sup>Vgl. Mahy [2005], S. 5.

<sup>22</sup>Vgl. Davies [2002], S. 195.

<sup>23</sup>Vgl. Nissen [2001], S. 22.

erkrankt nicht, trägt das MKS-Virus aber je nach Spezies mehrere Monate oder gar Jahre in sich. Obwohl die Gefahr einer weiteren Übertragung durch Trägertiere nicht bestätigt ist, sind die rigiden internationalen Handelsbeschränkungen mit Bezug auf MKS zu einem erheblichen Teil auf dieses Risiko zurück zu führen.<sup>24</sup>

Weltweit arbeiten mehrere Labore an der Entwicklung und Verbesserung von *Impfstoffen*<sup>25</sup> gegen die Maul- und Klauenseuche. Trotz der kontinuierlichen Erfolge werden flächendeckende Impfungen weltweit nur sehr selten präventiv eingesetzt. Dies hat verschiedene Gründe. Zum einen bietet eine Impfung nur unvollkommenen Schutz, der mit dem genetischen Unterschied des geimpften Virenstammes von dem Virenstamm, der den geimpften Bestand bedroht, abnimmt. Jeder Serotyp des MKS-Virus kommt in verschiedenen Varianten vor. Eine erfolgversprechende Impfpolitik müsste deshalb zumindest gegen die MKS-Virenstämme impfen, bei denen eine reale Gefahr der Seucheneinschleppung besteht. Zum anderen bewirken Impfungen nur eine kurzfristige Immunität gegen MKS. Im Rahmen einer flächendeckenden Impfpolitik müssten zum Beispiel Impfungen von Rindern alle vier bis sechs Monate wiederholt werden. Beide Aspekte bewirken, dass eine flächendeckende Impfstrategie mit signifikanten Kosten verbunden ist. Darüber hinaus bieten auch die besten Impfstoffe nur bedingten Schutz gegen MKS. Geimpfte Tiere können sich weiterhin mit MKS infizieren. Lediglich die Wahrscheinlichkeit eines Krankheitsausbruchs verringert sich. Sie hängt jedoch letztlich von der Intensität ab, mit der die geimpften Tiere den Krankheitserregern ausgesetzt sind. Eine Impfpolitik kann deshalb weder Biosicherheitsmaßnahmen zur Vermeidung einer Einschleppung von Krankheitserregern ersetzen, noch besteht bei einem Import von geimpften Tieren die Gewissheit, dass diese keine Überträger der Maul- und Klauenseuche sind. In der Europäischen Union besteht aus diesem Grund ein Verbot des Transports von gegen MKS geimpften Tieren und eine generelle Nichtimpfpolitik<sup>26</sup>. Bei Verwendung moderner Impfstoffe kann - zumindest auf Basis ganzer Herden - getestet werden, ob Tiere in der Vergangenheit mit MKS-Viren infiziert oder nur dagegen geimpft wurden. Diese Fortschritte führten dazu, dass Impfungen zumindest als Maßnahme zur Kontrolle von Seuchenausbrüchen wieder akzeptiert werden, und der für die Exportwirtschaft überaus bedeutsame Status der Freiheit einer Region von MKS schon sechs Monate nach Eindämmung eines MKS-Ausbruchs mit Hilfe von Impfungen bei der OIE beantragt werden kann.<sup>27</sup>

Diese Politikvorgabe steht nicht zuletzt aufgrund der desaströsen Folgen des *MKS-Ausbruchs 2001 in Großbritannien* in der Diskussion, zu dessen Eindämmung keine Impfmaßnahmen<sup>28</sup>, sondern ausschließlich Not- und Präventivschlachtungen

---

<sup>24</sup>Vgl. Davies [2002], S. 196.

<sup>25</sup>Vgl. Kitching [2005], S. 143-146 zum gesamten Absatz über MKS-Impfstoffe.

<sup>26</sup>Vgl. Richtlinie 90/423/EWG.

<sup>27</sup>Bei einer Seuchenbekämpfung ohne Impfungen verkürzt sich dieser Zeitraum auf drei Monate. Vgl. Grubman [2005], S. 228.

<sup>28</sup>Vgl. Hutber et al. [2006], S. 31.

durchgeführt und Restriktionen erlassen wurden. Während der acht Monate andauernden Epizootie wurden fast 4,2 Mio. Tiere zur Seuchenbekämpfung geschlachtet.<sup>29</sup> Allein die in Verbindung mit der Durchführung von Seuchenbekämpfungsmaßnahmen bei den Tierproduzenten und involvierten Behörden anfallenden Kosten betragen fast 5,4 Mrd. Euro.<sup>30</sup>

### 2.1.2 Klassische Schweinepest

Die klassische oder auch europäische Schweinepest ist eine der tödlichsten und wirtschaftlich bedeutsamsten Tierkrankheiten<sup>31</sup>. Sie befällt alle Schweinearten und ist mit Ausnahme Nordamerikas, Australiens und Neuseelands weltweit verbreitet.

Der *KSP-Virus* tritt hauptsächlich in neun verschiedenen Subtypen auf. Dies ermöglicht es oftmals, die Ausbreitung vorhandener Viren oder die Einschleppung neuer Viren als Ursachen einer KSP-Epizootie zu unterscheiden. Da die verschiedenen Subtypen jeweils stark verbreitet sind bzw. nicht genügend Informationen zum natürlichen regionalen Vorkommen der Subtypen vorliegen,<sup>32</sup> ist eine Nachverfolgung der Wege eines Krankheitserregers nicht so genau möglich wie im Falle eines MKS-Ausbruchs mit einem Serotyp, dessen natürliches Vorkommen oftmals regional begrenzt ist.

Die *Pathogenese* eines an KSP erkrankten Schweins hängt von vielen Faktoren wie der Virulenz des in einem spezifischen Infektionsfall vorliegenden Erregers, den Umweltbedingungen, der Rasse bzw. Zucht und dem Alter des Tieres ab. Die Inkubationszeit beträgt etwa eine Woche, teilweise auch bis zu drei Wochen. Man unterscheidet zwischen unterschiedlich schweren Verläufen der Krankheit. Bei akutem Verlauf folgt auf Fieberschübe, Diarrhö, innere Blutungen und allgemeiner Immunschwäche schon nach wenigen Tagen der Tod. Moderate oder gar keine Symptome sowie Fehl- und Totgeburten kennzeichnen einen milden Krankheitsverlauf, der bei Infektionen mit schwach virulenten KSP-Viren und bei älteren Tieren wahrscheinlicher wird. Diese überleben einen nicht akuten Verlauf in der Regel und können sogar vollständig genesen, während die Mortalität bei Ferkeln deutlich höher ist.<sup>33</sup>

Eine *Übertragung* der klassischen Schweinepest kann durch direkten und indirekten Kontakt zustande kommen. Da KSP in weiten Teilen der weltweiten Wildschweinbestände, unter anderem in Deutschland, endemisch ist, besteht ein nachhaltiges Infektionsrisiko.<sup>34</sup> Übertragung durch die Luft ist, wenn überhaupt, nur bei kurzen Distanzen innerhalb einer Herde oder zwischen benachbarten Betrieben

---

<sup>29</sup>Als indirekte Folge der Restriktionen zur Seuchenbekämpfung wurden zusätzlich 2,3 Mio. Tiere aus Tierschutzgründen geschlachtet. Vgl. National Audit Office [2002], S. 17.

<sup>30</sup>Vgl. Alleweldt et al. [2006], S. 26.

<sup>31</sup>Vgl. Karsten und Krieter [2005], S. 180.

<sup>32</sup>Vgl. Paton und Greiser-Wilke [2003], S. 172.

<sup>33</sup>Vgl. Karsten und Krieter [2005], S. 180 f.

<sup>34</sup>Vgl. Vos et al. [2005], S. 236.

möglich.<sup>35</sup> Eine besondere Rolle bei der Verbreitung der Krankheit spielt die Verfütterung tierischer Produkte, das sogenannte Swill Feeding. Da der Virus in Tierprodukten mehrere Tage, bei gefrorenen Produkten sogar mehrere Monate überleben kann,<sup>36</sup> müssen diese ausreichend erhitzt werden, um eine Infektion durch Swill Feeding zu vermeiden.<sup>37</sup> Ein infiziertes Tier beginnt teilweise noch während der Inkubationszeit, Viren über alle Sekrete und Exkrete auszuschleiden. Erst mit dem Tod bzw. mit der ausreichenden Entwicklung von Antikörpern bei genesenden Tieren versiegt diese Infektionsquelle.<sup>38</sup>

Traditionelle *Impfstoffe* bieten für zwei bis drei Jahre zuverlässigen Schutz gegen eine Erkrankung, erlauben aber keine serologische Differenzierung zwischen geimpften und infizierten Tieren. Neuere Markerimpfstoffe ermöglichen dies, bieten aber erst nach zwei bis drei Wochen Schutz im Vergleich zu einer Woche bei Verwendung traditioneller Impfstoffe, was im Fall von Notimpfungen zur Eindämmung von Seuchenausbrüchen ein Nachteil ist.<sup>39</sup> Prophylaktische Impfungen werden weltweit vereinzelt durchgeführt.<sup>40</sup> Aufgrund der unmittelbaren Kosten von Impfprogrammen und der Exportrestriktionen, die eine Impfpolitik bzw. der dadurch verlorene Status einer Region als KSP-frei mit sich bringt,<sup>41</sup> werden Impfungen nur in manchen Ländern temporär im Rahmen von Seuchenausrottungsprogrammen angewendet<sup>42</sup>. Eine Impfpolitik zur Seuchenbekämpfung war zum Beispiel in der Europäischen Union bis vor wenigen Jahren verboten.<sup>43</sup> Mittlerweile findet jedoch, ähnlich zu der Diskussion um die Verwendung von Impfstoffen zur Bekämpfung von MKS, ein Umdenken statt, was nicht zuletzt der Entwicklung von Markerimpfstoffen geschuldet ist.

Neben den technischen Fortschritten bei der Entwicklung von Impfstoffen bekam die Diskussion durch die katastrophalen Folgen der *KSP-Epizootie 1997/98 in den Niederlanden* Auftrieb, zu deren Bekämpfung ausschließlich auf Schlachtungen und Restriktionen gesetzt wurde. Der Ausgangspunkt des Seuchenausbruchs lag in Paderborn, wo ein Tierproduzent nicht ausreichend erhitzte Tierprodukte verfütterte, in denen KSP-Viren enthalten waren.<sup>44</sup> Von Niedersachsen wurde die Seuche vermutlich durch einen kontaminierten LKW in die Niederlande eingeschleppt,<sup>45</sup> die in der Folge von dem Seuchenzug mit Abstand am stärksten betroffen war. Im Zuge der Seuchenbekämpfung wurden in den Niederlanden fast 12,4 Mio. Tiere gekeult.<sup>46</sup>

---

<sup>35</sup>Vgl. Paton und Greiser-Wilke [2003], S. 170.

<sup>36</sup>Im Gegensatz zum MKS-Virus bleibt der KSP-Virus bei pH-Werten von fünf bis zehn stabil. Vgl. Karsten und Krieter [2005], S. 180.

<sup>37</sup>In manchen Staaten wie Australien ist Swill Feeding aufgrund der damit verbundenen Infektionsrisiken gänzlich untersagt. Vgl. Glynn [2007], S. 1.

<sup>38</sup>Vgl. Karsten und Krieter [2005], S. 181.

<sup>39</sup>Vgl. Karsten und Krieter [2005], S. 183 f.

<sup>40</sup>Vgl. Paton und Greiser-Wilke [2003], S. 172.

<sup>41</sup>Vgl. OIE [2007], Abschnitt 2.6.7.

<sup>42</sup>Vgl. Edwards et al. [2000].

<sup>43</sup>Vgl. Moennig [2000], S. 93.

<sup>44</sup>Vgl. Court of Auditors [2000], S. 15.

<sup>45</sup>Vgl. Stegeman et al. [2000], S. 186.

<sup>46</sup>Vgl. Stegeman et al. [2000], S. 191.

Die Kosten für Tierproduzenten und andere Betriebe der Wertschöpfungskette summierten sich auf fast 2 Mrd. Euro.<sup>47</sup>

### 2.1.3 Hochpathogene Vogelgrippe

Auch bei der hochpathogenen Vogelgrippe handelt es sich in erster Linie um ein gravierendes globales Problem für die Tiergesundheit. Anders als die in den vorangegangenen Abschnitten vorgestellten Tierseuchen MKS und KSP kann sie jedoch auch eine ernsthafte Gefahr für Menschen darstellen, wie insbesondere die Pandemie der spanischen Grippe in den Jahren 1918-1920 eindrucksvoll belegt, an der weltweit vermutlich 40 bis 50 Mio. Menschen gestorben sind.<sup>48</sup> Die Regulierung dieser Tierseuche dient demnach auch dem Schutz der Bevölkerungsgesundheit.

Das natürliche Reservoir der *Influenza A-Viren*, die in zahlreichen Subtypen vorkommen, sind primär wildlebende oder als Nutztiere gehaltene Vögel. Influenza A-Viren können aber auch Säugetiere wie Schweine, Pferde oder Menschen befallen. Manche Viren haben sich in Säugetieren fest etabliert, wie zum Beispiel die Subtypen H1N1 und H3N2, die als Humaninfluenza bekannt sind.<sup>49</sup> Die meisten Influenza A-Viren sind harmlos bzw. minderpathogen. Ursache eines hochpathogenen Krankheitsverlaufs sind Mutationen oder Reassortments der Viren, die schnell eine Vielzahl von Organen des Wirts befallen können.<sup>50</sup> Die so veränderten Viren treffen auf ein unvorbereitetes Abwehrsystem. Eine Panzootie oder Pandemie ist dann möglich, wenn sich das veränderte Virus als leicht zwischen den befallenen Vögeln, Säugetieren oder Menschen übertragbar erweist.

Zum Ausbruch der hochpathogenen Vogelgrippe kann es nach Infektion mit Influenza A-Viren der *Subtypen H5 oder H7* kommen. Seit bei einem Ausbruch der Vogelgrippe 1997 in Hongkong erstmals Erkrankungen von Menschen mit Todesfolge durch H5N1 festgestellt wurden, steht dieser Subtyp im Zentrum des internationalen Interesses. Schätzungen gehen davon aus, dass weltweit seither mehrere hundert Mio. Vögel zur Eindämmung und Bekämpfung von H5N1 gekeult wurden.<sup>51</sup> H5N1 ist seit Ende 2003 in vielen Ländern Asiens endemisch und breitet sich Richtung We-

<sup>47</sup>Vgl. Alleweldt et al. [2006], S. 24.

<sup>48</sup>Vgl. de Wit und Fouchier [2008], S. 1 und Skeik und Jabr [2008], S. 234. Die Schätzungen der Anzahl an Todesopfern der spanischen Grippe variieren sehr stark und reichen von 15 Mio. bis zu 100 Mio. Menschen. Vgl. Tsang et al. [2005], S. 533 und Mamelund [2001], S. 3. Ursachen dieser starken Streuung der Schätzergebnisse sind der Mangel an Dokumentation von Todesfällen und Bevölkerungsstatistiken, vor allem in den damaligen Entwicklungsländern, und die restriktive Zensur von Nachrichten in vielen am ersten Weltkrieg beteiligten Nationen.

<sup>49</sup>Vgl. Berg et al. [2008], S. 123 f.

<sup>50</sup>Unter genetischem Reassortment versteht man den Gen-Austausch unterschiedlicher Virenstämme in einer Wirtszelle, was zur Bildung eines neuen, hybriden Virus führt. Der Virus H2N2 - ursächlich für eine Pandemie im Jahr 1957 - war ein Reassortment eines aviären und eines Humaninfluenza Virus. Dagegen ist die durch H1N1 verursachte spanische Grippe 1918 auf eine Mutation eines rein aviären Virus zurückzuführen. Vgl. Skeik und Jabr [2008], S. 234.

<sup>51</sup>Vgl. Berg et al. [2008], S. 122, 125.

sten aus.<sup>52</sup> Neben H5N1 sind insbesondere die Subtypen H5N2, H7N1 und H7N7 als Auslöser der hochpathogenen Vogelgrippe bekannt. Von Viren der aviären Subtypen H5, H7 und H9 sind vereinzelt Erkrankungen von Menschen dokumentiert.<sup>53</sup>

Die *Pathogenese* beim Ausbruch einer hochpathogenen Vogelgrippe hängt von vielen Faktoren ab, insbesondere von der Virulenz des Virus, aber auch von der betroffenen Art. Die klinische Symptomatik bei Vögeln beinhaltet Husten, Niesen, rasselnde Atemgeräusche, Entzündung der Nebenhöhlen, Schwäche, Appetitlosigkeit, Erkrankungen des Zentralnervensystems, Lähmungen, Durchfall und Ödeme am Kopf.<sup>54</sup> Je nach Virustyp und befallener Vogelart sind Mortalitätsraten bis zu 100 % möglich, wobei der Tod schon innerhalb der ersten 48 Stunden nach Infektion eintreten kann<sup>55</sup>, oder aber Inkubationszeiten von mehreren Tagen beobachtet werden<sup>56</sup>. In über 300 Fällen wurde bisher eine Erkrankung von Menschen durch H5N1 nachgewiesen, wobei die Fall-Mortalitätsrate über 50 % liegt.<sup>57</sup> Sie übersteigt damit die Mortalitätsrate der spanischen Grippe um ein Vielfaches.<sup>58</sup> Die Aufzeichnungen zu den H5N1 Erkrankungen von Menschen zeigen, dass die Inkubationszeit bei zwei bis acht Tagen liegt. Häufige Symptome sind Fieber, Husten, Halsschmerzen, Lungenentzündung, Durchfall und Erbrechen. In schweren Fällen wird unter anderem akutes Lungenversagen, Entzündungen von Herzmuskel, Herzbeutel und Gehirn sowie multiples Organversagen beobachtet.<sup>59</sup>

Viren werden über den Speichel, über Nasensekrete und über Kot ausgeschieden. Eine *Übertragung* ist daher beim Kontakt zwischen den Vögeln oder Säugetieren möglich, oder beim Kontakt nicht-infizierter Vögel oder Säugetiere mit kontaminierten Exkrementen.<sup>60</sup> Innerhalb eines Nutztierbestandes breitet sich die hochpathogene Vogelgrippe rapide aus, da sie äußerst ansteckend ist.<sup>61</sup> Für die Übertragung über weite Strecken werden Zugvögel verantwortlich gemacht. Die Pathogenese lässt dies jedoch zweifelhaft erscheinen. Es wird weiterhin vermutet, dass illegaler internationaler Handel mit Geflügel eine entscheidende Rolle bei der Verbreitung hochpathogener Influenza A-Viren spielt.<sup>62</sup> Zwischen Menschen ist eine leichte Übertragung von Subtypen der aviären Virenstämme H5, H7 und H9 bislang noch nicht möglich, was Voraussetzung für das Entstehen einer Pandemie wäre.<sup>63</sup>

---

<sup>52</sup>Vgl. Werner [2006], S. 140.

<sup>53</sup>Vgl. Berg et al. [2008], S. 124.

<sup>54</sup>Vgl. Schauerte und Kück [2008], S. 174.

<sup>55</sup>Vgl. Skeik und Jabr [2008], S. 234.

<sup>56</sup>Vgl. Mannelli et al. [2007], S. 319 f.

<sup>57</sup>Vgl. Skeik und Jabr [2008], S. 234.

<sup>58</sup>Relativ gut dokumentiert ist der Verlauf der spanischen Grippe in den USA, wo die Fall-Mortalitätsrate 2,5% betrug. Vgl. Jin und Mossad [2005], S. 1130. Besonders tödlich wütete die Pandemie in Indien, wo sie die gesamte Bevölkerung um etwa 5% dezimierte. Vgl. Brown [1992].

<sup>59</sup>Vgl. Skeik und Jabr [2008], S. 235.

<sup>60</sup>Vgl. Skeik und Jabr [2008], S. 234.

<sup>61</sup>Vgl. Schauerte und Kück [2008], S. 175.

<sup>62</sup>Vgl. Skeik und Jabr [2008], S. 234.

<sup>63</sup>Vgl. Sheik und Jabr [2008], S. 236.

Eine *Impfung* gegen Influenza A-Viren ist sowohl bei Vögeln als auch bei Menschen generell möglich. Bei Impfung mit inaktivierten Viren zeigt sich insbesondere bei Vögeln eine relativ breite Immunität gegen mehrere Influenza A-Viren.<sup>64</sup> Allerdings gibt es derzeit keinen Impfstoff, der zuverlässig gegen Infektion, Erkrankung und Virusausscheidung schützt. Impfungen verursachen signifikante Kosten und ziehen Exportbeschränkungen nach sich, so dass eine prophylaktische Impfstrategie in der Geflügelproduktion aus Kostengründen im Allgemeinen nicht zu empfehlen ist.<sup>65</sup> Prophylaktisches Impfen von Hochrisikobeständen oder systematisches Impfen als Bestandteil einer Strategie zur Ausrottung einer endemischen hochpathogenen Vogelgrippe kann jedoch temporär sinnvoll sein.<sup>66</sup>

## 2.2 Epizootiologische Grundlagen

Die Epizootiologie beschäftigt sich mit den Faktoren, die den Gesundheitszustand von Tieren oder Tierbeständen bestimmen. Im Hinblick auf das Risikomanagement besonders gefährlicher, hochinfektiöser Tierseuchen interessiert in erster Linie, wie eine Übertragung und Verbreitung der Krankheitserreger stattfindet, und welche Faktoren die Übertragung und Verbreitung der Erreger fördern oder hemmen. Das Management von Tierseuchenrisiken basiert auf epizootiologischen Erkenntnissen und bezeichnet die Auswahl geeigneter Maßnahmen zur Verhinderung des Ausbruchs oder der Verbreitung von Tierseuchen. In diesem Abschnitt wird ein einfaches Modell der Seuchenausbreitung vorgestellt, um eine Einordnung der im darauf folgenden Abschnitt beschriebenen Risikomanagementmaßnahmen in die Dynamik eines Seuchenzuges zu ermöglichen.

Seuchenausbreitungsmodelle beschreiben die geographische und zeitliche Dynamik des Infektionsprozesses eines bestimmten ansteckenden Krankheitserregers innerhalb eines geographischen und zeitlichen Raumes. Als Einheiten in diesen Modellen fungieren, je nach Zweck der Modellierung, entweder einzelne Tiere oder ganze Tierbestände.<sup>67</sup> Weit verbreitet ist das SIR-Modell, ein dynamisches Modell zur Abbildung der Ausbreitung ansteckender Krankheiten. Die Bezeichnung leitet sich aus den möglichen Zuständen der Modelleinheiten ab: *Susceptible*, *Infectious* oder *Removed*.<sup>68</sup> Die Modelleinheiten befinden sich also zu jedem Zeitpunkt  $t$  in einem der drei möglichen Zustände empfänglich, infiziert / infektiös<sup>69</sup> oder immun / gekeult und beseitigt / in Folge der Infektion gestorben<sup>70</sup>. Das SIR-Modell geht von einer

---

<sup>64</sup>Vgl. Berg et al. [2008], S. 132.

<sup>65</sup>Vgl. Berg et al. [2008], S. 143. Im nicht industriellen Bereich, zum Beispiel bei Zootieren, kann prophylaktische Impfung aber empfehlenswert sein. Vgl. Schauerte und Kück [2008].

<sup>66</sup>Vgl. Berg et al. [2008], S. 145 f. und Capua und Marangon [2007], S. 5650.

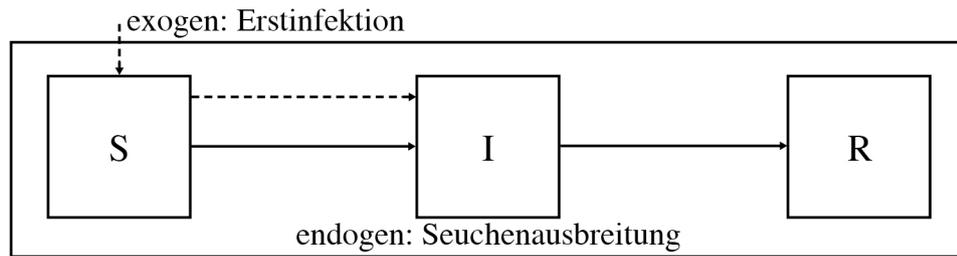
<sup>67</sup>Vgl. Green und Medley [2002], S. 201.

<sup>68</sup>Vgl. Karsten und Krieter [2005], S. 184.

<sup>69</sup>Im einfachen SIR-Modell wird nicht zwischen infizierten und infektiösen Tieren unterschieden.

<sup>70</sup>Im Rahmen des Modells macht es keinen Unterschied, ob Tiere immun, gekeult

Abbildung 2.1: SIR-Modell



geschlossenen Population der Größe  $N$  aus.  $N$  ist die Anzahl der Modelleinheiten bzw. die Populationsgröße. Die Anzahl der empfänglichen, infektiösen und immunen bzw. beseitigten Modelleinheiten zum Zeitpunkt  $t$  bezeichnen wir mit  $S(t)$ ,  $I(t)$  und  $R(t)$ .<sup>71</sup> Somit gilt:  $N = S(t) + I(t) + R(t)$ . Das einfache SIR-Modell bildet die zeitliche Dynamik eines Seuchenzuges innerhalb dieser geschlossenen Population ab. Es eignet sich daher besonders zur Abbildung von Seuchen, deren Dynamik relativ schnell im Vergleich zur Reproduktionsdynamik der empfänglichen Tiere ist.<sup>72</sup> Abbildung 2.1 zeigt eine schematische Darstellung des SIR-Modells.<sup>73</sup>

Am Anfang einer Epizootie steht das Zusammentreffen von Krankheitserregern mit Modelleinheiten des empfänglichen Bestands. Dadurch kommt es zur Erstinfektion, die im SIR-Modell nicht endogen bestimmt wird, sondern auf das System als exogener Schock einwirkt. Daraufhin entwickelt sich ein dynamischer Prozess, der unter Umständen zu einer Ausbreitung der Seuche, also zu einer Epizootie führt, die zu Beginn durch ein exponentielles Wachstum der Anzahl infizierter Modelleinheiten und ein entsprechendes Absinken der Subpopulation  $S(t)$  geprägt ist. Mit zeitlicher Verzögerung steigt auch die Größe der Subpopulation  $R(t)$ , die sich aus  $I(t)$  speist. Die Epizootie erreicht ihren Höhepunkt und schwächt sich ab.<sup>74</sup> Es resultiert eine teilweise immune und je nach Pathogenese oder Seuchenbekämpfung möglicherweise stark dezimierte Population.<sup>75</sup>

Eine sehr einfache Variante des SIR-Modells wird durch das Differentialgleichungssystem (2.1), (2.2), (2.3) beschrieben:<sup>76</sup>

oder gestorben sind. Zur Abbildung der Seuchenausbreitung ist dies zweckmäßig, da sowohl von immunen, als auch von beseitigten und gestorbenen Modelleinheiten keine Infektionsgefahr mehr ausgeht.

<sup>71</sup>Die Größen der Subpopulationen sind jeweils nach unten durch null und nach oben durch  $N$  beschränkt. Vgl. Diekmann und Heesterbeek [2000], S. 3.

<sup>72</sup>Vgl. Diekmann und Heesterbeek [2000], S. 3.

<sup>73</sup>Vgl. Rubel [2004].

<sup>74</sup>Vgl. Green und Medley [2002], S. 202.

<sup>75</sup>Modelltheoretisch bleibt die Populationsgröße unverändert, da die Subpopulation  $R(t)$  auch gestorbene oder gekeulte Tiere enthält.

<sup>76</sup>Die formale Darstellung des SIR-Modells orientiert sich an Diekmann und Heesterbeek [2000], S. 15 f., 182 f. Erweiterungen des Modells finden sich zum Beispiel in Satsuma et al. [2004], S. 370-372.

$$\frac{dS(t)}{dt} = -\beta \cdot I(t) \cdot S(t) \quad (2.1)$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = \beta \cdot I(t) \cdot S(t) - \alpha \cdot I(t) \quad (2.2)$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = \alpha \cdot I(t) \quad (2.3)$$

Bei Seuchenfreiheit befindet sich das System im Gleichgewicht  $(S(t), I(t), R(t)) = (N, 0, 0)$ .<sup>77</sup> Die Erstinfektion in  $t = 0$  bringt das System aus dem Gleichgewicht. Wir setzen als Anfangsbedingungen  $S(0) < N$ ,  $I(0) > 0$  und  $R(0) = 0$ . Die Erstinfektion betrifft demnach nur einen Teil der empfänglichen Subpopulation. Eine Übertragung auf andere Modelleinheiten beschreibt die in den Gleichungen (2.1) und (2.2) abgebildete Interaktion der Subpopulationen  $S(t)$  und  $I(t)$ . Die konstante Größe  $\beta$  stellt dabei die Infektionsrate dar. Dividiert man Gleichung (2.1) durch  $S(t)$ , so erhält man die (negative) Wachstumsrate von  $S(t)$ . Bezogen auf eine Zeiteinheit entspricht der Betrag dieser Wachstumsrate der Infektionswahrscheinlichkeit einer empfänglichen Modelleinheit, die den Wert  $\beta \cdot I(t)$  annimmt. Im SIR-Modell ist diese Infektionswahrscheinlichkeit damit proportional zur Größe der Subpopulation  $I(t)$  mit  $\beta$  als Proportionalitätsfaktor.<sup>78</sup>

Die Abnahme der Subpopulation  $S(t)$  in (2.1) ist als Zunahme der Subpopulation  $I(t)$  in (2.2) erfasst, da alle empfänglichen Modelleinheiten, die zum Zeitpunkt  $t$  infiziert werden, in die Subpopulation  $I(t)$  abwandern. Der konstante Parameter  $\alpha$  entspricht der Wahrscheinlichkeit des Übergangs einer infektiösen Modelleinheit in den Zustand der Immunität innerhalb einer Periode. Diese Größe wird als Genesungsrate bezeichnet, auch wenn die Ursache der Zustandsänderung im Tod oder in der Keulung der Modelleinheit liegt. Das durch Gleichung (2.2) abgebildete Wachstum der Subpopulation  $I(t)$  ergibt sich damit aus dem Zufluss aus der Subpopulation  $S(t)$ , abzüglich der Modelleinheiten, die von  $I(t)$  in die Subpopulation  $R(t)$  übergehen. Aufgrund der Geschlossenheit der Population  $N$  ist die Angabe des Wachstums der Subpopulation  $R(t)$  durch (2.3) redundant und nur aus Gründen der Anschaulichkeit in das Gleichungssystem (2.1), (2.2) und (2.3) aufgenommen.

Die Annahme einer konstanten Genesungsrate  $\alpha$  impliziert, dass die Länge der Zeitspanne, in der eine einzelne Modelleinheit infektiös ist,  $\frac{1}{\alpha}$  beträgt. Damit lässt

---

<sup>77</sup>Hier und im Folgenden wird angenommen, dass die gesamte Population empfänglich ist, also keine aufgrund von früheren Erkrankungen oder Schutzimpfungen immune Subpopulation besteht.

<sup>78</sup>Dieser Infektionsdynamik liegt die Vorstellung zugrunde, dass die Wahrscheinlichkeit einer Krankheitsübertragung zwischen zwei beliebigen Modelleinheiten gleich groß ist. Dieser aus dem Bereich der kinetischen Chemie stammende Prozess wird als Mass-Action Modell bezeichnet und setzt voraus, dass die Wahrscheinlichkeit eines Kontaktes zwischen allen Modelleinheiten gleich groß ist. Es bestehen verschiedene Ansätze zur realitätsnäheren Gestaltung der Infektionsdynamik bei räumlicher Heterogenität. Vgl. Karsten und Krieter [2005], S. 184.

sich die für die Beschreibung einer Seuchenausbreitung überaus bedeutsame Basis-Reproduktionsrate  $R_0$  ableiten. Sie bezeichnet die Anzahl an Infektionen, die durch eine infektiöse Modelleinheit zu Beginn einer möglichen Epizootie in  $t = 0$  hervorgerufen wird. Eine einzelne infektiöse Modelleinheit führt zu einer Infektionswahrscheinlichkeit in Höhe  $\beta$  pro Periode. Da diese Modelleinheit im Durchschnitt  $\frac{1}{\alpha}$  Perioden infektiös ist, und die Anzahl an empfänglichen Modelleinheiten zu Beginn einer Epizootie  $S(0)$  beträgt, ergibt sich folgender Ausdruck für die Basis-Reproduktionsrate  $R_0$ :

$$R_0 = \beta \cdot S(0) \cdot \frac{1}{\alpha} \quad (2.4)$$

Die Ausbreitung einer Erstinfektion zu einer Epizootie kann nur dann erwartet werden, wenn die Basis-Reproduktionsrate den Wert 1 überschreitet.  $R_0 > 1$  bedeutet, die ersten infektiösen Modelleinheiten verursachen jeweils mehr als eine weitere infektiöse Modelleinheit, bevor sie beseitigt werden. Ob der exogene Schock in Form von einer Erstinfektion im SIR-Modell zu einer Epizootie führt, hängt demnach von der Parameterkonstellation ab, das heißt von den Größen  $\beta$ ,  $\alpha$  und  $S(0)$ . Äquivalent zu der Bedingung  $R_0 > 1$  ist die Anforderung einer positiven Wachstumsrate der Subpopulation  $I(t)$  zu Beginn der Epizootie. Aus (2.2) können wir die Wachstumsrate von  $I(t)$  an der Stelle  $t = 0$  ableiten:

$$\left. \frac{dI(t)}{dt} \right|_{t=0} = \beta \cdot S(0) - \alpha \quad (2.5)$$

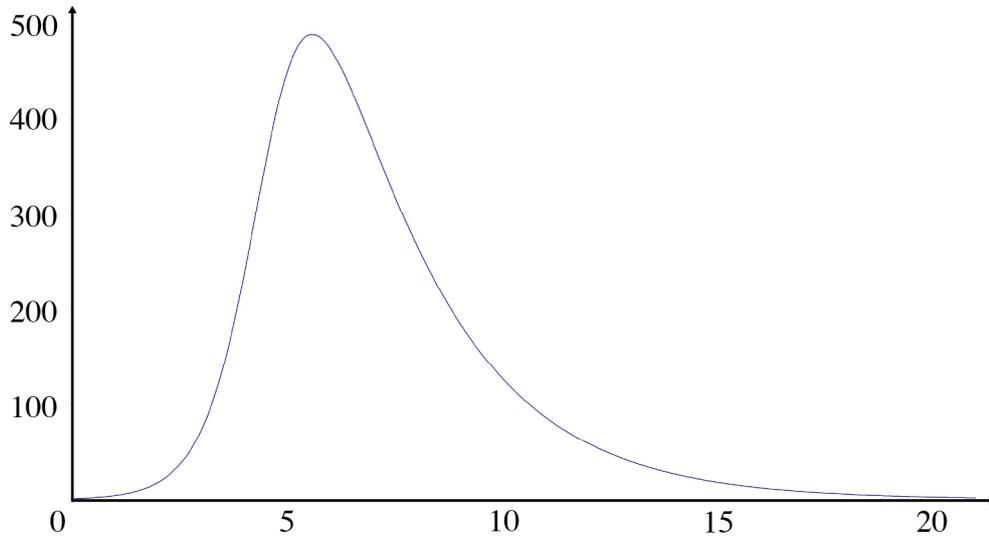
Eine Seuchenausbreitung nach Erstinfektion kann also nur erwartet werden, wenn die Größe der Subpopulation  $S(0)$  den kritischen Wert  $S_k = \frac{\alpha}{\beta}$  übersteigt. Aus (2.5) ist zudem erkennbar, dass der Höhepunkt der Epizootie, gemessen an der maximalen Größe der Subpopulation  $I(t)$ , erreicht ist, wenn die Anzahl an empfänglichen Modelleinheiten auf das Niveau  $\frac{\alpha}{\beta}$  abgesunken ist. Abbildung 2.2 stellt die epizootiologische Infektionsdynamik bei  $R_0 = 5$  anhand der Entwicklung der Subpopulation  $I(t)$  im Zeitablauf grafisch dar.<sup>79</sup>

Bei  $R_0 > 1$  steigt die Größe der Subpopulation  $I(t)$ , bis  $S(t)$  auf das Niveau  $\frac{\alpha}{\beta}$  gesunken ist. Daraufhin sinkt  $I(t)$ . Bei Betrachtung des reduzierten dynamischen Systems (2.1), (2.2) wird sofort deutlich, dass ein Gleichgewicht in  $t > 0$  die Bedingung  $I(t) = 0$  erfüllen muss, da erst dann die Reduktion von  $S(t)$  gestoppt wird. Daher gilt  $I(\infty) = 0$ , und folglich  $N = S(\infty) + R(\infty)$ . Es lässt sich zeigen, dass  $S(\infty) > 0$  ist. Das bedeutet, nach Abklingen einer Epizootie verbleibt im SIR-Modell eine Subpopulation  $S(t)$ , die nicht von der Seuche erfasst wurde.<sup>80</sup> Wir bezeichnen

<sup>79</sup>Abbildung 2.2 basiert auf Berechnungen des diskretisierten Systems (2.1), (2.2) mit den Parameterspezifikationen  $S(0) = 999$ ,  $I(0) = 1$ ,  $\beta = 0,002$  und  $\alpha = 0,4$ . Die Schrittweite der Berechnungen beträgt 0,1.

<sup>80</sup>Die Subpopulation  $S(t)$  des Modells mit den der Abbildung 2.2 zugrunde liegenden Parameterspezifikationen nähert sich für  $t \rightarrow \infty$  einer Größe von 6 Modelleinheiten an.

Abbildung 2.2: Dynamik eines Infektionsprozesses im SIR-Modell



$R(\infty) = N - S(\infty)$  als das Ausmaß der Epizootie, das im SIR-Modell von der Basis-Reproduktionsrate abhängig ist. Für  $R_0 \rightarrow \infty$  geht  $S(\infty)$  gegen null, und für  $R_0 \rightarrow 1^+$  strebt  $S(\infty)$  gegen den Wert  $N - 2 \cdot N \cdot (R_0 - 1)$ .<sup>81</sup>

Das hier vorgestellte SIR-Modell bildet die epizootiologische Dynamik unter den stark vereinfachenden Annahmen der Geschlossenheit der Population, der Reduktion auf drei Zustände sowie der Konstanz der Parameter  $\beta$  und  $\alpha$  ab. Die Grundstruktur des SIR-Modells wird für zahlreiche empirische Untersuchungen der Ausbreitung hochinfektiöser Tierseuchen und für Modelle zur Simulation von Seuchenausbreitungen verwendet. Die restriktiven Annahmen werden dabei in unterschiedlicher Weise verändert, zum Beispiel indem mehrere Zustände, demographische Entwicklungen, variierende oder stochastische Parameterwerte oder räumliche Aspekte integriert werden.<sup>82</sup> Hier ist das einfache Modell ausreichend, da lediglich die Ansatzpunkte der Maßnahmen des Tierseuchen-Risikomanagements und deren Einordnung in die epizootiologische Dynamik hervorgehoben werden sollen.

Ein offensichtlicher Ansatz des Managements von Tierseuchenrisiken ist die Reduktion der Wahrscheinlichkeit der Erstinfektion einer Population. Ein weiterer Ansatz des Tierseuchen-Risikomanagements ist die Reduktion des Parameters  $\beta$ . Das SIR-Modell zeigt, dass eine Epizootie durch eine Reduktion von  $\beta$  vollständig vermieden werden kann, wenn dadurch die Basis-Reproduktionsrate unter den Wert eins absinkt. Der Parameter  $\beta$  steht für die Wahrscheinlichkeit einer empfänglichen Modelleinheit, durch eine infektiöse Modelleinheit während einer Zeiteinheit infiziert zu werden. Sie bestimmt sich demnach vorwiegend aus der Anzahl und der Art von

<sup>81</sup>Anhang A enthält die Herleitung dieses Ergebnisses.

<sup>82</sup>Vgl. Murray [1989], S. 619-695.

direkten und indirekten Kontakten zwischen den Modelleinheiten.<sup>83</sup> Risikomanagementmaßnahmen zur Reduktion von  $\beta$  in  $t < 0$  sowie Maßnahmen zur Reduktion der Wahrscheinlichkeit einer Erstinfektion werden in Abschnitt 2.3.1 vorgestellt und als *Biosicherheitsmaßnahmen* bzw. als *Präventionsmaßnahmen* bezeichnet.

Das SIR-Modell zeigt weiterhin, dass durch eine Reduktion von  $\beta$  in  $t > 0$  das Ausmaß der Seuchenausbreitung abgesenkt werden kann. Je stärker sich die Basis-Reproduktionsrate dem Wert eins von rechts annähert, desto mehr Modelleinheiten bleiben von dem Seuchenzug gänzlich verschont. Eine Vermeidung oder Abschwächung der Seuchenausbreitung kann auch durch eine Erhöhung des Parameters  $\alpha$ , der Genesungsrate, erzielt werden. Die Genesungsrate kann zum Beispiel durch die Isolation oder die sofortige Beseitigung infizierter Tiere erhöht werden. Maßnahmen des Tierseuchen-Risikomanagements zur Absenkung von  $\beta$  in  $t > 0$  sowie zur Erhöhung von  $\alpha$  werden als *Seuchenbekämpfungsmaßnahmen* bzw. als *Reaktionsmaßnahmen* bezeichnet und sind Thema des Abschnitts 2.3.2.

Schließlich ist das Vorhandensein einer für den Krankheitserreger empfänglichen Population  $S(0)$  in ausreichender Größe Voraussetzung einer Seuchenausbreitung, wie Gleichung (2.4) bzw. die Anforderung einer Basis-Reproduktionsrate, die den Wert eins übersteigt, ausdrückt. Die Populationsgröße ist damit auch als Variable des Risikomanagements zu betrachten und wird in Abschnitt 2.3.3 unter dem Begriff der *Intensität der Tierproduktion* diskutiert. Ein Hauptzweck der mathematischen Modellierung von Epizootien ist die Risikoabschätzung bzw. die Analyse des Nutzens konkreter Risikomanagementmaßnahmen,<sup>84</sup> auf die wir in Kapitel 3 zu sprechen kommen.

## 2.3 Maßnahmen des Risikomanagements hochinfektiöser Tierseuchen

Die Tierproduktion ist weltweit durch eine Vielzahl von Krankheitserregern ernsthaft bedroht. Das Tierseuchenrisiko ist aber kein exogenes Risiko, sondern kann durch verschiedene Maßnahmen beeinflusst werden. Diese Maßnahmen sind Thema dieses Abschnitts und werden als Risikomanagementmaßnahmen bezeichnet. Die Ausführungen in Abschnitt 2.1 haben gezeigt, dass zwischen einzelnen Tierseuchen, zum Beispiel hinsichtlich ihrer Übertragungs- und Verbreitungswege, ihres natürlichen Vorkommens und der Möglichkeit, Infektion, Krankheit oder Übertragung durch Impfung zu verhindern, große Unterschiede bestehen. Folglich sind auch die geeigneten Maßnahmen zum Management des Risikos seuchenspezifisch.<sup>85</sup> Im Fol-

---

<sup>83</sup>Vgl. Green und Medley [2002], S. 201 f.

<sup>84</sup>Vgl. Horst [1998], S. 6.

<sup>85</sup>Teilweise muss noch stärker differenziert werden. Bei der Maul- und Klauenseuche muss zum Beispiel nach dem Serotyp des Krankheitserregers unterschieden werden, der maßgeblichen Einfluss auf die geeigneten Maßnahmen des Risikomanagements hat. Streng genommen werden unter dem Begriff Maul- und Klauenseuche sieben verschiedene Krankheiten subsumiert, je nachdem welcher Serotyp des MKS-Virus betrachtet wird. Vgl. Kitching [2005], S. 134 f.

genden werden unterschiedliche Klassen von Maßnahmen des Risikomanagements vorgestellt, wobei die verwendete Klassifizierung für alle Tierseuchen zutreffend ist. Bei Beispielen wird auf konkrete Tierseuchen Bezug genommen.

Die seuchenübergreifende Klassifizierung von Maßnahmen des Tierseuchen-Risikomanagements setzt an dem allgemeinen epizootiologischen Modell aus dem vorangegangenen Abschnitt an. Aus den Bestimmungsfaktoren der Entstehung und Dynamik einer Epizootie ergibt sich die Unterteilung des Risikomanagements in Biosicherheits- und Seuchenbekämpfungsmaßnahmen, die in den folgenden Abschnitten 2.3.1 und 2.3.2 beschrieben werden. Schließlich wird in Abschnitt 2.3.3 auf die Intensität der Tierproduktion eingegangen, deren Reduktion auch als Maßnahme des Risikomanagements zu verstehen ist. Abschließend werden weitere Abgrenzungen von Risikomanagementmaßnahmen vorgestellt (Abschnitt 2.3.4), die im Verlauf dieser Arbeit verwendet werden.

### **2.3.1 Biosicherheit**

Biosicherheitsmaßnahmen sind im weiteren Sinne alle Maßnahmen, die darauf abzielen, Krankheitserreger von einer Population, einer Herde oder einer Gruppe von Tieren fern zu halten, die (noch) nicht von den Erregern befallen ist.<sup>86</sup> Diese Definition umfasst eine Vielzahl unterschiedlicher Maßnahmen, je nachdem, ob man sich auf eine einzelne Herde oder auf einen Betrieb beschränkt, oder ob man zum Beispiel alle Nutztiere einer Art in einer Region oder einem Land als die zu schützende Population betrachtet. Wir bezeichnen erstere als betriebliche und letztere als regionale Biosicherheitsmaßnahmen, die in den Abschnitten 2.3.1.1 und 2.3.1.2 behandelt werden. Sowohl betriebliche als auch regionale Biosicherheitsmaßnahmen reduzieren das Tierseuchenrisiko, indem sie die Wahrscheinlichkeit einer Erstinfektion in der betrachteten Region bzw. in den betrachteten Herden absenken. Biosicherheitsmaßnahmen basieren auf den Erkenntnissen zu den Übertragungs- und Verbreitungswegen von Tierseuchen. Aufgrund von seuchenspezifischen Übertragungs- und Verbreitungswegen ist ein optimales Programm an Biosicherheitsmaßnahmen auf die Abwehr konkreter Tierseuchen ausgerichtet.

#### **2.3.1.1 Betriebliche Biosicherheitsmaßnahmen**

Betriebliche Biosicherheitsmaßnahmen werden zur Vermeidung der Infektion von Herden oder Tiergruppen eines individuellen Betriebes durchgeführt. Die Übertragung hochinfektöser Tierseuchen auf eine Herde erfolgt, mit Ausnahme einer Übertragung durch die Luft, über *direkte Kontakte* der Herde mit infizierten Tieren oder über *indirekte Kontakte* mit kontaminierten Trägern von Krankheitserregern, zum Beispiel mit Transportfahrzeugen, mit in der Tierproduktion eingesetzten Geräten oder mit Personen oder anderen biologischen Vektoren. Bei den meisten hochinfektösen Tierseuchen, so auch bei MKS, KSP und HPAI, ist ein direkter Kontakt

---

<sup>86</sup>Vgl. Shulaw und Bowman [2001], S. 1.

eine wesentlich effektivere Übertragungsart als ein indirekter Kontakt. Bei den betrieblichen Biosicherheitsmaßnahmen geht es vor allem darum, die Anzahl von Kontakten zu begrenzen bzw. Maßnahmen zu ergreifen, so dass die Wahrscheinlichkeit der Übertragung von Krankheiten bei den für den Produktionsbetrieb notwendigen Kontakten sinkt.

Betriebliche Biosicherheitsmaßnahmen können der grundlegenden *Ausgestaltung des Produktionssystems* zugeordnet werden. Die Anzahl an Kontakten wird wesentlich durch die Menge an Tiertransporten<sup>87</sup> determiniert, die im Rahmen der Tierproduktion notwendig sind. Insofern hat die Betriebsgröße einen erheblichen Einfluss auf das Tierseuchenrisiko.<sup>88</sup> Auch der vertikale Integrationsgrad eines Produktionssystems ist risikorelevant. Die Notwendigkeit von Tiertransporten in Abhängigkeit von der vertikalen Integration eines Produktionssystems lässt sich besonders einfach am Beispiel der Schweineproduktion darstellen. Man unterscheidet zwischen Betrieben, die sich auf die Ferkelaufzucht oder auf die Mast spezialisieren, und einer integrierten Produktion.<sup>89</sup> Eine integrierte Produktion benötigt nur Abtransporte des Viehs zu Schlachthöfen, was im Vergleich zu einem Mastbetrieb, der auf den An- und Abtransport von Tieren angewiesen ist, ein *ceteris paribus* geringeres Risiko für die Einschleppung hochinfektiöser Tierseuchen bedeutet.<sup>90</sup> Ein weiteres Beispiel für eine systembezogene betriebliche Biosicherheitsmaßnahme ist die Anwendung eines all-in all-out Verfahrens in der Schweineproduktion. Dabei werden unterschiedliche Gruppen von Schweinen gemeinsam gehalten, ohne im Laufe des Produktionsprozesses mit anderen Tieren vermischt zu werden. Im Gegensatz zu einem von kontinuierlichen Zu- und Abgängen geprägten Produktionsverfahren ist die Wahrscheinlichkeit einer Durchseuchung eines gesamten Betriebes mit infektiösen Krankheiten im all-in all-out Verfahren deutlich geringer.<sup>91</sup>

Eine zweite Klasse betrieblicher Biosicherheitsmaßnahmen bildet die *Einhaltung von Biosicherheitsstandards*.<sup>92</sup> Es geht dabei weniger um grundlegende und langfristige Entscheidungen, sondern vielmehr um regelmäßige Sorgfaltsanstrengungen von Tierproduzenten. Dazu gehören im Allgemeinen eine ausgewogene Ernährung und ausreichend reines Wasser, medizinische Versorgung, regelmäßig gereinigte und desinfizierte Geräte und adäquate, saubere Behausungen. Zur Prävention hochin-

---

<sup>87</sup>Tierverkehr und Tierhandel werden in Deutschland als der bedeutendste Risikofaktor für die Verbreitung von MKS und KSP eingeschätzt. Vgl. Nissen [2001], S. 41 f.

<sup>88</sup>Vgl. Pinto und Urcelay [2003], S. 144.

<sup>89</sup>Vgl. Azzam [1998], S. 428.

<sup>90</sup>Allerdings wird das im Folgenden beschriebene all-in all-out Produktionsverfahren in integrierten Produktionen nicht so häufig umgesetzt, so dass das Risiko einer Einschleppung infektiöser Krankheiten in integrierten Produktionen sogar höher eingeschätzt wird. Vgl. Oliveira et al. [2007], S. 244.

<sup>91</sup>Vgl. Oliveira et al. [2007], S. 244.

<sup>92</sup>Vgl. Faries und Adams [o. A.] zu Biosicherheitsstandards in der Rinderproduktion. Vgl. Pinto und Urcelay [2003] sowie Casal et al. [2007] zu Biosicherheitsstandards in der Schweineproduktion. Vgl. FAO [o. A.] zu Biosicherheitsstandards in der Geflügelproduktion in Entwicklungsländern.

fektiöser Tierseuchen sind die Hygiene- und Sicherheitsstandards bei Kontakten der Herde mit Besuchern, Fahrzeugen, Futter, Geräten und anderen Tieren von hoher Bedeutung. Konkrete Biosicherheitsmaßnahmen sind zum Beispiel die Desinfektion von Tiertransportern vor Zugang zu einem Betrieb, das Anlegen desinfizierter Kleidung von Besuchern und Personal vor dem Betreten der Produktionsräume und die temporäre Quarantäne neu angelieferter Tiere zur Beobachtung. Falls Krankheitssymptome festgestellt werden, ist eine schnellstmögliche Isolation infektiöser Tiere oder Herden von gesunden Tieren geboten, um eine Übertragung der Krankheit zu vermeiden. Insofern ist auch die regelmäßige Kontrolle des Gesundheitszustands eine wichtige betriebliche Biosicherheitsmaßnahme zum Schutz von Tieren und Tiergruppen innerhalb eines Betriebes. Zudem ist die Sorgfalt bei der Auswahl und beim Kauf neuer Tiere eine bedeutende betriebliche Biosicherheitsmaßnahme zur Prävention der Einschleppung hochinfektiöser Tierseuchen.<sup>93</sup>

Schließlich können *Biosicherheitsinvestitionen* als dritte Klasse betrieblicher Biosicherheitsmaßnahmen abgegrenzt werden. Dazu zählt zum Beispiel die Umzäunung von Tierproduktionsanlagen, durch die ein Kontakt mit Wildtieren verhindert werden kann. Auch bauliche Maßnahmen, die biosichere Produktionsabläufe wie die separate Haltung von Tiergruppen innerhalb eines Betriebes oder die Reduzierung von Kontakten bei Transporten ermöglichen, zählen zu den Biosicherheitsinvestitionen.<sup>94</sup>

Betriebliche Biosicherheitsmaßnahmen sind umso wichtiger, je größer die exogene Gefahr einer Einschleppung von Krankheitserregern ist. Aufgrund der ernstzunehmenden Gefährdung von deutschen Geflügelbeständen durch die hochpathogene Vogelgrippe, die durch Zugvögel und Wildvögel eingeschleppt werden kann,<sup>95</sup> ist zum Beispiel die Stallhaltung von Geflügel in Risikogebieten eine spezielle Maßnahme zur Reduktion dieses Risikos.<sup>96</sup> Noch bedeutender sind betriebliche Biosicherheitsmaßnahmen zur Prävention von HPAI in den Ländern, in denen die Tierseuche endemisch ist. Geflügelproduktion beschränkt sich hier oft nur auf wenige Tiere zur Eigenversorgung. Kleintierhalter werden zum Beispiel dazu angehalten, Tiere auf Grundstücken zu halten, die durch Zäune getrennt sind, um einen direkten Kontakt mit Wildvögeln oder Hunden zu verhindern.<sup>97</sup> Zur Vermeidung einer KSP-Einschleppung ist zum Beispiel die ausreichende Erhitzung von Futter mit potentiell kontaminierten Inhalten eine wichtige Biosicherheitsmaßnahme.<sup>98</sup> In Gebieten, wo KSP endemisch ist, sind erhöhte Sicherheitsstandards bei der Lagerung von Schweinefutter notwendig,

---

<sup>93</sup>Vgl. Buhman et al. [2007].

<sup>94</sup>Vgl. Pinto und Urcelay [2003], S. 142.

<sup>95</sup>Vgl. Friedrich-Loeffler-Institut [2006], S. 3-4. Dieser Übertragungsweg wird zum Beispiel in Deutschland als das Hauptrisiko für die Einschleppung von HPAI eingeschätzt.

<sup>96</sup>In Deutschland besteht deshalb eine Stallpflicht für Geflügel in Risikogebieten. Vgl. Friedrich-Loeffler-Institut [2006], S. 3-4.

<sup>97</sup>Vgl. FAO [o. A.].

<sup>98</sup>Vgl. Paton und Greiser-Wilke [2003], S. 172.

um eine Kontamination des Futters durch infektiöse Wildschweine zu verhindern.<sup>99</sup>

Auch präventive Impfungen stellen eine betriebliche Biosicherheitsmaßnahme dar, zum Beispiel regelmäßige Impfungen von Rindern gegen Enterotoxämie, einer Bakterienerkrankung, die durch Umstellung der Ernährung verursacht werden kann.<sup>100</sup> Über eine Impfstrategie zur Prävention hochinfektiöser Tierseuchen kann jedoch auf Betriebsebene nicht sinnvoll entschieden werden. Der langfristige Erfolg einer Impfpolitik, die Ausrottung endemischer Krankheiten aus einer Region, setzt die Impfung eines Großteils des empfänglichen Bestands in der betrachteten Region voraus. Impfungen werden deshalb bei regionalen Biosicherheitsmaßnahmen im folgenden Absatz berücksichtigt.

### 2.3.1.2 Regionale Biosicherheitsmaßnahmen

Regionale Biosicherheitsmaßnahmen unterscheiden sich stark danach, ob sie der Abwehr endemischer oder exotischer Tierseuchen dienen. Tierseuchen werden in Regionen als exotisch bezeichnet, wenn sie dort nicht natürlich vorkommen. Die Maul- und Klauenseuche ist zum Beispiel in Westeuropa seit Ende der 80er Jahre als exotische Tierseuche zu bezeichnen.<sup>101</sup> Regionale Biosicherheitsmaßnahmen zur *Prävention exotischer Tierseuchen* zielen darauf ab, einen Import des Krankheitserregers in eine Region zu verhindern. Zur Abwehr einer Einschleppung von MKS nach Westeuropa ist zum Beispiel das Verbot oder die Kontrolle von Tier- und Fleischimporten aus Ländern, die nicht frei von MKS sind, eine bedeutsame regionale Biosicherheitsmaßnahme. Obwohl die Mitgliedsländer der Europäischen Union relativ strikte Regeln anwenden, besteht keine absolute Sicherheit, wie unter anderem der Ausbruch von MKS in Großbritannien im Jahr 2001 gezeigt hat.<sup>102</sup> Die Aufklärung von Importeuren über das Risiko illegaler Importe kann angesichts unvollkommener Importkontrollen hilfreich sein. Auch die verbindliche Registrierung von Tieren kann dazu beitragen, illegale Tierimporte zu vermeiden, indem sie eine Verwertung illegal importierter Tiere erschwert. Schließlich muss auch die Biosicherheit von Forschungseinrichtungen, die mit MKS-Viren arbeiten, gewährleistet werden.<sup>103</sup>

Importverbote sind aber aus wirtschaftlichen, politischen oder handelsrechtlichen Gründen nicht immer sinnvoll oder durchführbar. Es besteht zum Beispiel ein intensiver Schweinehandel der Niederlande mit ihren Nachbarländern, obwohl KSP in den Wildschweinbeständen in Teilen Deutschlands und Frankreichs endemisch ist. Als regionale Biosicherheitsmaßnahme zur Vermeidung einer Einschleppung des KSP-Virus in die Niederlande kommt unter diesen Umständen die Regulierung von Tiertransporten in Betracht. Konkrete Auflagen wären zum Beispiel die Reinigung und Desinfektion aller Tiertransportfahrzeuge, die in niederländisches Staatsgebiet

---

<sup>99</sup>Vgl. Moennig [2000], S. 96.

<sup>100</sup>Vgl. Dunn [2007].

<sup>101</sup>Vgl. Leforban [1999], S. 1755.

<sup>102</sup>Vgl. Kitching [2005], S. 143.

<sup>103</sup>Vgl. Leforban [1999], S. 1758.

einfahren, oder die Durchführung serologischer Tests bei importierten Tieren.<sup>104</sup>

Die hochpathogene Vogelgrippe ist in den meisten Industrieländern eine exotische Tierseuche. Die Möglichkeit einer Verbreitung durch Zugvögel bedeutet jedoch, dass für viele Länder ein signifikantes Einschleppungsrisiko besteht. Angesichts der von infektiösen Zugvögeln ausgehenden Gefahr müssen erkrankte oder verendete Vögel möglichst schnell entdeckt und beseitigt werden, um einen Übergriff der Seuche auf andere Wildtiere, auf Nutztiere oder auf Menschen zu verhindern. Eine wichtige regionale Biosicherheitsmaßnahme ist deshalb die Sensibilisierung der Öffentlichkeit für die Gefahrenlage und die notwendigen Maßnahmen<sup>105</sup>, da eine umfangreiche Überwachung des Wildvogelbestandes durch Veterinärbehörden nicht möglich ist.

Auch durch prophylaktische Impfungen kann das Risiko einer Infektion mit exotischen Tierseuchen reduziert werden. Meist sprechen jedoch Kosten-Nutzen-Erwägungen dagegen, denn die Wahrscheinlichkeit einer Infektion und damit auch der erwartete Nutzen einer prophylaktischen Impfung sind bei exotischen Tierseuchen relativ gering, die Impfkosten können dagegen sehr hoch sein<sup>106</sup>. Hinzu kommen möglicherweise noch Kosten aufgrund von Exportrestriktionen. Da von der hochpathogenen Vogelgrippe ein Pandemierisiko ausgeht, wird für besonders gefährdete Personen wie für Angestellte von Geflügelproduktionsbetrieben eine Impfung gegen Humaninfluenza empfohlen. Dadurch kann das Risiko gesenkt werden, dass sich durch ein Reassortment unterschiedlicher Virenstämme im Falle einer Doppelinfektion mit humaner und aviärer Influenza ein hochpathogener Virustyp entwickelt.<sup>107</sup>

Es ist offensichtlich, dass die dauerhafte Präsenz eines Krankheitserregers eine vollkommen neue Risikosituation darstellt. Die regionalen Biosicherheitsmaßnahmen zur *Prävention eines Übergriffs endemischer Krankheiten auf den Nutztierbestand* setzen an dem Wildtierbestand an, der ein natürliches Reservoir für den Krankheitserreger darstellt. Äußerst wichtig sind zunächst Programme zur Überwachung der Seuchen in den Wildtierbeständen, wie zum Beispiel die Überwachung von KSP in einigen westeuropäischen Ländern,<sup>108</sup> da das Risiko einer Übertragung der Seuche auf den Nutztierbestand entscheidend von der aktuellen Seuchenausbreitung im Wildtierbestand abhängig ist.<sup>109</sup> Bei der Überwachung von Wildvögeln zur Prävention von H5N1-Ausbrüchen kann die Ausweitung von Kontrollen auf andere Tiere wie Füchse oder Waschbären sinnvoll sein, die Überträger von Viren sein können.<sup>110</sup> Eine serologische Überwachung endemischer Tierseuchen ist auch vor dem Hintergrund einer durch Notimpfungen unterstützten Seuchenbekämpfung notwendig, wenn die Impfstoffe auf den spezifischen Krankheitserreger abgestimmt sein müssen oder eine

---

<sup>104</sup>Vos [2005], S. 236 und 240.

<sup>105</sup>Vgl. Friedrich-Loeffler-Institut [2006], S. 6.

<sup>106</sup>Vgl. Davies [2002], S. 197 und die Ausführungen in Abschnitt 2.1.1 zum Impfverbot gegen MKS in der Europäischen Union.

<sup>107</sup>Vgl. Skeik und Jabr [2008], S. 235.

<sup>108</sup>Vgl. Moenning [2000], S. 96.

<sup>109</sup>Vgl. Buxton [2006].

<sup>110</sup>Vgl. Friedrich-Loeffler-Institut [2006], S. 6.

Unterscheidung zwischen infizierten und geimpften Tieren möglich sein soll.<sup>111</sup> Aufgrund des Risikos einer durch H5N1 verursachten Pandemie ist die Überwachung der Influenza A-Virentypen H5 und H7 in Menschen wie Tieren weltweit von herausragender Bedeutung,<sup>112</sup> also auch in Ländern, in denen HPAI eine exotische Krankheit ist.

Das bestmögliche Ergebnis regionaler Biosicherheitsmaßnahmen zur Prävention endemischer Krankheiten bei Nutztieren ist die Tilgung der Seuche aus dem Wildtierbestand. Aus einer endemischen würde dann eine exotische Krankheit werden. Die Veterinärsgeschichte weist eine Reihe von Erfolgen in der Ausrottung von Tierseuchen auf,<sup>113</sup> nicht zuletzt die Tilgung von MKS aus Europa, die auf jahrzehntelange Seuchenbekämpfungs- und Biosicherheitsanstrengungen zurückzuführen sind. Zur Tilgung endemischer Tierkrankheiten spielen prophylaktische Impfungen von Wildtierbeständen eine immer größere Rolle.<sup>114</sup> In Deutschland wird zum Beispiel seit 1993 versucht, die klassische Schweinepest durch die prophylaktische Impfung von Wildschweinen einzugrenzen.<sup>115</sup> In China und Indonesien versuchen die Veterinärbehörden, HPAI durch prophylaktische Impfungen unter Kontrolle zu bringen.<sup>116</sup>

Eine weitere Maßnahme zur Verringerung der Wahrscheinlichkeit einer Erstinfektion von Nutztieren in einer Region ist die Verkleinerung der Wildtierpopulation. Dadurch kann die Kontaktrate zwischen Wild- und Nutztieren verringert werden. Eine Reduktion des Wildschweinbestands in den Teilen Europas, wo KSP endemisch ist, würde das Risiko einer KSP Erstinfektion zweifellos verringern.<sup>117</sup> Allerdings könnte das gezielte Jagen von Wildschweinen auch zu einer Erhöhung des Infektionsrisikos für Nutztiere führen, wenn dadurch eine Migration von Beständen und eine Verbreitung des KSP-Virus ausgelöst wird.<sup>118</sup> Auch in Großbritannien und Irland, wo wildlebende Dachse für Erkrankungen von Rindern an Rindertuberkulose verantwortlich gemacht werden,<sup>119</sup> steht eine Verkleinerung der Dachspopulation zur Debatte<sup>120</sup>. Die Verkleinerung von Wildtierpopulationen zur Abwehr endemischer Tierseuchen ist aber nicht immer durchführbar oder erfolgversprechend, weil die Krankheit in zu großen Regionen verbreitet sein kann oder, wie im Fall der Dachse, tierschutzrechtliche Aspekte dagegen sprechen.<sup>121</sup>

### 2.3.2 Seuchenbekämpfung

Ziel der Seuchenbekämpfung ist es, einen Seuchenausbruch im Nutztierbestand mög-

---

<sup>111</sup>Vgl. Berg et al. [2008], S. 131 f.

<sup>112</sup>Vgl. Cox et al. [2003], S. 1802.

<sup>113</sup>Vgl. Cross et al. [2007], S. 474 f. und Pinto und Urcelay [2003], S. 139.

<sup>114</sup>Vgl. Cross et al. [2007], S. 472.

<sup>115</sup>Vgl. Koenig et al. [2007], S. 3391.

<sup>116</sup>Vgl. Yee et al. [2009], S. 334.

<sup>117</sup>Vgl. Moennig [2000], S. 96.

<sup>118</sup>Vgl. Paton und Greiser-Wilke [2003], S. 170 f.

<sup>119</sup>Vgl. Reilly und Courtenay [2007], S. 130.

<sup>120</sup>Vgl. Kennett und Willis [2007].

<sup>121</sup>Vgl. Cross et al. [2007], S. 474.

lichst schnell zu beenden. Aus dem SIR-Modell ist bekannt, dass dazu eine umgehende Reduktion der Infektionsrate oder Erhöhung der Genesungsrate notwendig ist. Die Senkung der Wahrscheinlichkeit einer Erstinfektion in einem Betrieb, also das Ziel der betrieblichen Biosicherheitsmaßnahmen, ist demnach auch Ziel der Seuchenbekämpfungsmaßnahmen, mit denen eine Reduktion der Infektionsrate erreicht werden soll. Insofern unterscheiden sich die Seuchenbekämpfungsmaßnahmen in Betrieben, die im Fall eines Seuchenausbruchs (noch) nicht infiziert sind, nicht unbedingt grundsätzlich von präventiven betrieblichen Biosicherheitsmaßnahmen. Es handelt sich in beiden Fällen um betriebliche Biosicherheitsmaßnahmen, die die Anzahl an Kontakten bzw. die Wahrscheinlichkeit, dass es bei Kontakten zu einer Krankheitsübertragung kommt, verringern sollen.

Wir betrachten zunächst kurz die Notfallvorbereitung (Abschnitt 2.3.2.1) und im darauf folgenden Abschnitt 2.3.2.2 die frühzeitige Meldung von Seuchenverdachtsfällen. Diese Maßnahmen zielen darauf ab, dass die Seuchenbekämpfung möglichst schnell nach Seuchenausbruch eingeleitet wird und reibungslos abläuft. Die Seuchenbekämpfungsmaßnahmen werden in Abschnitt 2.3.2.3 vorgestellt.

### **2.3.2.1 Vorbereitung und Planung**

Die Bekämpfung des Ausbruchs einer hochinfektiösen Tierseuche stellt hohe logistische Anforderungen an alle Beteiligten wie Ministerien, Behörden, Tierärzte, Labore, Tierproduzenten, Tierhändler und Schlachthöfe, Polizei und Armee. Deshalb ist es ratsam, zumindest die Bekämpfung der Seuchen, die eine große wirtschaftliche oder gesundheitliche Bedrohung für eine Bevölkerung darstellen, im Vorfeld vorzubereiten und zu planen. Notfallvorbereitung und Notfallplanung enthalten alle Maßnahmen, die vor Seuchenausbruch durchgeführt werden und zum Ziel haben, eine erfolgreiche Seuchenbekämpfung im Fall eines Seuchenausbruchs zu ermöglichen.

Die Vorbereitung und Planung von Notfällen basiert auf der gedanklichen Antizipation eines Seuchenausbruchs. Die erfolgreiche Bekämpfung einer Seuche setzt voraus, dass die Verantwortlichkeiten und Kompetenzen im Katastrophenfall klar festgelegt sind, und dass die Kommunikationswege zwischen allen an der Seuchenbekämpfung potentiell Beteiligten etabliert und bekannt sind. Zudem müssen im Notfall ausreichend personelle, finanzielle und technische Ressourcen zur Durchführung der Seuchenbekämpfungsmaßnahmen zur Verfügung stehen. Die Planung der Seuchenbekämpfung gibt vor, welche Maßnahmen unter welchen Umständen konkret durchgeführt werden. Dazu gehören vorübergehende Quarantänemaßnahmen im Seuchenverdachtsfall, die Diagnoseverfahren zur Bestätigung bzw. Verwerfung eines Seuchenverdachts und die Festlegung der Maßnahmen zur Seuchenbekämpfung, falls der Verdacht bestätigt wird.<sup>122</sup>

Aufgrund der epizootiologischen Besonderheiten verschiedener Tierseuchen ist es offensichtlich, dass optimale Seuchenbekämpfung auf spezifische Krankheiten oder

---

<sup>122</sup>Vgl. FAO [1991], Kap. 7.

sogar auf spezifische Krankheitserreger zugeschnitten sein muss. Dies zeigt eine Untersuchung der MKS-Epizootie 2001 in Großbritannien. Dabei wurde eine Vielzahl von Tieren geschlachtet, die höchstwahrscheinlich kein Seuchenverbreitungsrisiko darstellten. Ursache dieses Fehlers war, dass die epizootiologischen Modelle zur Steuerung der Seuchenbekämpfung die spezifischen Eigenschaften des Virenstammes nicht berücksichtigt haben, der die Epizootie verursacht hat.<sup>123</sup> Allgemein unterscheiden sich Tierseuchen im Hinblick auf die Bedeutung von Übertragungs- und Verbreitungswegen sowie auf Möglichkeiten und Folgen beim Einsatz von Impfungen. Die Planung der optimalen Seuchenbekämpfung basiert auf diesen aus der veterinärmedizinischen Forschung gewonnenen Erkenntnissen. Insofern ist auch die veterinärmedizinische Forschung als Bestandteil der Vorbereitung und Planung der Seuchenbekämpfung im weiteren Sinne aufzufassen.

Der Nutzen aus der Vorbereitung und Planung der Bekämpfung des Ausbruchs einer bestimmten Tierseuche ist umso größer, je höher die Wahrscheinlichkeit für einen Ausbruch ist und je besser die negativen Konsequenzen des Seuchenausbruchs durch eine erfolgreiche Seuchenbekämpfung abgemildert werden können. Aus dieser Überlegung heraus hat zum Beispiel die Europäische Union zusammen mit dem ab 1. Januar 1992 geltenden Impfverbot gegen MKS beschlossen, dass ihre Mitgliedstaaten einen Notfallplan für den Fall eines Ausbruchs der Maul- und Klauenseuche entwickeln müssen.<sup>124</sup> Die ab Geltung des Impfverbots vollständig für MKS-Viren empfänglichen Tierpopulationen stellen ein immenses Risiko dar, so dass die Vorbereitung und Planung der Bekämpfung eines MKS-Ausbruchs notwendig wurde. Die schnelle Eindämmung von HPAI-Ausbrüchen in Europa, beispielsweise in Frankreich und Dänemark im Jahr 2007 oder in Großbritannien 2007, sind nicht zuletzt auf das Bestehen von H5N1-Notfallplänen zurückzuführen.<sup>125</sup>

Durch prophylaktische Impfungen kann die Anzahl an für einen Krankheitserreger empfänglichen Tieren in einer Region gesenkt werden. Dies verlangsamt die Geschwindigkeit der Ausbreitung einer Tierseuche und erleichtert deren erfolgreiche Bekämpfung. Prophylaktische Impfungen können deshalb nicht nur als Biosicherheitsmaßnahme, sondern auch als Maßnahme zur Notfallvorbereitung aufgefasst werden. Die Anzahl an empfänglichen Tieren kann jedoch auch durch eine Erhöhung der Jagdtätigkeit oder durch Keulungen reduziert werden. Es ist zum Beispiel abzusehen, dass die relativ großen Wildschweinbestände in Teilen der Europäischen Union ein Hindernis bei der Bekämpfung zukünftiger KSP-Epizootien sein werden.<sup>126</sup> Deren gezielte Entvölkerung kann demnach auch als Vorbereitungsmaßnahme für den Fall eines Ausbruchs der klassischen Schweinepest verstanden werden.

---

<sup>123</sup>Vgl. Kitching [2005], S. 134.

<sup>124</sup>Vgl. Leforban [1999], S. 1756.

<sup>125</sup>Vgl. Berg et al. [2008], S. 141f.

<sup>126</sup>Vgl. Moennig [2000], S. 96.

### 2.3.2.2 Frühzeitige Meldung

Die Entdeckung eines Seuchenausbruchs ist der logische Ausgangspunkt für den Beginn der Seuchenbekämpfung. Wir bezeichnen die zuerst entdeckte Infektion in einem zuvor seuchenfreien Nutztierbestand eines Gebiets bzw. einer Region als *Primärinfektion*. Im Regelfall sind der Tierproduzent bzw. Angestellte des primärinfizierten Tierproduktionsbetriebs die Personen, die klinische Symptome als erstes feststellen und die Seuchenbekämpfung durch eine Meldung an die Veterinärbehörden initiieren können.<sup>127</sup> Das Ausmaß sowie die wirtschaftlichen und möglicherweise gesundheitlichen Folgen eines Seuchenausbruchs hängen ganz entscheidend davon ab, wann die zuständige Veterinärbehörde vom Verdacht eines Tierseuchenausbruchs erfährt.<sup>128</sup> Die Ursache dafür liegt in der exponentiellen Seuchenausbreitung zu Beginn einer Epizootie.

Die Bedeutung des Faktors Zeit bei der Seuchenbekämpfung soll anhand eines fiktiven Beispiels verdeutlicht werden. Dabei werden, wie bei der Modellierung der Ausbreitung hochinfektiöser Tierseuchen in Nutztierbeständen üblich, Herden bzw. Betriebe und nicht Einzeltiere als Modelleinheiten verwendet.<sup>129</sup> Unter den stark vereinfachenden Annahmen einer über zwei Wochen konstanten Reproduktionsrate in Höhe von  $R = 10$  und einer diskreten Infektions- und Genesungsdynamik, die sich in einwöchigen Zeitintervallen vollzieht, beträgt die Anzahl infizierter / infektiöser Herden eine Woche nach Seucheneinschleppung bzw. nach Auftreten des *Indexfalls*  $I(t_1) = 10$ .<sup>130</sup> Wenn der Seuchenausbruch in  $t_1$  entdeckt und bestätigt wird, so muss die Seuche in 10 Betrieben durch Seuchenbekämpfungsmaßnahmen kontrolliert werden. Verzögert sich die Entdeckung des Seuchenausbruchs um eine Woche, dann sind in  $t_2$  Seuchenbekämpfungsmaßnahmen notwendig, die eine Ausbreitung des Erregers von  $I(t_2) = 100$  infektiösen Betrieben verhindern.

Dieses Beispiel unterstreicht die Bedeutung einer schnellen Entdeckung und Meldung des Ausbruchs einer hochinfektiösen Tierseuche. Die Meldung von Verdachtsfällen durch Tierproduzenten in einer *möglichst frühen Phase* des Krankheitsausbruchs ist deshalb eine der wichtigsten Maßnahmen des Tierseuchen-Risikomanagements,<sup>131</sup> denn eine über Wochen oder gar Monate unentdeckte Tierseuche kann zu einer massiven Seuchenausbreitung führen. Diese Maßnahme wird hier als frühzeitige Meldung bezeichnet. Die katastrophalen Auswirkungen des MKS-Ausbruchs in Großbritannien im Jahr 2001 sind unter anderem auf ein Versagen bei der frühzei-

<sup>127</sup>Vgl. Engel et al. [2005], S. 196.

<sup>128</sup>Vgl. Christensen et al. [2008], S. 171.

<sup>129</sup>Vgl. Berentsen et al. [1992], S. 232.

<sup>130</sup>Wir bezeichnen den ersten infizierten Betrieb im zuvor seuchenfreien Nutztierbestand eines Gebiets bzw. einer Region als Indexfall. Der Indexfall ist damit der Ausgangspunkt der Seuchenausbreitung, während die Primärinfektion Ausgangspunkt der Seuchenbekämpfung ist. Die Primärinfektion kann deutlich nach einem nicht entdeckten oder nicht gemeldeten Indexfall offiziell festgestellt werden. Vgl. DEFRA [2002], S. 2 f.

<sup>131</sup>Vgl. Gramig et al. [2006], S. 44 f. und FAO [1991], Kap. 9.

tigen Meldung des Seuchenausbruchs zurückzuführen. Die Basis-Reproduktionsrate dieses Seuchenzuges wird auf  $R_0 = 23$  geschätzt.<sup>132</sup> In  $t = 0$  wurden also durch jede infizierte Herde etwa 23 empfängliche Herden infiziert. Die Reproduktionsrate sinkt zwar bei einem unkontrollierten Verlauf eines Seuchenausbruchs stark ab, da eine zunehmende Anzahl an Kontakten zwischen bereits infizierten Betrieben stattfindet. Als der MKS-Ausbruch 2001 in Großbritannien einen Monat nach dem Auftreten erster Infektionen offiziell bestätigt wurde, waren 57 Betriebe infiziert. Zudem wurden fast 50.000 Tiere in diesem kritischen Zeitraum in andere Länder der EU exportiert.<sup>133</sup>

Die frühzeitige Meldung setzt einerseits voraus, dass Tierproduzenten ausreichende Kenntnisse haben, um Krankheitssymptome in einer frühen Phase des Krankheitsausbruchs zu erkennen, und den Gesundheitszustand ihrer Herden regelmäßig, aufmerksam und sorgfältig beobachten. Es ist deshalb sinnvoll, das Bewusstsein von Tierproduzenten für die Bedeutung der Früherkennung von Seuchenausbrüchen zu schärfen und ihnen Informationen zur klinischen Diagnose hochinfektöser Tierseuchen zu vermitteln.<sup>134</sup> Andererseits beinhaltet die frühzeitige Meldung, dass Tierproduzenten Verdachtsfälle sofort nach der Entdeckung von Krankheitssymptomen bei der Veterinärbehörde melden.

### 2.3.2.3 Seuchenbekämpfungsmaßnahmen

Wenn der Ausbruch einer hochinfektösen Tierseuche entdeckt, gemeldet und durch geeignete Diagnoseverfahren klinisch und serologisch bestätigt ist, werden Maßnahmen zur Bekämpfung der Tierseuche eingeleitet, die auf eine Absenkung der Infektionsrate bzw. auf eine Erhöhung der Genesungsrate abzielen. Zeit ist ein sehr bedeutsamer Faktor bei der Seuchenbekämpfung, sowohl was die Entdeckung und Bestätigung eines Ausbruchs betrifft, als auch im Hinblick auf die Durchführung der Seuchenbekämpfung. Das Ausmaß eines Seuchenausbruchs hängt aber auch entscheidend davon ab, *welche* Maßnahmen zur Bekämpfung eines Seuchenausbruchs durchgeführt werden.<sup>135</sup> Optimale Seuchenbekämpfung reduziert sich niemals auf eine der im Folgenden vorgestellten Seuchenbekämpfungsmaßnahmen, sondern enthält immer eine Kombination mehrerer Maßnahmen, die sich gegenseitig ergänzen.<sup>136</sup>

Eine sofortige Erhöhung der Genesungsrate kann durch die *Notschlachtung* infizierter Herden erreicht werden. Diese Sofortmaßnahme wird nach dem Ausbruch hochinfektöser Tierseuchen, die erhebliche wirtschaftliche oder gesundheitliche Schäden hervorrufen, weltweit durchgeführt.<sup>137</sup> In Europa gilt dies unter anderem für

<sup>132</sup>Green und Medley [2002], S. 202.

<sup>133</sup>Vgl. Court of Auditors [2005], S. 16.

<sup>134</sup>Vgl. McLaws et al. [2007], S. 20.

<sup>135</sup>Vgl. Christensen et al. [2008], S. 171.

<sup>136</sup>Vgl. Yee et al. [2009], S. 334.

<sup>137</sup>Vgl. Niemi et al. [2004], S. 186.

alle auf der ehemaligen Liste A notierten Tierseuchen.<sup>138</sup> Sollen im Rahmen der Seuchenbekämpfung ausschließlich infizierte Herden geschlachtet werden, ergibt sich ein Zielkonflikt: Einerseits sollen Schlachtungen möglichst schnell vollzogen werden, um eine Seuchenausbreitung zu verhindern. Andererseits ist die Bestätigung einer Infektion durch serologische Verfahren zeitaufwendig. Schlachtungen auf Basis klinischer Symptome implizieren aber das Risiko unnötiger Schlachtungen, da Symptome falsch interpretiert werden können.<sup>139</sup> Zudem werden infizierte und möglicherweise schon infektiöse Herden vernachlässigt, die sich noch in der Inkubationszeit befinden.

Deshalb werden oftmals zusätzlich *Präventivschlachtungen* von Herden durchgeführt, die vor Seuchenausbruch in direktem oder indirektem Kontakt mit infizierten Herden standen bzw. sich in der näheren Umgebung infizierter Herden aufhalten. Dadurch erreicht man, sofern infizierte Herden beseitigt werden, eine Erhöhung der Genesungsrate. Zudem sinkt die Infektionsrate, denn die Anzahl empfänglicher Herden wird durch Präventivschlachtungen reduziert.<sup>140</sup> Bei einem Ausbruch hochinfektiöser Tierseuchen sind Präventivschlachtungen in einer Keulungszone insbesondere dann notwendig, wenn die Bedingungen für eine Übertragung von Krankheitserregern durch die Luft günstig sind bzw. Kontakte nicht vollständig unterbunden werden können.<sup>141</sup> Da für Not- und Präventivschlachtungen von Herden in hohem Maße Kapazitäten der Seuchenbekämpfung gebunden werden, hängt der Erfolg dieser Maßnahmen entscheidend von der frühzeitigen Entdeckung eines Seuchenausbruchs ab.<sup>142</sup>

Nach der Durchführung von Schlachtungen erfolgt eine *Reinigung und Desinfektion* infizierter Betriebe. Dazu gehört die fachgerechte Beseitigung der geschlachteten Tiere, so dass von ihren Kadavern keine weitere Infektionsgefahr mehr ausgeht.<sup>143</sup> Sie werden in der Regel verbrannt oder begraben und gelangen nicht in die Wertschöpfungskette für Tierprodukte<sup>144</sup>. Zudem kann die Entsorgung weiterer kontaminierter Materialien notwendig sein, zum Beispiel Futtermittel, Streu, Dung oder Milch. Alle Ställe, Fahrzeuge, Bekleidung und Geräte, die in der Tierproduktion der Betriebe eingesetzt werden, müssen gereinigt und desinfiziert werden.

Die Unsicherheit hinsichtlich des Gesundheitsstatus von Herden während des Ausbruchs einer hochinfektiösen Tierseuche macht verschiedene *Restriktionen* erforderlich, die auf eine Begrenzung der Infektionsrate abzielen. Eine entscheidende Rolle spielen Bewegungsrestriktionen für Tiere und mögliche Vektoren von Krankheitserregern, zum Beispiel für Fleisch, Futter und insbesondere für Tiertransporter. Teilweise werden auch für den Personenverkehr Sperrzonen errichtet. Bewegungsrestriktionen werden normalerweise regional begrenzt in Risikogebieten um

---

<sup>138</sup>Vgl. Meuwissen et al. [2003].

<sup>139</sup>Vgl. Hutber et al. [2006], S. 32.

<sup>140</sup>Vgl. Mannelli et al. [2007], S. 321.

<sup>141</sup>Vgl. National Audit Office [2002], S. 57.

<sup>142</sup>Vgl. Engel et al. [2005], S. 196.

<sup>143</sup>Vgl. Yee et al. [2009], S. 334.

<sup>144</sup>Vgl. Meuwissen et al. [1999], S. 250.

den Ort des Seuchenausbruchs herum verhängt, wobei die epizootiologischen Eigenschaften der Seuche, geographische Aspekte wie zum Beispiel natürliche Barrieren und produktionswirtschaftliche Aspekte wie die Viehdichte beachtet werden.<sup>145</sup> Es kann aber auch eine großflächige Kompartimentierung des Tiertransportwesens angeordnet werden.<sup>146</sup> Durch Bewegungsrestriktionen kann die Kontaktrate deutlich verringert werden, was angesichts der Bedeutung direkter und indirekter Kontakte bei der Seuchenverbreitung entscheidend zur Eindämmung bzw. Begrenzung eines Seuchenzuges ist. Falls Samenbanken kontaminiert sind, besteht die Gefahr einer Verbreitung von Seuchen über weite Strecken durch die Auslieferung von kontaminiertem Samen.<sup>147</sup> Aus diesem Grund können Zuchtrestriktionen erlassen werden. Zudem kann durch eine Abkürzung von Produktionszyklen, Zuchtverbote und einen temporären Verzicht auf Neubelegungen die Anzahl empfänglicher Tiere in gefährdeten Gebieten reduziert werden<sup>148</sup> und damit einer weiteren Verbreitung der Seuche vorgebeugt werden.

Die besondere Gefährdungslage während eines Seuchenausbruchs erfordert eine Vielzahl weiterer Maßnahmen zur Seuchenbekämpfung. Dazu gehören zum Beispiel die verstärkte Überwachung der Tiergesundheit durch tierärztliche Inspektionen<sup>149</sup>, erhöhte betriebliche Biosicherheitsstandards wie Hygienemaßnahmen<sup>150</sup> und die strikte Abschottung von Betrieben gegen Besucher. Letztlich ist für Betriebe mit gesunden Herden in gefährdeten Gebieten eine Intensivierung sämtlicher Maßnahmen angebracht, die in Abschnitt 2.3.1.1 als betriebliche Biosicherheitsmaßnahmen vorgestellt wurden. Bewegungsrestriktionen werden in den Hochrisikogebieten um den Ort bzw. um die Orte der Seuchenausbrüche durchgesetzt und werden teilweise nach Entfernung zum Ausbruchsort abgestuft.<sup>151</sup> Maßnahmen und Auflagen in Restriktionszonen werden erst dann aufgehoben, wenn eine erfolgreiche Seuchenbekämpfung in dem betreffenden Gebiet bestätigt worden ist.<sup>152</sup>

Nicht nur die nähere Umgebung ist nach Bestätigung des Ausbruchs einer hochinfektiösen Tierseuche als Hochrisikogebiet einzuschätzen, sondern auch die Betriebe, die in jüngster Zeit durch Handel in direktem oder indirektem Kontakt mit dem verseuchten Betrieb standen. Die Ermittlung dieser Kontaktherden, die dann präventiv geschlachtet werden oder unter Beobachtung und Restriktionen gestellt werden, wird als *Tracing* bezeichnet.<sup>153</sup> Tracing dient der Ermittlung sekundärinfizierter Herden. Nach Infektionswegen wird zwischen Forward und Backward Tracing unterschieden. Per Forward Tracing wird überprüft, welche Herden möglicherweise durch die durch-

---

<sup>145</sup>Vgl. Edwards et al. [2000], S. 111 f.

<sup>146</sup>Vgl. Stegeman et al. [2000], S. 193.

<sup>147</sup>Vgl. Stegeman et al. [2000], S. 188 f.

<sup>148</sup>Vgl. Mannelli et al. [2007], S. 321.

<sup>149</sup>Vgl. Stegeman et al. [2000], S. 186.

<sup>150</sup>Vgl. Karsten und Krieter [2005], S. 183.

<sup>151</sup>Vgl. Edwards et al. [2000], S. 111 f.

<sup>152</sup>Vgl. Karsten et al. [2005], S. 192.

<sup>153</sup>Vgl. Karsten und Krieter [2005], S. 183.

seuchte Herde angesteckt wurden. Per Backward Tracing wird ermittelt, woher die Infektion kam.<sup>154</sup> Teilweise gelingt es dabei, den Indexfall eines Seuchenausbruchs zu identifizieren.

Eine Seuchenbekämpfungsstrategie, die aus den bisher beschriebenen Maßnahmen besteht, insbesondere aus Not- und Präventivschlachtungen sowie Bewegungsrestriktionen, wird als *Stamping-Out Strategie* bezeichnet.<sup>155</sup> Auf Impfungen wird dabei vollständig verzichtet. Der Erfolg einer Nichtimpf-Politik hängt entscheidend davon ab, ob der Seuchenausbruch schnell entdeckt und bekämpft werden kann. Verzögerungen, die der epizootiologischen Dynamik einen anfangs ungebremsten Verlauf gewähren, führen bei hochinfektiösen Tierseuchen schnell zu einem Ausmaß der Seuchenausbreitung, die auf Basis der aufwendigen Stamping-Out Strategie nicht mehr beherrscht werden kann. Diese Gefahr besteht nicht nur, aber insbesondere in Schwellen- und Entwicklungsländern, deren veterinärmedizinische Infrastruktur und Notfallkapazität die Seuchenbekämpfungsmaßnahmen logistisch nicht bewältigen können. Darüber hinaus gibt es in diesen Ländern eine Vielzahl nicht registrierter Tierproduzenten, deren Transport- und Handelsaktivitäten kaum kontrolliert werden können<sup>156</sup>. Doch auch in Industrieländern kann es bei Anwendung einer Stamping-Out Strategie zu katastrophalen Epizootien kommen, wie die Erfahrungen mit KSP 1997/98 in den Niederlanden und mit MKS 2001 in Großbritannien zeigen. Besonders in Regionen mit extrem hoher Tierdichte kann die auf einer Stamping-Out Strategie basierende Seuchenbekämpfung selbst gut vorbereitete Veterinärbehörden überfordern.<sup>157</sup> Schließlich erfordert eine Stamping-Out Politik die Keulung und Entsorgung zahlreicher gesunder Tiere, was auch unter ethischen Gesichtspunkten stark kritisiert wird.

Aus diesen Gründen werden die bislang beschriebenen Maßnahmen zur Bekämpfung hochinfektiöser Tierseuchen teilweise durch *Notimpfungen* ergänzt.<sup>158</sup> Dabei werden Präventivschlachtungen gefährdeter Bestände vollkommen oder teilweise durch Notimpfungen ersetzt, indem eine Impfzone um eine Keulungs- bzw. Restriktionszone herum errichtet wird.<sup>159</sup> Dadurch verringert sich die Größe der für den Krankheitserreger empfänglichen Population, was zu einer Absenkung der Infektionsrate führt und zu einer Eindämmung des Seuchenausbruchs beiträgt.<sup>160</sup> Zudem kann die Infektiosität bereits infizierter Herden durch Notimpfungen verringert werden.<sup>161</sup> Notimpfungen binden zu Beginn der Seuchenbekämpfung weniger Kapazitäten als präventive Schlachtungen. Bei mangelnder veterinärmedizinischer

---

<sup>154</sup>Vgl. Karsten et al. [2005], S. 192.

<sup>155</sup>Vgl. Barnett et al. [2002], S. 346.

<sup>156</sup>Vgl. Yee et al. [2009], S. 334.

<sup>157</sup>Vgl. Edwards et al. [2000], S. 113.

<sup>158</sup>Vgl. Edwards et al. [2000], Berg et al. [2008] S. 141 f. und Barnett et al. [2002], S. 347.

<sup>159</sup>Vgl. Berg et al. [2008], S. 145 f. und Barnett et al. [2002], S. 347.

<sup>160</sup>Vgl. Capua und Marangon [2007], S. 5649.

<sup>161</sup>Vgl. Karsten und Krieter [2005], S. 183.

Infrastruktur, hoher Tierdichte oder später Seuchenerkennung kann durch Notimpfungen deshalb möglicherweise eine katastrophale Seuchenausbreitung verhindert werden, wenn Stamping-Out Strategien scheitern würden.<sup>162</sup> Voraussetzungen sind allerdings, dass geeignete Impfstoffe und Kapazitäten zur Durchführung der Notimpfungen in ausreichender Menge vorhanden sind. Zudem ist zu berücksichtigen, dass die Immunität erst einige Tage oder sogar mehrere Wochen nach Verabreichung des Impfstoffes einsetzt.<sup>163</sup> Wenn eine Unterscheidung zwischen geimpften und infizierten Tieren nicht möglich ist, kann deren spätere Vernichtung notwendig sein. Eine Verwendung moderner Markerimpfstoffe kann dem vorbeugen, die jedoch im Vergleich zu traditionellen Impfstoffen häufig weniger effektiv sind und eine höhere Zeitdauer zwischen Impfung und Immunität beanspruchen.<sup>164</sup>

### 2.3.3 Intensität der Tierproduktion

Unter das Merkmal Intensität der Tierproduktion subsumiert man Maßzahlen wie die Tierdichte, die Herdendichte und die Betriebsdichte, die die Anzahl an Tieren, Herden oder Tierproduktionsbetrieben pro Flächeneinheit beschreiben.<sup>165</sup> Die Intensität der Tierproduktion ist ein bedeutender Risikofaktor. Dies wird deutlich, wenn man das Risiko einer Übertragung von Tierseuchen über die Luft betrachtet. DONALDSON et al. [2001] haben das Risiko einer aerosolen Übertragung des MKS-Virus unter günstigen Bedingungen<sup>166</sup> simuliert. Werte für die Menge an ausgeschiedenen Viren infektiöser Herden sowie die notwendige Menge an aufgenommenen Viren, um eine Infektion zu verursachen, wurden aus vorhandenen Untersuchungen übernommen oder neu ermittelt. Tabelle 2.3 zeigt, bei welcher Entfernung von der Quellherde sich ein einzelnes Rind, Schaf oder Schwein in Windrichtung innerhalb von 24 Stunden mit Sicherheit infiziert.

Es zeigt sich, dass das Risiko einer Übertragung von MKS über die Luft bei einer Infektion von Rindern durch Schweine besonders hoch ist. Die Ursache liegt darin, dass Rinder eine relativ geringe minimale Infektionsdosis des in der Simulation unterstellten Virenstamms haben und zudem relativ viel Atemluft inhalieren. Infektiöse Schweine scheiden zudem eine relativ große Menge an Viren über die Atemluft aus. Da die minimale Infektionsdosis bei Schweinen relativ hoch ist, ist deren Infektionsrisiko entsprechend gering. Es muss aber betont werden, dass bei den angegebenen Entfernungen die Infektion eines Empfängertieres mit Sicherheit stattfindet. Betrachtet man dagegen größere Empfängerherden und Infektionswahr-

<sup>162</sup>Vgl. Moennig [2000], S. 99 und Yee et al. [2009], S. 334.

<sup>163</sup>Vgl. Capua und Marangon [2007], S. 5649 und Davies [2002], S. 197.

<sup>164</sup>Vgl. Karsten und Krieter [2005], S. 184 und Grubman [2005], S. 228 f.

<sup>165</sup>Je nachdem, welche Tierseuche man betrachtet, wird der Risikofaktor Intensität der Tierproduktion nur durch die Tier-, Betriebs- und Herdendichte einer Art (zum Beispiel bei KSP) oder mehrerer Spezies (zum Beispiel bei MKS) determiniert.

<sup>166</sup>Keine Barrieren, konstante Windrichtung und Windgeschwindigkeit von fünf Metern pro Sekunde, kein Niederschlag und Luftfeuchtigkeit über 55 %.

Tabelle 2.3: Aerosole Infektion durch MKS-Viren

Quellherde: 100 infektiöse	Empfängertier		
	Rind	Schaf	Schwein
Schweine	2.000 m	400 m	< 100 m
Rinder	200 m	< 100 m	< 100 m
Schafe	200 m	< 100 m	< 100 m

Quellherde: 10 infektiöse	Empfängertier		
	Rind	Schaf	Schwein
Schweine	500 m	100 m	< 100 m
Rinder	< 100 m	< 100 m	< 100 m
Schafe	< 100 m	< 100 m	< 100 m

scheinlichkeiten unter 100 %, ergeben sich deutlich höhere Distanzen.<sup>167</sup> Die Simulation von DONALDSON et al. [2001] zeigt, dass die Infektionsrate nach Erstinfektion einer Herde mit einer über die Luft übertragbaren Krankheit *ceteris paribus* umso höher ist, je größer die infizierte Herde ist und je kleiner die Distanz zwischen infektiöser Herde und Empfängerherde ist. SAVILL et al. [2006] haben in einer empirischen Untersuchung der MKS-Epizootie 2001 in Großbritannien bestätigt, dass die euklidische Distanz zwischen infektiösem und infiziertem Betrieb ein geeigneter Schätzer für die Wahrscheinlichkeit einer Krankheitsübertragung ist. Auch für KSP und HPAI spielt die kontaktlose Übertragung eine Rolle.<sup>168</sup> Eine Zunahme der Übertragungswahrscheinlichkeit bei geringer werdenden Distanzen zwischen Herden wurde insbesondere bei KSP in einer Vielzahl von Untersuchungen bestätigt.<sup>169</sup> Das Tierseuchenrisiko ist deshalb *ceteris paribus* umso höher einzuschätzen, je größer die Intensität der Tierproduktion einer Region ist.

Die Maßnahmen zur Bekämpfung hochinfektiöser Tierseuchen beinhalten aufgrund der aerosolen Infektionsgefahr und der zwangsläufig höheren Kontaktrate in der näheren Umgebung teilweise die Schlachtung aller Tiere, die sich in einem bestimmten Radius um den Ort des Seuchenausbruchs befinden. Je mehr Tiere innerhalb dieser Keulungszone gehalten werden, desto größer sind die wirtschaftlichen Schäden eines Seuchenausbruchs. Das Tierseuchenrisiko bzw. die wirtschaftlichen Folgen einer Epizootie steigen dann rapide mit der Intensität der Tierproduktion einer Region an. Zudem gibt es Hinweise darauf, dass das Risiko einer Erstinfektion bei großen Herden höher als bei kleinen Herden ausfällt.<sup>170</sup> Es bleibt somit festzuhalten, dass die Tier-, Herden- und Betriebsdichte Faktoren sind, die das Tierseuchenrisiko erhöhen.

Die Veränderung der Struktur des Tierproduktionssektors in einer Region hin zu einer extensiveren Tierproduktion reduziert das Tierseuchenrisiko und stellt dem-

<sup>167</sup>Vgl. Donaldson et al. [2001].

<sup>168</sup>Vgl. Boender et al. [2007], S. 91. und Moennig [2000], S. 96.

<sup>169</sup>Vgl. Karsten und Krieter [2005], S. 181.

<sup>170</sup>Vgl. Engel et al. [2005], S. 196.

nach eine Maßnahme des Tierseuchen-Risikomanagements dar. Sie ist aber nicht eindeutig den Biosicherheits- oder den Seuchenbekämpfungsmaßnahmen zuzuordnen. Aus Sicht eines einzelnen Betriebes reduziert eine Absenkung der Intensität der Tierproduktion die (bedingte) Wahrscheinlichkeit, dass eine hochinfektiöse Tierseuche von einem infizierten Betrieb aus der Nachbarschaft übergreift. Aus regionaler Sicht ist eine Verringerung der Produktionsintensität dagegen in erster Linie als Vorbereitung der Seuchenbekämpfung einzustufen, da sie im Falle des Ausbruchs einer hochinfektiösen Tierseuche eine schnellere Seuchenbekämpfung und ein geringeres Ausmaß des Seuchenzuges erwarten lässt.

#### **2.3.4 Klassifikation von Risikomanagementmaßnahmen**

Wir haben bisher zwischen der Maßnahme der Anpassung der Tierproduktionsintensität und zwischen Biosicherheits- und Seuchenbekämpfungsmaßnahmen unterschieden. Die Zuordnung einzelner Maßnahmen zu den beiden letztgenannten Klassen ist nicht ganz eindeutig, sondern variiert je nach Situation und Perspektive des Betrachters. Aus Sicht eines individuellen Tierproduzenten, der eine gesunde Herde hat, sind strikte Hygieneregeln für Mitarbeiter und Besucher eine betriebliche Biosicherheitsmaßnahme. In Krisenzeiten stellen sie gleichzeitig Seuchenbekämpfungsmaßnahmen dar, durch die eine Verbreitung der Tierseuche verhindert werden kann. Seuchenbekämpfungsmaßnahmen, die Kontakte und Übertragungswahrscheinlichkeiten in Betrieben reduzieren, können daher als temporär verschärfte, betriebliche Biosicherheitsmaßnahmen aufgefasst werden.

Die Unterscheidung zwischen Biosicherheit und Seuchenbekämpfung ist aufgrund ihres unterschiedlichen Einflusses auf das Tierseuchenrisiko für die ökonomische Analyse des Managements von Tierseuchenrisiken bedeutsam und wird deshalb an mehreren Stellen dieser Arbeit wieder aufgegriffen. Allerdings wird dabei, je nach Timing der Maßnahmen in Bezug auf den Zeitpunkt eines Seuchenausbruchs, vielmehr zwischen *Präventions-* und *Reaktionsmaßnahmen* unterschieden.<sup>171</sup> Präventionsmaßnahmen werden ex ante, also vor Ausbruch einer hochinfektiösen Tierseuche durchgeführt. Dazu zählen zum Beispiel die Notfallvorbereitung, regionale und betriebliche Biosicherheitsmaßnahmen, die Anpassung der Produktionsintensität und die regelmäßige und sorgfältige Beobachtung des Gesundheitszustands von Herden durch Tierproduzenten, die eine Komponente der frühzeitigen Meldung von Seuchenverdachtsfällen ist. Reaktionsmaßnahmen werden ex post durchgeführt. Dazu zählen insbesondere die Seuchenbekämpfungsmaßnahmen mit Ausnahme der Notfallplanung und Vorbereitung, aber auch regionale und betriebliche Biosicherheitsmaßnahmen, die aufgrund der stark gestiegenen Gefährdungslage in Krisenregionen im Vergleich zu den Präventionsmaßnahmen verschärft werden. Die Meldung eines Seuchenverdachts ist auch den Reaktionsmaßnahmen zuzurechnen.

Ökonomisch relevant ist auch die Unterscheidung zwischen *individuellen* und *kol-*

---

<sup>171</sup>Vgl. McInerney et al. [1992], S. 139.

*lektiven Maßnahmen* des Tierseuchen-Risikomanagements, die durch einzelne Tierproduzenten oder durch Veterinärbehörden veranlasst oder durchgeführt werden. Im Einklang mit dem Terrestrial Animal Health Code der OIE definieren wir die nationale Veterinärbehörde als die tierärztliche Administration, alle Veterinärbehörden und alle Personen, die von der Körperschaft des öffentlichen Rechts im tierärztlichen Bereich autorisiert, registriert oder lizenziert sind, sowie öffentliche und private Elemente von Institutionen, die präventiv oder reaktiv im Tierseuchen-Risikomanagement eines Landes involviert sind.<sup>172</sup> Die Zuordnung einzelner Risikomanagementmaßnahmen zu den individuellen oder kollektiven Maßnahmen ist in manchen Fällen offensichtlich: Eine routinemäßige Gesundheitskontrolle von Nutztieren kann nicht sinnvoll verstaatlicht werden, und die Entwicklung und Umsetzung einer internationalen Strategie zur Tilgung einer endemischen Tierseuche aus einem Kontinent kann nicht durch private Akteure geleistet werden. In vielen Fällen ist die Abgrenzung zwischen individuellen und kollektiven Maßnahmen des Tierseuchen-Risikomanagements dagegen eine Frage der politischen Gestaltung und damit Gegenstand der ökonomischen Analyse des Managements von Tierseuchenrisiken.

Schließlich ist bei den Risikomanagementmaßnahmen von Bedeutung, ob sie durch eine außenstehende Partei beobachtet und verifiziert werden können, und gegebenenfalls unter welchen Kosten die Beobachtung individueller Maßnahmen möglich ist. Auch die nach diesen Kriterien getroffene Unterscheidung zwischen *beobachtbaren* und *unbeobachtbaren Risikomanagementmaßnahmen* ist für die ökonomische Analyse des Managements von Tierseuchenrisiken von hoher Relevanz.

---

<sup>172</sup>Vgl. Vallat und Mellet [2006], S. 390.

## Kapitel 3

# Effizientes Management von Tierseuchenrisiken

Die Ausführungen des vorangegangenen Abschnitts haben gezeigt, dass das Tierseuchenrisiko keineswegs exogen gegeben ist, sondern dass die Stochastik in erheblichem Maße durch die Maßnahmen des Tierseuchen-Risikomanagements beeinflusst werden kann. Die Intensität regionaler und betrieblicher Biosicherheitsmaßnahmen beeinflusst die Wahrscheinlichkeit, mit der eine hochinfektiöse Tierseuche innerhalb einer Region ausbricht. Kommt es trotz Biosicherheitsanstrengungen zu einem Seuchenausbruch, kann eine Epizootie durch effektive Seuchenbekämpfung verhindert werden, wie zum Beispiel die schnell eingedämmten Ausbrüche der hochpathogenen Vogelgrippe H5N1 in Frankreich und Dänemark im Jahr 2006<sup>1</sup> oder der relativ schnell unter Kontrolle gebrachte Ausbruch von MKS in den Niederlanden im Vergleich zu dem katastrophalen Seuchenzug im Jahr 2001 in Großbritannien<sup>2</sup> zeigen.

Bislang haben wir das Thema Tierseuchen-Risikomanagement rein veterinärmedizinisch bzw. technisch betrachtet. Dabei hat sich gezeigt, dass es eine Vielzahl von Maßnahmen zum Management des Risikos hochinfektiöser Tierseuchen gibt. Die meisten dieser Maßnahmen ergänzen sich, teilweise stehen aber auch Alternativen zur Wahl, wie die Möglichkeit einer Stamping-Out Strategie oder einer Seuchenbekämpfung mit Hilfe von Notimpfungen. Es stellt sich die Frage, in welcher Situation konkrete Maßnahmen des Tierseuchen-Risikomanagements in welcher Intensität ergriffen werden sollten. Diese Thematik wird in diesem Kapitel untersucht. Dazu werden zunächst die Risikokosten als Maßstab zur Bewertung des Tierseuchenrisikos eingeführt (Abschnitt 3.1). Anschließend wird das Kriterium der Minimierung erwarteter Risikokosten zur Bestimmung des effizienten Risikomanagements abgeleitet (Abschnitt 3.2). Abschnitt 3.3 widmet sich der Umsetzung dieser Zielvorgabe. Dazu werden die Tierproduktion sowie epizootiologische Ereignisse anhand eines stochastischen Risikokostenmodells abgebildet.

---

<sup>1</sup>Vgl. Berg et al. [2008], S. 141.

<sup>2</sup>Vgl. Rafai [2006], S. 218.

## 3.1 Risikokostenarten und ihre Bewertung

Risikomanagementmaßnahmen zielen darauf ab, Seuchenausbrüche zu vermeiden oder eine bereits ausgebrochene Tierseuche zu bekämpfen. Ziel des Risikomanagements ist also stets die Verringerung zukünftiger negativer Konsequenzen. In diesem Abschnitt wird vorgestellt, was unter diesen negativen Konsequenzen, die wir als Risikokosten bezeichnen, genau zu verstehen ist. Sie stellen den ökonomischen Maßstab zur Bewertung des Tierseuchenrisikos und des Risikomanagements dar. In den nachfolgenden Abschnitten werden unterschiedliche Risikokostenarten vorgestellt. Wir unterscheiden dabei zwischen den Kosten hochinfektiöser Tierseuchen (Abschnitt 3.1.1), Wohlfahrtsverlusten von Handelsrestriktionen (Abschnitt 3.1.2), Auswirkungen auf andere Industrien (Abschnitt 3.1.3) und Risikoprämien (Abschnitt 3.1.4). Zudem enthalten diese Abschnitte Ansätze zur Ermittlung der Höhe dieser Risikokostenarten. Dies erweist sich zum Teil als äußerst komplex, weshalb in Abschnitt 3.1.5 die Einschränkung der Betrachtung auf eine Partialanalyse vorgenommen wird.

### 3.1.1 Kosten hochinfektiöser Tierseuchen

Eine anschauliche Vorstellung der Kosten hochinfektiöser Tierseuchen gewinnt man bei der Betrachtung der Auswirkungen des Tierseuchenrisikos auf die Entstehung des Volkseinkommens bzw. auf die Produktionsseite der Wirtschaft. Produktion ist die Erzeugung von Outputgütern unter Verwendung von Inputfaktoren. Die Möglichkeiten zur Erzeugung von Output sind bei einer vorhandenen Menge an Inputfaktoren technisch vorgegeben und werden als Produktionsmöglichkeiten bezeichnet. Das Tierseuchenrisiko verschlechtert die Produktionsmöglichkeiten der Tierproduzenten.<sup>3</sup> Zur Erzeugung einer bestimmten Menge an Outputgütern sind aufgrund der Existenz des Tierseuchenrisikos mehr Inputfaktoren wie Arbeitskraft, Futter, medizinische Versorgung, Transporte und insbesondere Aufwendungen für die Durchführung von Risikomanagementmaßnahmen nötig. Falls es zum Ausbruch einer hochinfektiösen Tierseuche kommt, sind massive Einbrüche des Outputs möglich.<sup>4</sup> Ein Teil der Kosten des Tierseuchenrisikos kann somit als Mehreinsätze oder Mindererträge in der Tierproduktion bezeichnet werden.

Ein Großteil der risikobedingten *Mehreinsätze in der Produktion* lässt sich direkt den Präventionsmaßnahmen zuordnen. Dazu zählen zum Beispiel die Aufwendungen für die Vorratshaltung von Impfstoffen, der Arbeitseinsatz bei der routinemäßigen Überprüfung der Herdengesundheit zur Früherkennung von Seuchenausbrüchen und die durch die Einhaltung von Biosicherheitsstandards verursachten Mehrkosten,<sup>5</sup> etwa um eine strikte Trennung von Tiergruppen im Produktionsprozess aufrecht zu erhalten. Weitere Mehreinsätze sind die Ausgaben für die Überwachung oder Ausrottung endemischer Tierkrankheiten, die Kosten für den Ausbau und die Erhaltung

---

<sup>3</sup>Vgl. Bennett [2003], S. 57 f.

<sup>4</sup>Vgl. McInerney et al. [1992], S. 138.

<sup>5</sup>Vgl. Zijpp [1999], S. 203.

einer veterinärmedizinischen Infrastruktur, die Aufwendungen für die Durchsetzung und Kontrolle dauerhaft bestehender, internationaler Handelsrestriktionen oder der Ressourceneinsatz für die Erstellung von Notfallplänen. Zudem stellen die mit einer risikobedingten Anpassung der Tierproduktionsintensität verbundenen Mehrkosten in der Tierproduktion risikobedingte Mehreinsätze dar.

Auch Reaktionsmaßnahmen erfordern Mehreinsätze in der Tierproduktion, wie den Einsatz von Arbeitskräften und weiteren Faktoren zur Reinigung und Desinfektion, zur Durchführung von Not- und Präventivschlachtungen, zur Absperrung von Straßen und Wegen oder zum Betrieb von Desinfektionsschleusen. Viele dieser Kosten fallen nicht nur bei den Tierproduzenten oder Veterinärbehörden an, sondern in der gesamten Wertschöpfungskette von Tierprodukten, also auch in den der Tierproduktion vor-, zwischen- und nachgelagerten Betrieben, zum Beispiel bei Tiertransporteuren und Schlachthöfen.<sup>6</sup> Auch die Kosten der veterinärmedizinischen Überwachung in Krisenzeiten, die Diagnosekosten für Tiere unter Seuchenverdacht und die Kosten der Durchführung von Notimpfungen zählen zu den reaktionsbedingten Mehreinsätzen. Ein erheblicher Teil der Mehreinsätze in der Produktion wird durch Bewegungsrestriktionen hervorgerufen, insbesondere wenn es nicht gelingt, Seuchenausbrüche schnell einzudämmen. Die Versorgung gesunder Herden in Restriktionszonen verursacht zum einen erhebliche Zusatzkosten. Zum anderen können normale Produktionszyklen nicht eingehalten werden, weil eine Verwertung gesunder Tiere in Restriktionszonen nicht möglich ist. Zudem erfordern Verwertungsrestriktionen eine Anpassung von Produktionszyklen, zum Beispiel die Veränderung der Fütterung von Mastschweinen, was zusätzliche Kosten für die Tierproduzenten verursacht.<sup>7</sup>

In erster Linie sind mit den Reaktionsmaßnahmen jedoch risikobedingte *Mindererträge in der Produktion* verbunden. Dazu gehören zum Beispiel die aufgrund von Not-, und Präventivschlachtungen verlorenen Tiere sowie Futter und Fleisch, das vernichtet werden muss. Angesichts der umfangreichen Keulungen bei der Bekämpfung von Ausbrüchen hochinfektiöser Tierseuchen ist es nicht überraschend, dass die Mindererträge in der Tierproduktion einen Großteil der Risikokosten ausmachen,<sup>8</sup> wenn es zu einem Seuchenausbruch kommt. Auch in Folge von Restriktionen entstehen Mindererträge, da Restriktionen die Überfüllung von Betrieben und Tiergesundheitsprobleme wie Übergewicht, Kämpfe und Kannibalismus hervorrufen.<sup>9</sup> Wenn das weitere Bestehen von Restriktionszonen über einen längeren Zeitraum antizipiert werden kann, werden Tierschutzschlachtungen durchgeführt, um Tiergesundheitsprobleme zu vermeiden und um Restriktionskosten zu begrenzen. Die Mindererträge aufgrund von Tierschutzschlachtungen können die Kosten der

---

<sup>6</sup>Vgl. Meuwissen et al. [2003], S. 306 und Niemi et al. [2004], S. 185.

<sup>7</sup>Vgl. Niemi et al. [2004], S. 186.

<sup>8</sup>Vgl. Davies [2002], S. 198.

<sup>9</sup>Vgl. Stegeman et al. [2000], S. 195.

Schlachtungen in infizierten Betrieben um das bis zu 400-fache übersteigen.<sup>10</sup> Beim Ausbruch von KSP in den Niederlanden 1997/98 wurden sogar teilweise junge, gesunde Ferkel geschlachtet, um Kapazitäten zu sparen, da ihre spätere Beseitigung wesentlich mehr knappe Entsorgungskapazität gebunden hätte.<sup>11</sup> Schließlich verursachen temporäre Wiederbelegungsverbote erhebliche Mindererträge, da in den betroffenen Betrieben überhaupt keine Produktion stattfindet.

Ein relativ kleiner Teil der risikobedingten Mindererträge in der Tierproduktion entsteht durch krankheitsbedingte Tierverluste in Folge von Tierseuchenausbrüchen. Es handelt sich dabei um den Tierwert bei Mortalität bzw. um den Tierwertverlust, der durch eine Erkrankung hervorgerufen wird, zum Beispiel weil die Produktionsleistung oder das Gewicht temporär oder dauerhaft gesunken sind.<sup>12</sup> Krankheitsbedingte Tierverluste sind in Industrieländern aufgrund der Seuchenbekämpfungsmaßnahmen relativ unbedeutend. Würde man jedoch den ungebremsen Verlauf einer hochinfektiösen Tierseuche zulassen, wären diese enorm. Gerade dies soll durch die Seuchenbekämpfung verhindert werden. Im Ergebnis werden also Tierverluste durch Kosten in Verbindung mit Not- und Präventivschlachtungen sowie durch Restriktionskosten substituiert.<sup>13</sup> Tierseuchen, die nicht als hochinfektiös einzustufen sind und daher nicht im Mittelpunkt dieser Arbeit stehen, verursachen aber teilweise beachtliche Mindererträge, wie zum Beispiel die Paratuberkulose des Rindes.<sup>14</sup>

Die *Bewertung* der Güter und Faktoren, die in der Produktion aufgrund des Tierseuchenrisikos zusätzlich als Inputfaktoren eingesetzt werden oder als Outputgüter verloren gehen, erfolgt anhand ihrer Preise, die saisonalen Schwankungen unterliegen können und sich je nach Qualität und Verwendung der Tiere stark unterscheiden können.<sup>15</sup> Risikokosten in Form von Mehreinsätzen oder Mindererträgen in der Produktion enthalten aber auch Güter, die nicht auf Märkten gehandelt werden. Dazu gehören zum Beispiel die Leistungen von Behörden wie Grenzkontrollen, die Bereitstellung von Infrastruktur zur Seuchenbekämpfung und das Absperrn von Gebieten.<sup>16</sup> Deren Bewertung erfolgt auf Basis der Herstellungskosten. Auch im Hinblick auf Zoonosen treten Kosten auf. Dazu gehören zum Beispiel die Kosten der Notfallvorbereitung, Quarantänekosten und Impfungen, die wie Mehreinsätze und Mindererträge in der Tierproduktion mit Marktpreisen oder Herstellungskosten

---

<sup>10</sup>Vgl. Whiting [2006].

<sup>11</sup>Vgl. Stegeman et al. [2000], S. 193.

<sup>12</sup>Vgl. Zijpp [1999], S. 203.

<sup>13</sup>Vgl. McInerney et al. [1992], S. 140 f.

<sup>14</sup>Jüngere Forschungsergebnisse zeigen, dass die auf 200-250 Mio. US-\$ beziffernten jährlichen Verluste der Milchindustrie in den USA durch Johne's Disease, die klinische Form der Paratuberkulose des Rindes, stark unterschätzt sind, da die Produktionsleistung infizierter Milchkühe schon ab Infektion und damit zumeist Jahre vor Krankheitsausbruch signifikant absinkt. Vgl. Gonda et al. [2007].

<sup>15</sup>Insbesondere in der Zucht eingesetzte Rassetiere sind teilweise sehr wertvoll. Der Marktpreis eines Limousin-Zuchtbullen, der zur Bekämpfung des MKS-Ausbruchs 2001 in Großbritannien gekeult wurde, wurde beispielsweise auf 48.000 Pfund geschätzt. Vgl. National Audit Office [2002], S. 85.

<sup>16</sup>Vgl. McInerney et al. [1992], S. 139 f.

sten bewertet werden können. Teilweise sind die Preise für Tiere und Tierprodukte von der epizootiologischen Entwicklung abhängig. In Exportregionen für Tiere und Tierprodukte kann es zum Beispiel in Folge des Ausbruchs einer hochinfektiösen Tierseuche zur massiven Angebotsausweitung auf den heimischen Märkten aufgrund von temporären Exportverboten kommen.<sup>17</sup> Denkbar sind auch nachfrageinduzierte Preisänderungen in Folge von Maßnahmen zur Seuchenbekämpfung. Diese Verwerfungen implizieren Preisänderungen, die bei der Ermittlung der Risikokosten explizit berücksichtigt werden müssen.<sup>18</sup> Bei der Bewertung von Mehreinsätzen und Mindererträgen zur Ermittlung der Kosten und Verluste des Tierseuchenrisikos müssen deshalb Veränderungen der Marktpreise von Tieren und Tierprodukten in Folge von besonders schweren oder lang andauernden Seuchenausbrüchen berücksichtigt werden.

Das Tierseuchenrisiko verursacht zudem Kosten *nicht marktfähiger Güter*, für deren Bewertung keine Preise oder Herstellungskosten zur Verfügung stehen. Ein nicht marktfähiges Gut ist zum Beispiel die Anzahl oder die genetische Variabilität von Wildtieren, die im Rahmen einer regionalen Biosicherheitsmaßnahme oder zur Bekämpfung eines Seuchenausbruchs reduziert wird. Weitere Beispiele sind der Tierschutz und die Tiergesundheit, die bei der Durchführung von Massenkeulungen zur Bekämpfung des Ausbruchs hochinfektiöser Tierseuchen in Mitleidenschaft gezogen werden.<sup>19</sup> Auch die Bewertung von Erkrankungen und Todesfällen von Menschen beim Ausbruch einer Zoonose ist problematisch. Aus der Gesundheitsökonomie sind Ansätze zur monetären Bewertung von Leben und Gesundheit bekannt, die zur Ermittlung dieser Kosten herangezogen werden können.<sup>20</sup> Die Werte anderer nicht marktfähiger Güter können durch die Erhebung von Zahlungsbereitschaften geschätzt werden. BENNETT und WILLIS [2007] haben so die Kosten unterschiedlicher Politikoptionen zum Umgang mit wildlebenden Dachsen ermittelt, insbesondere die Reduktion ihrer Populationsgröße zum Management des Risikos der Rindertuberkulose in England und Wales, die in der heimischen Dachspopulation endemisch ist.<sup>21</sup>

Die Kosten hochinfektiöser Tierseuchen werden korrekt ermittelt, indem alle Mengen risikobedingter Mehreinsätze oder Mindererträge mit ihren Preisen multipliziert und ihre auf den Betrachtungszeitpunkt abdiskontierten Barwerte aufsummiert werden. Dies gilt sowohl für geschlachtete Tiere, als auch für die immensen Kosten, die von Restriktionen wie Transport-, Verwertungs-, Wiederbelegungs- und Zuchtverboten hervorgerufen werden und sämtliche Betriebe in den entsprechenden

<sup>17</sup>Vgl. Horst et al. [1998], S. 253 f.

<sup>18</sup>Vgl. Bennett [2003], S. 57.

<sup>19</sup>Vgl. McInerney et al. [1992], S. 139.

<sup>20</sup>Vgl. Breyer et al. [2005], S. 38-64.

<sup>21</sup>In Bezug auf die Größe der heimischen Dachspopulation lassen die Ergebnisse darauf schließen, dass die Kosten einer moderaten Reduktion der Dachspopulation gering sind, massive Tötungen von wildlebenden Dachsen aber stark abgelehnt werden bzw. von der Gesellschaft als sehr teuer erachtet werden.

Restriktionszonen sowie der Tierproduktion vor- und nachgelagerte Industrien wie Tiertransporteure oder Schlachthöfe betreffen. Aus pragmatischen Gründen können diese Restriktionskosten auch anhand von restriktionsabhängigen Tagespauschalen für einzelne Betriebe oder Betriebstypen approximiert werden, die den im Durchschnitt pro Tag anfallenden Risikokosten unter Geltung bestimmter Restriktionen entsprechen.

### 3.1.2 Wohlfahrtsverluste von Handelsrestriktionen

Neben den Kosten hochinfektiöser Tierseuchen sind die negativen Konsequenzen von Handelsrestriktionen eine bedeutsame Kostenart.<sup>22</sup> Diese wirken sich mittelbar auf Konsumenten und Produzenten aus, indem sie das Angebot auf den Märkten für Tiere und Tierprodukte beeinflussen. Im Allgemeinen verhindern Handelsrestriktionen eine effiziente Allokation von Tieren und Tierprodukten und implizieren damit Wohlfahrtsverluste in Form von *Markttrentenverlusten*. Die Bewertung dieser negativen Auswirkungen des Tierseuchenrisikos erfolgt auf Basis des Konzepts der Konsumenten- und Produzentenrente.<sup>23</sup> Die Wohlfahrtsverluste entsprechen dem Nettoeffekt aus Markttrentenverlusten für Konsumenten (Produzenten) von Tieren und Tierprodukten in Ländern oder Regionen, die ohne Handelsbeschränkungen Tiere und Tierprodukte importieren (exportieren) würden, und den Markttrentengewinnen für Produzenten (Konsumenten) von Tieren und Tierprodukten in Ländern oder Regionen, die ohne Handelsbeschränkungen Tiere und Tierprodukte importieren (exportieren) würden.<sup>24</sup>

Die Berechnung von Markttrentenverlusten setzt voraus, dass der Verlauf der Angebots- und Nachfragefunktionen der von Handelsrestriktionen betroffenen Güter bekannt ist. Trotz dieser hohen Informationsanforderungen werden Markttrenten zur Quantifizierung der Wohlfahrtseffekte von Veränderungen im Rahmen handelspolitischer Untersuchungen abgeschätzt,<sup>25</sup> wobei fehlende Daten durch Annahmen ersetzt werden.<sup>26</sup>

Im Kontext des Risikomanagements hochinfektiöser Tierseuchen muss zwischen präventiven, dauerhaften und reaktiven, temporären Handelsrestriktionen unterschieden werden. *Reaktive Handelsrestriktionen* werden eingesetzt, um die Gefahr der Ausbreitung einer hochinfektiösen Tierseuche zu verringern. Bei der Bewertung dieser Risikokosten kann man sich auf statische Wohlfahrtseffekte handelspolitischer Maßnahmen beschränken, denn in dem relevanten Zeitraum der Seuchenbekämpfung, der in der Regel wenige Monate beträgt, kann von unverändertem Produzen-

---

<sup>22</sup>Vgl. Zijpp [1999], S. 203.

<sup>23</sup>Vgl. Berentsen et al. [1992], S. 236-238.

<sup>24</sup>Vgl. Mankiw [2004], S. 175-182.

<sup>25</sup>Vgl. Productivity Commission [1998], S. 137-143.

<sup>26</sup>Eine unbekannte Nachfragefunktion kann auf Basis weniger Preis-Absatz-Beobachtungen zum Beispiel unter der Annahme einer konstanten Preiselastizität der Nachfrage approximiert werden. Vgl. Berentsen et al. [1992], S. 236.

tenverhalten ausgegangen werden.<sup>27</sup> Die statischen Wohlfahrtseffekte von Veränderungen von Handelsrestriktionen sind insgesamt als relativ gering einzuschätzen.<sup>28</sup> Konsumenten- und Produzentenrenten verhalten sich gegenläufig und heben sich zu großen Teilen auf. Betrachtet man aber einzelne Tierproduzenten, sind erhebliche Wohlfahrtseffekte möglich. Überwiegend positive Auswirkungen können sich zum Beispiel für Tierproduzenten aus Teilregionen ergeben, in denen der Ausbruch einer hochinfektiösen Tierseuche und die daraufhin ergriffenen Seuchenbekämpfungsmaßnahmen keine direkten Auswirkungen haben, wenn der seuchenbedingte Ausfall des Angebots einer auf dem Weltmarkt bedeutsamen Exportregion zu erheblichen Preissteigerungen führt.

Bedeutsamer sind dagegen die Marktrentenverluste *präventiver Handelsrestriktionen*, da ihre Veränderung eine Anpassung des Produzentenverhaltens und damit dynamische Wohlfahrtseffekte auslöst.<sup>29</sup> Ihre Bewertung erfordert zum Beispiel die Abschätzung von Transportkosten und möglichen Agglomerationseffekten in der Produktion, um das Marktgleichgewicht und die Höhe der Marktrenten in der hypothetischen Referenzsituation ohne risikobedingte Handelsrestriktionen zu ermitteln.<sup>30</sup> Eine Schwierigkeit ergibt sich, wenn Handelsbeschränkungen auch ohne die Existenz des Risikos hochinfektiöser Tierseuchen bestehen. Da zur Ermittlung der Risikokosten hochinfektiöser Tierseuchen in Abhängigkeit des Risikomanagements nur die Marktrentenverluste von Belang sind, die aufgrund von risikobedingten Handelsrestriktionen zur Verhinderung einer Einschleppung oder Verbreitung hochinfektiöser Tierseuchen entstehen, muss zwischen risikobedingten und anderen dauerhaften Handelsbarrieren, zum Beispiel aus protektionistischen Gründen, unterschieden werden. Aufgrund der Vielzahl an unbekanntenen Größen, die zur Ermittlung von Produzenten- und Konsumentenrenten in Abhängigkeit von Handelsrestriktionen entstehen, kann die Bewertung von Marktrentenverlusten nur sehr pauschal erfolgen. Eine Berücksichtigung grob geschätzter Werte ist der Unterschlagung dieser Risikokosten aber allemal vorzuziehen.

### 3.1.3 Auswirkungen auf andere Industrien

Eine dritte Risikokostenart stellen Auswirkungen auf andere Industrien dar,<sup>31</sup> die sich in Folge von Seuchenausbrüchen ergeben können. Bei sehr umfangreichen Restriktionen, die den nationalen und internationalen Reiseverkehr beeinträchtigen, ergeben sich zum Beispiel Umsatzeinbußen für die Tourismusindustrie. Nach einer Schätzung des Ministeriums für Kultur, Medien und Sport des Vereinigten Königreichs führten die Restriktionen zur Bekämpfung des MKS-Ausbruchs im Jahr 2001 zu Umsatzeinbußen von ländlichen Tourismusanbietern zwischen 4,5 und 5,4 Mrd.

---

<sup>27</sup>Vgl. Berentsen et al. [1992], S. 236.

<sup>28</sup>Vgl. Baldwin [1992], S. 162.

<sup>29</sup>Vgl. Baldwin [1992], S. 164-167.

<sup>30</sup>Vgl. Rossi-Hansberg [2005], S. 1464-1474.

<sup>31</sup>Vgl. McInerney et al. [1992], S. 140.

Pfund.<sup>32</sup> Hauptursachen der drastischen Umsatzeinbrüche waren die teilweise monatelangen Sperrungen von Fuß- und Wanderwegen und die Schließung von Landhäusern und weiteren touristischen Attraktionen.<sup>33</sup> Durch Tierseuchenausbrüche bedingte Umsatzrückgänge anderer Industrien dürfen nicht mit einer Risikokostengröße gleichgesetzt werden, da auch Kosteneinsparungen berücksichtigt werden müssen. Zudem werden Umsatzrückgänge teilweise durch Substitutionseffekte kompensiert, zum Beispiel in Form von Umsatzsteigerungen der Anbieter städtischer Tourismusaktivitäten, wenn der Tourismus aufgrund von Restriktionen zur Seuchenbekämpfung in ländlichen Gebieten beschränkt wird.<sup>34</sup>

Die Kosten der Auswirkungen auf andere Betriebe entsprechen deshalb der Nettogröße entgangener Gewinne aller von einem Seuchenausbruch indirekt betroffenen Betriebe. Innerhalb einer Region kann sie einen signifikanten Anteil der Risikokosten ausmachen.<sup>35</sup> Bei einer globalen Betrachtung müssen allerdings die Auswirkungen auf Anbieter aus anderen Regionen oder auf Anbieter anderer Güter und Dienstleistungen berücksichtigt werden, die aufgrund von Substitutions- und Einkommenseffekten von einer steigenden Nachfrage und höheren Gewinnen profitieren.<sup>36</sup>

#### 3.1.4 Risikoprämien

Das Einkommen vieler Individuen hängt von der Realisation des Tierseuchenrisikos ab. Wir treffen die Annahme, dass Individuen risikoavers sind. Die individuelle Abneigung gegen Risiken impliziert Nutzeneinbußen durch das Risiko hochinfektiöser Tierseuchen, die sich auf die Höhe der entscheidungstheoretischen Risikoprämien der Individuen belaufen. Darunter versteht man die sichere Einkommensreduktion, die ein Individuum für die Abgabe eines Risikos über dessen Erwartungswert hinaus in Kauf nehmen würde.<sup>37</sup> Von Bedeutung sind vor allem die Risikoprämien von Tierproduzenten oder Angestellten in Tierproduktionsbetrieben, deren Existenzgrundlage beim Ausbruch hochinfektiöser Tierseuchen im Extremfall bedroht ist.

#### 3.1.5 Partialanalyse

Die Berücksichtigung aller in den Abschnitten 3.1.1 bis 3.1.4 vorgestellten Risikokostenarten erfordert die Entwicklung eines Totalmodells, das alle von der Realisation und dem Management des Risikos hochinfektiöser Tierseuchen abhängigen, wirtschaftlichen und biologischen Anpassungsreaktionen abbildet. Darüber hinaus erfordert die Ermittlung von Risikoprämien die Kenntnis der Nutzenfunktionen aller Individuen, deren Wohlfahrt von der Realisation des Tierseuchenrisikos abhängt.

---

<sup>32</sup>Vgl. National Audit Office [2002], S. 25.

<sup>33</sup>Vgl. National Audit Office [2002], S. 35.

<sup>34</sup>Vgl. FAO [2002], S. 4.

<sup>35</sup>Vgl. Meuwissen et al. [1999], S. 264.

<sup>36</sup>Vgl. Dijkhuizen et al. [1995], S. 137.

<sup>37</sup>Vgl. Eeckhoudt et al. [2005], S. 9-12.

Wir reduzieren die Komplexität dieses Vorhabens zunächst, indem wir uns im Wesentlichen auf eine Partialanalyse des Tierproduktionssektor unter Berücksichtigung des relevanten Staatssektors, der Veterinärbehörde, beschränken. Der Tierproduktionssektor schließt die in die Wertschöpfungskette der Tierproduktion eingebundenen Betriebe wie Tiertransporteure und Schlachthäuser ein, auf die im Fall eines Seuchenausbruchs ein signifikanter Anteil der Risikokosten entfällt.<sup>38</sup> Dadurch wird ein Großteil der in Abschnitt 3.1.1 vorgestellten Kosten hochinfektiöser Tierseuchen erfasst. Lediglich die durch Erkrankungen oder Todesfälle von Menschen hervorgerufenen Kosten im Fall des Ausbruchs von Zoonosen werden vernachlässigt.<sup>39</sup>

Eine erhebliche Komplexitätsreduktion ermöglicht die Vernachlässigung der in Abschnitt 3.1.3 betrachteten Auswirkungen auf andere Industrien, zum Beispiel auf Tourismusanbieter oder Verkehrsbetriebe, deren Aktivitäten durch Seuchenbekämpfungsmaßnahmen beeinträchtigt werden können. Dadurch entfällt die Notwendigkeit der Entwicklung eines Totalmodells, das alle mittelbar und unmittelbar mit der Tierproduktion zusammenhängenden Anpassungsreaktionen abbildet. Die Partialanalyse umfasst aber die in Abschnitt 3.1.2 vorgestellten Produzenten- und Konsumentenrentenverluste auf den Märkten für Tiere und Tierprodukte vollständig. Der private Sektor wird demnach über die Konsumentenrente einbezogen. Da die Abschätzung von Wohlfahrtsverlusten aufgrund von Handelsrestriktionen ohnehin nur pauschal erfolgen kann, geschieht dies nicht über eine explizite Modellierung des Konsumentenverhaltens.

Es ist fraglich, ob die Risikokosten durch die Vernachlässigung der in Abschnitt 3.1.3 geschilderten Auswirkungen auf andere Industrien wesentlich unterschätzt werden. Es gibt Hinweise darauf, dass die außerhalb des Tierproduktionssektors anfallenden Risikokosten mit dem Ausmaß einer Epizootie überproportional wachsen.<sup>40</sup> Die Unterschätzung der Risikokosten wäre bei Verwendung eines Partialmodells umso erheblicher, je größer ein Seuchenausbruch ist. Empirisch kann dies nicht belegt werden, da bislang keine totalanalytischen Betrachtungen der Risikokosten hochinfektiöser Tierseuchen durchgeführt werden. Die Auswirkungen von Seuchenausbrüchen werden, wenn überhaupt, nur auf nationaler Ebene unter Einbeziehung indirekter Effekte untersucht. Auch diese Studien geben ein widersprüchliches Bild ab. Nach Angaben der FAO führte die KSP-Epizootie in den Niederlanden 1997/98 zu einem Rückgang des BIP um 0,75%.<sup>41</sup> Die nationalen Auswirkungen des Seuchenzuges sind nach dieser Schätzung signifikant höher als die im Tierproduktionssektor anfallenden Risikokosten.<sup>42</sup> Allerdings werden bei dieser auf die Niederlande

---

<sup>38</sup>Vgl. FAO [2002], S. 4.

<sup>39</sup>Abgesehen von der Bewertungsproblematik sind diese in das in Abschnitt 3.3 entwickelte epizootiologische Risikokostenmodell prinzipiell integrierbar.

<sup>40</sup>Vgl. Jansson et al. [2005], S. 2.

<sup>41</sup>Vgl. FAO [2002], S. 4.

<sup>42</sup>Vgl. Alleweldt et al. [2006], S. 24. Die Werte zu den Bruttoinlandsprodukten von den Niederlanden und Großbritannien, die dieser und der folgenden Aussage zur gesamtwirtschaftlichen Auswirkung der MKS-Epizootie 2001 zugrunde liegen,

beschränkten Untersuchung zum Beispiel die positiven Effekte für Tierproduzenten in anderen, nicht von der KSP-Epizootie betroffenen Regionen vernachlässigt, die angesichts des Exportvolumens der Niederlande erheblich waren.<sup>43</sup> Ein gegensätzliches Bild liefert die MKS-Epizootie in Großbritannien 2001, deren Effekt auf das BIP auf einen Rückgang von 0,2% veranschlagt wird.<sup>44</sup> Angesichts der Tatsache, dass gerade diese Epizootie mit extrem hohen Auswirkungen auf andere Betriebe, insbesondere aus dem Tourismussektor, in Verbindung gebracht wird, ist die gesamtwirtschaftliche Auswirkung als sehr gering einzuschätzen. Begründet wird dies mit starken Substitutionseffekten innerhalb der britischen Volkswirtschaft.<sup>45</sup> Der BIP-Rückgang unterschreitet sogar die im Tierproduktionssektor anfallenden Risikokosten, was durch die umfangreiche Subventionierung der Risikokosten durch die Europäische Union<sup>46</sup> erklärt werden kann.

Anhand der wenigen bestehenden und ausschließlich national orientierten volkswirtschaftlichen Analysen zur Ermittlung der gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen von Ausbrüchen hochinfektiöser Tierseuchen kann nicht geklärt werden, ob die Vernachlässigung der Auswirkungen auf andere Industrien schwerwiegende Verzerrungen der ermittelten Risikokostengröße hervorruft. Die vorgenommene Einschränkung auf den Tierproduktionssektor, den relevanten Staatssektor und die Wohlfahrtseffekte von Handelsrestriktionen ist notwendig, weil eine adäquate Totalmodellierung der Risikokosten zu komplex ist. Die Partialanalyse erlaubt die Abbildung der Risikokosten als eine direkt von der epizootiologischen Entwicklung und den durchgeführten Risikomanagementmaßnahmen abhängige Größe. Bei der Bewertung des in dieser Arbeit entwickelten Risikokostenmodells sowie des daraus abgeleiteten effizienten Risikomanagements ist aber stets der partialanalytische Charakter der Modellierung zu berücksichtigen.

### 3.2 Optimales Tierseuchen-Risikomanagement

Die Analyse eines aus gesamtgesellschaftlicher Sicht optimalen Risikomanagements hochinfektiöser Tierseuchen ist Thema dieses Abschnitts. Wir gehen zur Vereinfachung davon aus, dass eine soziale Planungsinstanz alle Maßnahmen des Risikomanagements implementiert.<sup>47</sup> Aufgabe dieser fiktiven *globalen Veterinärbehörde* ist die Auswahl optimaler Risikomanagementmaßnahmen. In Abschnitt 3.2.1 wird gezeigt, dass sich das optimale Tierseuchen-Risikomanagement, unter Anwendung der Kaldor-Hicks Effizienz als Optimalitätskriterium, durch die Minimierung des Erwartungswerts der Risikokosten auszeichnet. Die partialanalytische Einschränkung auf den Tierproduktionssektor, den relevanten Staatssektor und die Wohlfahrtseffekte

---

entstammen der Homepage von Eurostat, [www.ec.europa.eu/eurostat](http://www.ec.europa.eu/eurostat).

<sup>43</sup>Vgl. Court of Auditors [2000], S. 8.

<sup>44</sup>Vgl. FAO [2002], S. 4.

<sup>45</sup>Vgl. Morgan und Prakash [2006], S. 520.

<sup>46</sup>Vgl. Alleweldt et al. [2006], S. 27.

<sup>47</sup>Vgl. zum Beispiel Dasgupta et al. [1979], S. 186 zu diesem Ansatz.

von Handelsrestriktionen stellt zwar eine erhebliche Erleichterung bei der Abbildung der Risikokosten dar. Eine effiziente Steuerung des Tierseuchenrisikos durch die globale Veterinärbehörde bleibt jedoch problematisch, denn es kann nicht davon ausgegangen werden, dass die globale Veterinärbehörde die (vom Tierseuchen-Risikomanagement abhängigen) Risikoprämien bzw. die individuellen Präferenzen der im Tierproduktionssektor Beschäftigten kennt. Aus diesem Grund wird in Abschnitt 3.2.2 die Annahme der Vollversicherung des Tierseuchenrisikos auf Ebene der Tierproduzenten getroffen und gerechtfertigt, unter der Risikoprämien entfallen. Abschließend werden der Einfluss des Risikomanagements auf die Risikokosten und das optimale Risikomanagement der globalen Veterinärbehörde skizziert.

### 3.2.1 Kaldor-Hicks effizientes Risikomanagement

Eine unumstrittene Forderung ist, dass die globale Veterinärbehörde ein Pareto effizientes Risikomanagement implementieren sollte.<sup>48</sup> Sie wird aber in den allermeisten Fällen vor dem Problem stehen, dass in bestimmten Situationen zur Wahl stehende Risikomanagementmaßnahmen von manchen Individuen befürwortet, von anderen aber abgelehnt werden. Die Notschlachtung einer mit MKS infizierten Herde und Präventivschlachtungen in der Umgebung des Ausbruchs bedeuten zum Beispiel massive Kosten für die betroffenen Tierproduzenten. Sie würden eine Reaktion vorziehen, bei der nur offensichtlich erkrankte Tiere beseitigt, und gesunde Tiere zunächst unter Quarantäne gestellt und serologisch getestet werden. Entgegengesetzt liegen die Präferenzen aller übrigen Tierproduzenten mit Rindern, Schweinen oder Schafen, die von Not- und Präventivschlachtungen oder anschließenden Restriktionen aufgrund des Ausbruchs nicht betroffen wären, aber einer Ansteckungsgefahr ausgesetzt sind. Dieses Beispiel macht deutlich, dass Pareto Effizienz als Kriterium zur Identifikation des optimalen Risikomanagements im Allgemeinen unbrauchbar ist. In der Regel gibt es bei jeder Entscheidung der globalen Veterinärbehörde Gewinner und Verlierer. Das Durchführen oder Unterlassen einer Risikomanagementmaßnahme verändert nicht nur die Gesamtsumme der Risikokosten, sondern verschiebt auch die Anteile, die zum Beispiel bestimmte Tierproduzenten oder Veterinärbehörden an den gesamten Risikokosten zu tragen haben.

Allerdings ist es möglich, die Themenkomplexe Risikomanagement und Risikokostentragung bzw. Finanzierung der Risikokosten zu trennen.<sup>49</sup> Unter der Maßgabe, dass die Kosten von Not- und Präventivschlachtungen (teilweise) erstattet werden, könnte eine Seuchenbekämpfung mit Not- und Präventivschlachtungen im obigen Beispiel auch im Interesse der betroffenen Tierproduzenten liegen. Eine Separierung der distributiven Effekte von den Risikomanagemententscheidungen der globalen Veterinärbehörde wird durch eine *kompensatorische Umverteilung* von Einkommen erreicht. Dazu müsste die soziale Planungsinstanz ein Steuer-Transfer System be-

---

<sup>48</sup>Vgl. Hicks [1939], S. 700 f.

<sup>49</sup>Vgl. Kaldor [1946], S. 49.

treiben und Einkommen zwischen allen Individuen umverteilen. Bei der Implementierung von Risikomanagementmaßnahmen könnten dann die Verlierer im Vergleich zum Status Quo eine Kompensationszahlung erhalten, die von den Gewinnern dieser Maßnahme finanziert werden. Erzielt das Steuer-Transfer System nach allen zur Kompensation von Gewinnen und Verlusten nötigen Transfers einen Überschuss, kann dieser beliebig verteilt werden, woraus eine Pareto Verbesserung resultiert.<sup>50</sup> Wenn die Abwicklung der kompensatorischen Umverteilungen keine Transaktionskosten verursacht, implementiert die globale Veterinärbehörde nach Durchführung aller auf diesem Weg realisierbaren Pareto Verbesserungen ein Risikomanagement, das als Pareto effizient oder optimal bezeichnet werden kann.

Wir vernachlässigen im Folgenden, dass die kompensatorischen Umverteilungen bei der Implementierung eines effizienten Risikomanagementprogramms auch tatsächlich durchgeführt werden müssen. Dies hat mehrere Gründe. Zum einen ist die Annahme sehr unrealistisch, dass die soziale Planungsinstanz ein Steuer-Transfer System betreiben kann, das keine Transaktionskosten verursacht. Zudem ist es umstritten, ob die Pareto Verbesserung des Tierseuchen-Risikomanagements mit Hilfe kompensatorischer Umverteilungen auch tatsächlich zu einer Erhöhung der gesamtgesellschaftlichen Wohlfahrt führt, wenn diese mitunter von verteilungspolitischen Gesichtspunkten abhängt, für die es keine allgemein akzeptierten Optimalitätskriterien gibt.<sup>51</sup> Die Einkommensverteilung einer Gesellschaft hängt nur unwesentlich von dem gewählten Programm zum Management hochinfektiöser Tierseuchen ab. Politische Maßnahmen zur Erreichung einer gesellschaftlich gewünschten Einkommensverteilung sind deshalb nicht effektiv innerhalb des Tierseuchen-Risikomanagements umzusetzen, sondern vielmehr eine Problematik der gesamten Steuer- und Sozialpolitik.

Als effizientes Risikomanagement wird in dieser Arbeit das Risikomanagement betrachtet, das selbst dann nicht Pareto verbessert werden kann, wenn eine transaktionskostenfreie kompensatorische Umverteilung von Einkommen möglich wäre. Man bezeichnet dieses Risikomanagement als Kaldor-Hicks effizient. Kaldor-Hicks Effizienz setzt also nicht voraus, dass die kompensatorischen Umverteilungen tatsächlich stattfinden, sondern nur, dass sie möglich sind.<sup>52</sup>

In einer Welt ohne Risiko führen Entscheidungen nach dem Kaldor-Hicks Kriterium zur Maximierung des realen Sozialprodukts. Der Einsatz von Ressourcen ist dann dadurch gekennzeichnet, dass ihre Grenzproduktivität den Grenzkosten entspricht. Wenn die Möglichkeit einer kompensatorischen Umverteilung als Kriterium für die Vorteilhaftigkeit einer Verteilung verwendet wird, ist es nicht notwendig, die Verteilungswirkungen dieser Entscheidungen zu berücksichtigen. Für Entscheidungen des Risikomanagements gilt dies jedoch nicht. Die Grenzkosten und Grenzerträge des Tierseuchen-Risikomanagements zeichnen sich dadurch aus, dass sie die Vertei-

---

<sup>50</sup>Vgl. Weber [1954], S. 516.

<sup>51</sup>Vgl. Samuelson [1955], S. 351 und 353.

<sup>52</sup>Vgl. Arrow [1963], S. 38.

lung der zukünftigen, während des Betrachtungszeitraums anfallenden Risikokosten beeinflussen. Die Höhe der Risikoprämien hängen von der Finanzierung der Risikokosten ab, so dass eine Trennung von Risikomanagement und Finanzierung der Risikokosten nicht möglich ist. Eine nähere Bestimmung des Kaldor-Hicks effizienten Risikomanagements ist daher ohne die Spezifizierung individueller Nutzenfunktionen bzw. Risikoeinstellungen zur Ermittlung der mit den Risikomanagemententscheidungen korrespondierenden Risikoprämien nicht möglich.

### 3.2.2 Annahme der Vollversicherung

Um dieses Problem zu umgehen, nehmen wir im Folgenden an, dass ein vollkommener Versicherungsmarkt existiert, auf dem das Tierseuchenrisiko gegen die Zahlung marginal fairer Prämien für den gesamten Betrachtungszeitraum versichert werden kann. Diese Annahme impliziert die Vollversicherung des Tierseuchenrisikos der annahmegemäß risikoaversen Individuen aus dem Tierproduktionssektor.<sup>53</sup> Für vollversicherte Individuen ist nur der Erwartungswert des Teils der Risikokosten, den sie selbst finanzieren müssen, von Belang. Weiterhin sind distributive Effekte des Risikomanagements durch den Ansatz des Kaldor-Hicks Effizienzkriteriums irrelevant. Das optimale Tierseuchen-Risikomanagement bzw. das Ziel der globalen Veterinärbehörde entspricht damit im Rahmen der partialanalytischen Betrachtung der Minimierung des Erwartungswertes der in den Abschnitten 3.1.1 und 3.1.2 vorgestellten Risikokostenarten, die wir in der weiteren Analyse als Risikokosten bezeichnen. Tabelle 3.1 bietet einen Überblick über die nach Präventions- und Reaktionskosten unterteilten Risikokosten.<sup>54</sup>

Die Annahme der Existenz vollkommener Versicherungsmärkte ist im Allgemeinen problematisch. Empirisch zeigt sich, dass die Transaktionskosten auf privaten Versicherungsmärkten ganz erheblich sein können, was gegen die Annahme der Vollversicherung des Tierseuchenrisikos spricht. Allerdings ist die Entschädigung der Risikokosten von Tierproduzenten in den meisten Ländern ausschließlich eine Aufgabe öffentlicher Versicherungen.<sup>55</sup> Dabei fallen relativ geringe Transaktionskosten an, weil kaum Vertriebs- und Werbeaufwendungen entstehen.<sup>56</sup> Die Annahme der Vollversicherung individueller Tierproduzenten ist zudem weitgehend konsistent zu zwei zentralen Ergebnissen dieser Arbeit: In Kapitel 4 wird dargelegt, dass die Pflichtversicherung des Tierseuchenrisikos bei einem öffentlichen Versicherer ein geeignetes Instrument zur Implementierung des effizienten Risikomanagements ist. Weiterhin wird in Kapitel 5 gezeigt, dass eine relativ umfassende Versicherung der Risikokosten

---

<sup>53</sup>Vollversicherung wird im Allgemeinen genau dann gewählt, wenn die Prämie die erwartete Entschädigung nur um einen begrenzten fixen Zuschlag überschreitet. Vgl. Raviv [1979], S. 86-90, 94f.

<sup>54</sup>Von der hier verwendeten Systematik mehr oder weniger stark abweichende Aufstellungen der Kosten von Tierseuchen finden sich zum Beispiel bei Bennett [2003], S. 57, McInerney et al. [1992], S. 138-140 oder Alleweldt et al. [2006], S. 23.

<sup>55</sup>Vgl. Asseldonk et al. [2003].

<sup>56</sup>Vgl. Ungern-Sternberg [2002], S. 123-129.

Tabelle 3.1: Risikokosten

<p>PRÄVENTIONS- KOSTEN</p>	<p><b>Präventionskosten hochinfektiöser Tierseuchen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kosten regionaler und betrieblicher Biosicherheitsmaßnahmen</li> <li>- Kosten der Überwachung und Ausrottung endemischer Tierkrankheiten</li> <li>- Kosten der präventiven Reduktion von Wildtierbeständen</li> <li>- Kosten der Implementierung biosicherer Produktionsabläufe und -strukturen</li> <li>- Kosten der medizinischen Vorsorge</li> <li>- Kosten von Präventivimpfungen</li> <li>- Kosten des Aufbaus und der Erhaltung der veterinärmedizinischen Infrastruktur</li> <li>- Kosten der Entwicklung von Notfallplänen und Seuchenbekämpfungsstrategien</li> <li>- Kosten der veterinärmedizinischen Forschung</li> </ul> <p><b>Wohlfahrtsverluste durch dauerhafte Handelsrestriktionen</b></p>
<p>REAKTIONS- KOSTEN</p>	<p><b>Reaktionskosten hochinfektiöser Tierseuchen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kosten krankheitsbedingter Tierwertverluste durch Mortalität, Gewichtsverlust oder gesunkene Produktionsleistung</li> <li>- Kosten der Tierwertverluste durch Not-, Präventiv- und Tierschutzschlachtungen</li> <li>- Kosten der Organisation und Durchführung von Schlachtungen</li> <li>- Beseitigungskosten</li> <li>- Kosten der Reinigung und Desinfektion</li> <li>- Kosten der Einhaltung verschärfter Biosicherheitsstandards</li> <li>- Kosten durch die Vernichtung potentiell kontaminierter Tierprodukte, Futtermittel und weiteren Materials</li> <li>- Absperrungskosten</li> <li>- Betriebsunterbrechungskosten</li> <li>- Kosten der serologischen Überwachung im Krisenfall</li> <li>- Kosten der Durchführung von Notimpfungen</li> <li>- Kosten medizinischer Behandlung und Quarantäne</li> <li>- Kosten der reaktiven Reduktion von Wildtierbeständen</li> </ul> <p><b>Wohlfahrtsverluste durch temporäre Handelsrestriktionen</b></p>

für Tierproduzenten für die Implementierung des effizienten Risikomanagements sogar zwingend erforderlich ist. Aus diesen Gründen stellt die Analyse des effizienten Risikomanagements unter der Vollversicherungsannahme im Hinblick auf Tierproduzenten eine zutreffende Vereinfachung dar.

Unzutreffend ist diese Annahme dagegen in Bezug auf die der Tierproduktion vor- und nachgelagerten Betriebe. Im Vergleich zu Tierproduzenten haben diese eine untergeordnete Bedeutung beim Risikomanagement hochinfektiöser Tierseuchen, weshalb sie in der Analyse der Kapitel 4 und 5 gar nicht explizit berücksichtigt werden. Die Vollversicherungsannahme kann deshalb für diese Betriebe nicht überzeugend gerechtfertigt werden. Die negativen Konsequenzen der Realisation des Tierseuchenrisikos können für Transporteure, Schlachthöfe oder die fleischverarbeitende Industrie im Fall von katastrophalen, sehr lang andauernden Epizotien gravierend sein, sind aber nicht in dem Maße existenzbedrohend wie für individuelle Tierproduzenten, da sie nicht zwangsläufig mit einem Verlust eines Großteils des Betriebsvermögens verbunden ist. Zudem werden Schlachtbetriebe und Tiertransporteure bei katastrophalen Seuchenausbrüchen teilweise im Rahmen staatlicher ad hoc Entschädigungen berücksichtigt,<sup>57</sup> deren Antizipation die entsprechenden Risikoprämien verringert. Die Ermittlung des effizienten Risikomanagements unter der Annahme der Vollversicherung des Tierseuchenrisikos auf Ebene der Tierproduzenten und unter Vernachlässigung der Risikoprämien von Individuen, deren Einkommen aus der Tierproduktion vor- und nachgelagerten Betrieben stammt, ist daher unter Vorgriff auf die Ergebnisse der Untersuchung in den Kapiteln 4 und 5 vertretbar.

Das Kaldor-Hicks Kriterium fordert unter den vorgenommenen Vereinfachungen die Implementierung des Risikomanagements, das den Erwartungswert der in Tabelle 3.1 aufgeführten Risikokosten minimiert. Diese können prinzipiell unter Verwendung beobachteter oder geschätzter Marktpreise, Herstellungskosten, Zahlungsbereitschaften oder Marktrenten bewertet werden. Die Vollversicherungsannahme ermöglicht eine Operationalisierung des Kaldor-Hicks Kriteriums ohne Spezifikation individueller Präferenzen. Sie legt dadurch den Grundstein für die effiziente Steuerung der globalen Tiergesundheitspolitik.

### 3.2.3 Risikokosten in Abhängigkeit des Risikomanagements

Die während des Betrachtungszeitraums, des Planungshorizonts der globalen Veterinärbehörde, anfallenden Risikokosten sind eine Zufallsvariable. Wir bezeichnen ihren Barwert zu Beginn des Betrachtungszeitraumes mit  $X$ . Das Tierseuchenrisiko wird durch die Verteilungsfunktion  $F(x)$  der Risikokosten beschrieben. Die Risikokostenverteilung  $F(x)$  gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit  $P$  sich die direkten Risikokosten während des Betrachtungszeitraumes höchstens in Höhe von  $x$  realisieren, das heißt  $F(x) = P(X \leq x)$ .

Die Risikokosten können wie in Tabelle 3.1 den Präventions- oder den Reaktions-

---

<sup>57</sup>Vgl. National Audit Office [2002], S. 82, 88.

kosten zugeordnet werden bzw. als Summe der Zufallsvariablen der Präventions- und Reaktionskosten aufgefasst werden. Die Streuung der *Präventionskosten* ist relativ gering, ihre Höhe hängt nahezu deterministisch von den Präventionsmaßnahmen ab. Nur ein kleiner Teil der Präventionskosten hängt von zufälligen epizootiologischen Ereignissen ab, zum Beispiel die Kosten für präventive betriebliche Biosicherheitsmaßnahmen, die während eines Produktionsstillstands in einem von Not- oder Präventivschlachtungen betroffenen Betrieb entfallen. Da die Ausbrüche hochinfektiöser Tierseuchen zumeist regional und zeitlich begrenzt sind, ist die durch zufällige epizootiologische Ereignisse bedingte Variation der Präventionskosten innerhalb eines fest vorgegebenen Betrachtungszeitraums in der Regel sehr gering. Dagegen weisen die *Reaktionskosten* eine starke Abhängigkeit von den zufälligen epizootiologischen Ereignissen auf. Je nachdem, welche, wie viele und wo während des Betrachtungszeitraums hochinfektiöse Tierseuchen im Nutztierbestand ausbrechen und wie die Seuchenbekämpfung verläuft, schwanken die Reaktionskosten zwischen sehr geringen und extremen Ausprägungen.

Die Verteilungsfunktion  $F(x)$  ist auf dem Träger  $[x^{min}; x^{max}]$  definiert. Sowohl ihr Verlauf, als auch ihr Träger hängen stark davon ab, welche Präventionsmaßnahmen bei Seuchenfreiheit durchgeführt werden und welche Reaktionsmaßnahmen beim Ausbruch einer hochinfektiösen Tierseuche bzw. bei einem epizootiologisch relevanten Ereignis implementiert werden. Die Basis-Reproduktionsrate eines Seuchenausbruchs hat zum Beispiel einen maßgeblichen Einfluss darauf, in welcher Höhe sich Reaktionskosten im Falle eines Seuchenausbruchs realisieren.  $R_0$  hängt nicht nur von den Eigenschaften eines Krankheitserregers, sondern auch von den in den Betrieben eingehaltenen Biosicherheitsstandards der Gegend ab, in der ein Indexfall auftritt. Auch die dortige Intensität der Tierproduktion spielt eine entscheidende Rolle. Die Wahrscheinlichkeiten und Ausmaße der Verbreitung einer Seuche in andere Regionen hängen von den regionalen Biosicherheitsmaßnahmen sowie von den Intensitäten in Regionen ab, die in Kontakt mit der Seuchenausbruchsregion stehen. Einen entscheidenden Einfluss auf die Verteilung der Reaktionskosten hat zudem die Qualität der Seuchenbekämpfung. Zunächst beeinflussen die Maßnahmen zur Erreichung einer frühzeitigen Meldung von Seuchenverdachtsfällen die Verteilung der Länge des Zeitraumes bis zur Entdeckung eines Seuchenausbruchs. Erst dann können Seuchenbekämpfungsmaßnahmen überhaupt ergriffen werden. Dabei zählt die Qualität dieser Maßnahmen ebenso wie die Geschwindigkeit, mit der sie durchgesetzt werden.

Die Auswirkungen des Risikomanagements auf Lage und Verlauf der Verteilungsfunktion der direkten Risikokosten werden in Abbildung 3.1 skizziert. Wir nehmen dabei an, dass die Zufallsvariable der Risikokosten durch eine stetige Verteilungsfunktion beschrieben werden kann. Dies impliziert, dass keine positiven Punktwahrscheinlichkeiten für bestimmte Realisationen der Risikokosten bestehen. Stattdessen liegen nur Wahrscheinlichkeiten dafür vor, dass sich Risikokosten innerhalb von In-

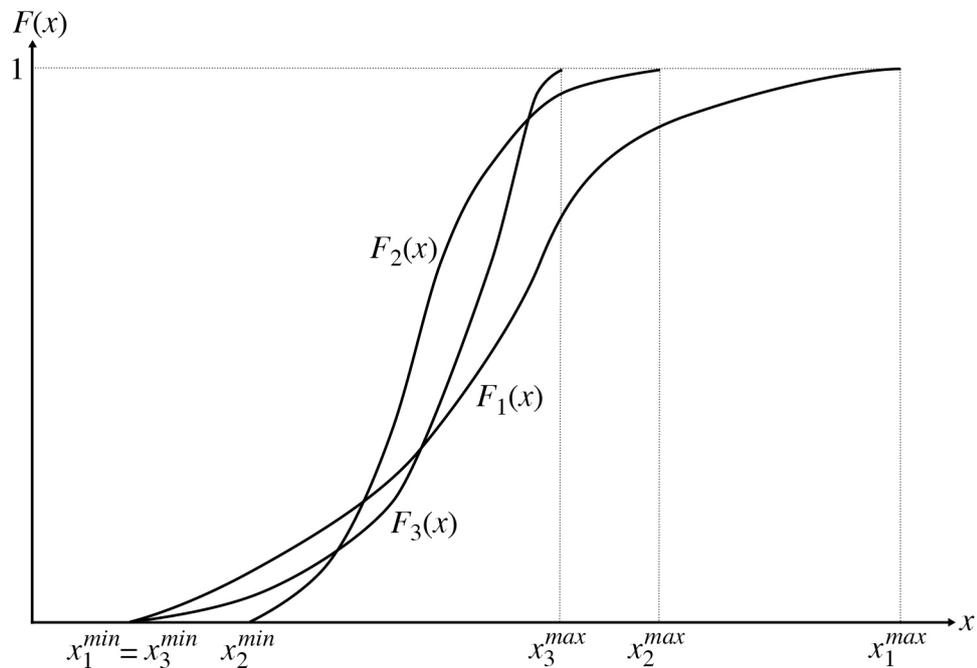
tervallen realisieren.<sup>58</sup> Die Verteilungsfunktion  $F_1(x)$  mit dem Träger  $[x_1^{min}; x_1^{max}]$  dient als Referenz, wobei der Index 1 eine bestimmte Risikomanagementstrategie kennzeichnet. Die Verteilungsfunktion  $F_2(x)$  skizziert den Effekt einer Intensivierung der Präventionsmaßnahmen im Vergleich zu dem Referenzniveau. Eine Intensivierung der Prävention kann beispielsweise durch eine verbesserte Notfallvorbereitung, eine Reduktion der Transportintensität oder durch erhöhte Biosicherheitsstandards in der Tierproduktion erreicht werden. Dadurch wird es wahrscheinlicher, dass eine relativ geringe Anzahl von Seuchenausbrüchen im Betrachtungszeitraum stattfindet. Zudem wird es wahrscheinlicher, dass sich relativ geringe Reaktionskosten realisieren, wenn es zu einem Seuchenausbruch kommt. Ursache davon ist, dass eine intensivierte Prävention geringere Kontaktraten in der Tierproduktion impliziert. Falls es zu einem Seuchenausbruch kommt, ist die erwartete Verbreitung der Seuche zum Zeitpunkt der Seuchenentdeckung geringer, was das Ausmaß des Seuchenzuges *ceteris paribus* reduziert.  $F_2(x)$  weist also mehr Wahrscheinlichkeitsmasse im Bereich geringer Risikokostenrealisationen als  $F_1(x)$  auf. Zudem reduziert sich das Ausmaß maximal möglicher Risikokosten, was  $x_2^{max} < x_1^{max}$  impliziert. Gleichzeitig erhöhen sich jedoch die Präventionskosten durch die Intensivierung der Prävention. Bei äußerst günstigen epizootiologischen Geschehnissen während des Betrachtungszeitraums fallen höhere Risikokosten als beim der Verteilung  $F_1(x)$  zugrunde liegenden Risikomanagement an. Die untere Begrenzung des Trägers der Verteilungsfunktion verschiebt sich dadurch nach rechts, das heißt  $x_2^{min} > x_1^{min}$ .

Die Verteilungsfunktion  $F_3(x)$  skizziert die Auswirkung einer Intensivierung der Reaktionsmaßnahmen im Vergleich zum Referenzniveau, zum Beispiel durch eine Ausweitung von Präventivschlachtungen und Restriktionen bei der Entdeckung von Seuchenausbrüchen. Dadurch wird die Gefahr katastrophaler Seuchen vermindert, das heißt die Wahrscheinlichkeitsmasse von extrem hohen Realisationen der direkten Risikokosten sowie die rechte Begrenzung des Trägers der Verteilung sinken ab. Damit gilt:  $x_3^{max} < x_1^{max}$ . Auf die linke Begrenzung des Trägers der Verteilungsfunktion hat die marginale Intensivierung der Reaktionsmaßnahmen dagegen keinen Effekt, da sehr geringe Realisationen der Risikokosten nur dann zustande kommen, wenn sehr wenige, relativ harmlose Ereignisse eintreten, so dass von den im Vergleich zum Referenzniveau intensivierten Reaktionsmaßnahmen kaum Gebrauch gemacht werden muss. Allerdings verursacht die Intensivierung der Reaktionsmaßnahmen *ceteris paribus* höhere Reaktionskosten bei Seuchenausbrüchen, die auch mit Hilfe einer weniger intensiven Seuchenbekämpfung effektiv eingedämmt worden wären. Die In-

<sup>58</sup>Da die Risikokosten bei Seuchenfreiheit ausschließlich von den Präventionsmaßnahmen abhängen, erscheint die Annahme stetiger Verteilungsfunktionen unrealistisch, wenn die Eintrittswahrscheinlichkeit des Umweltzustands der Seuchenfreiheit positiv ist. Liegt der Betrachtungszeitraum in der Größenordnung einiger Monate oder Jahre, kann davon ausgegangen werden, dass die Wahrscheinlichkeit der Seuchenfreiheit bzw. des Nicht-Eintritts epizootiologisch relevanter Umweltzustände, die Reaktionsmaßnahmen erfordern oder Verluste hervorrufen, vernachlässigbar gering ist. Somit ist die Veranschaulichung der globalen direkten Risikokosten hochinfektiöser Tierseuchen mit Hilfe stetiger Verteilungsfunktionen adäquat.

tensivierung der Reaktionsmaßnahmen verschiebt daher Wahrscheinlichkeitsmasse von sehr kleinen und sehr großen Ausprägungen in Richtung mittlerer Realisationen der Risikokosten. Eine ähnliche Wirkung würde auch von einer Abkehr von der Stamping-Out Politik zugunsten einer durch Notimpfungen unterstützten Strategie der Seuchenbekämpfung ausgehen. Die in Folge von Notimpfungen durch Importationen verhängten temporären Exportverbote implizieren hohe Reaktionskosten. Gleichzeitig können dadurch die Wahrscheinlichkeit eines katastrophalen Seuchenzuges und somit extrem hohe Risikokosten verhindert werden, wenn die Verbreitung der Tierseuche mit Hilfe von Notimpfungen effektiver als durch Präventivschlachtungen unterbunden werden kann.

Abbildung 3.1: Skizzierter Effekt des Risikomanagements auf die Risikokosten



Die Lage und der Verlauf der Verteilungsfunktion der direkten Risikokosten können also von der globalen Veterinärbehörde über das implementierte Risikomanagement wesentlich beeinflusst werden. Das Ziel der sozialen Planungsinstanz besteht darin, jederzeit genau die Kombination aus Präventions- und Reaktionsmaßnahmen durchzuführen, die zur Minimierung des Barwerts der erwarteten direkten Risikokosten  $\mathbb{E}[x]$  während des Betrachtungszeitraumes führt.

### 3.3 Modellierung der Risikokosten

Die Minimierung der erwarteten Risikokosten ist eine eindeutige und operationalisierbare Zielvorgabe für die soziale Planungsinstanz. Ihre Umsetzung erfordert die

Entwicklung eines Risikokostenmodells, das vom realen wirtschaftlich-biologischen System der Tierproduktion, des Handels, des Verkehrs und des Wildtierlebens auf die Modellebene abstrahiert und dadurch eine umfassende Komplexitätsreduktion ermöglicht. Trotz dieser Vereinfachung sollen die wesentlichen Determinanten der Entstehung von Risikokosten im Modell enthalten sein, so dass eine Abbildung des Zusammenhangs zwischen Risikomanagement und Risikokosten erreicht wird.<sup>59</sup> Das im Modell abgebildete wirtschaftlich-biologische System muss in der Lage sein, verschiedene Zustände in Bezug auf die Verbreitung hochinfektiöser Tierseuchen innerhalb von Wild- und Nutztierbeständen anzunehmen, da das Risiko und die Risikokosten ganz wesentlich davon abhängig sind. Zudem ist in dieser Modellierung der epizootiologischen Dynamik eine explizite Berücksichtigung des Zufalls notwendig, denn es besteht kein deterministischer Zusammenhang zwischen dem Eintreten bzw. der Abfolge risikorelevanter Zustände und dem Risikomanagement.

Angesichts dieser Anforderungen ist die stochastische Kontrolltheorie das naheliegende theoretische Fundament zur Entwicklung eines Risikokostenmodells. Abschnitt 3.3.1 widmet sich diesem analytischen Ansatz, der zwar eine adäquate formale Darstellung des Kaldor-Hicks effizienten Risikomanagements unter Berücksichtigung der Dynamik epizootiologischer Prozesse ermöglicht, letztlich aber kein praktikables Instrument zur Steuerung des Tierseuchen-Risikomanagements einer globalen Veterinärbehörde darstellt. In den darauf folgenden Abschnitten wird deshalb unter dem Begriff der epizootiologischen Risikokostenmodellierung ein alternatives Modell entwickelt, das auf aus der veterinärmedizinischen Literatur bekannten Modellen zur Abbildung des Risikos infektiöser Tierseuchen basiert. In Abschnitt 3.3.2 werden die Grundlagen dieser Modellierung erläutert. Daraufhin wird das epizootiologische Risikokostenmodell entwickelt (Abschnitt 3.3.3). Abschließend wird die Eignung dieses Modells als Steuerungsinstrument der globalen Veterinärbehörde in Abschnitt 3.3.4 bewertet.

### 3.3.1 Effizientes Risikomanagement als stochastisches Kontrollproblem

In der Kontrolltheorie werden Systeme anhand von Zustandsvariablen beschrieben und nach Kontrollvariablen optimiert.<sup>60</sup> Wir gehen von einem zeitstetigen, endlichen Betrachtungszeitraum  $[t_0; T]$  aus, wobei  $t_0$  den gegenwärtigen Zeitpunkt bzw. den Beginn und  $T$  das Ende des Betrachtungszeitraums bezeichnet.<sup>61</sup> Die erwarteten Risikokosten  $\mathbb{E}[x]$ , die während des Betrachtungszeitraums  $[t_0; T]$  anfallen, sind vom epizootiologischen Zustand und von der Kontrolle in Form von Risikomanagementmaßnahmen abhängig. Wir bezeichnen den epizootiologischen Zustand des betrach-

<sup>59</sup>Vgl. Tildesley und Keeling [2008], S. 107.

<sup>60</sup>Vgl. Kamien und Schwartz [1991], S. 121.

<sup>61</sup>Wir sehen hier und im Weiteren von einer Berücksichtigung der nach  $T$  anfallenden Risikokosten ab. Die Modellierung bezieht sich deshalb auf einen sehr langen Betrachtungszeitraum, so dass die nach  $T$  anfallenden Risikokosten schon allein aufgrund der Diskontierung unbedeutend sind.

teten Systems zum Zeitpunkt  $t$  mit  $y(t)$ , wobei der Ausgangszustand  $y(t_0)$  bekannt ist. Der Zustand ist eine mehrdimensionale Variable, deren Elemente die Präsenz hochinfektiöser Tierseuchen im Wild- und Nutztierbestand einzelner Gebiete zum Zeitpunkt  $t$  angeben. Die Kontrolle bzw. das Risikomanagement zum Zeitpunkt  $t$  wird mit  $c(t)$  bezeichnet. Auch die Risikomanagementfunktion ist mehrdimensional. Ihre Elemente stehen für die in bestimmten Gebieten durchgeführten Präventions- und Reaktionsmaßnahmen. Der Wert eines Elements entspricht der Intensität, mit der die entsprechende Maßnahme zum Zeitpunkt  $t$  durchgeführt wird.

Die epizootiologische Entwicklung lässt sich als steuerbare stochastische Differentialgleichung darstellen:<sup>62</sup>

$$dy(t) = g(y(t), c(t), t)dt + \sigma(y(t), c(t), t)dz(t) \quad (3.1)$$

In Gleichung (3.1) ergibt sich die epizootiologische Entwicklung als die Summe aus dem deterministischen Term  $g(y(t), c(t), t)dt$  und dem stochastischen Term  $\sigma(y(t), c(t), t)dz(t)$ . Der deterministische Term beschreibt einen angesichts der zum Zeitpunkt  $t$  vorherrschenden Verbreitung von Krankheitserregern und des implementierten Risikomanagements  $c(t)$  erwartbaren Trend des epizootiologischen Zustands. Die epizootiologische Entwicklung wird aber auch von zufälligen Einflüssen bestimmt, die durch den stochastischen Term wiedergegeben werden. Der Multiplikator  $dz(t)$  ist eine zufällige Veränderung, die mit Hilfe eines stochastischen Prozesses  $Z(t)$  modelliert wird.<sup>63</sup> Die Dimension des stochastischen Prozesses entspricht der Dimension des epizootiologischen Zustands. Durch Multiplikation mit  $\sigma(y(t), c(t), t)$  wird berücksichtigt, dass die Diffusion des epizootiologischen Zustands im Zeitpunkt  $t$  vom Zustand  $y(t)$  und vom Risikomanagement  $c(t)$  abhängt. Die epizootiologische Entwicklung ist durch die Formulierung (3.1) ein zufälliger Prozess  $Y(t)$ . Zwischen den einzelnen Elementen des Zufallsvektors  $Z(t)$  sind geeignete Abhängigkeiten festzulegen.<sup>64</sup>

Unter Verwendung der Abbildungen  $y(t)$  und  $c(t)$  kann eine Risikokostenfunktion  $\tilde{x}(y(t), c(t), t)$  formuliert werden, welche die im Zustand  $y(t)$  und unter Anwendung des Risikomanagements  $c(t)$  im Zeitpunkt  $t$  anfallenden Risikokosten beschreibt. Das Risikomanagement kann von der sozialen Planungsinstanz im Rahmen ihrer technischen Möglichkeiten vorgegeben werden. So ist es möglich, im Zeitpunkt  $t$  das Risikomanagement  $c(t) \in C$  zu implementieren. Wir bezeichnen  $C$  als den Kontroll-

<sup>62</sup>Wir verzichten auf eine wahrscheinlichkeitstheoretische Fundierung der stochastischen Größen im hier beschriebenen Kontrollproblem. Ein detaillierter Überblick dazu findet sich in Yong und Zhou [1999], S. 15-21.

<sup>63</sup>Glasserman [2004], S. 79-184 enthält eine Definition sowie ausführliche Beschreibungen verschiedener stochastischer Prozesse.

<sup>64</sup>Unabhängigkeit liegt zum Beispiel zwischen den Variablen vor, die sich auf verschiedene Tierseuchen beziehen, für die unterschiedliche Tierarten empfänglich sind. Positive Korrelationen erscheinen beispielsweise zwischen den Zufallselementen von  $Y(t)$  sinnvoll, welche die Präsenz gleicher Tierseuchen in benachbarten Gebieten beeinflussen.

raum.<sup>65</sup> Die Kontrolle  $c(t)$  wird an den vorherrschenden Zustand  $y(t) \in Y$  angepasst, der ein Element des Zustandsraumes  $Y$  ist.<sup>66</sup> Man bezeichnet die permanente Anpassung des Risikomanagements an den epizootiologischen Zustand als *Feedback Kontrolle*.<sup>67</sup> Das Risikomanagement wird in Abhängigkeit des Zustands und der Zeit, also für jedes Tupel  $(y(t), t)$  bestimmt. Das Risikomanagement bei Feedback Kontrolle liegt demnach in Form von einer Abbildung  $\Psi : (y(t), t) \rightarrow c(y(t), t)$  vor, die wir als *Risikomanagementstrategie* bezeichnen.

Die stochastische Kontrolltheorie ermöglicht die explizite Darstellung der optimalen Risikomanagementstrategie  $\Psi^*(y(t), t)$ . Wir verwenden dazu die Wertfunktion  $\mathbb{V}[y(\tau), \tau, T]$ . Diese gibt den minimalen Erwartungswert der auf den Zeitpunkt  $\tau$  abgezinsten<sup>68</sup> Risikokosten an, der sich bei Implementierung des optimalen Risikomanagements im Intervall  $[\tau; T]$  ergibt, wenn im Zeitpunkt  $\tau$  der Zustand  $y(\tau)$  besteht:

$$\mathbb{V}[y(\tau), \tau, T] = \inf_{\Psi} \mathbb{E} \left[ \int_{\tau}^T e^{-r \cdot (t-\tau)} \tilde{x}(y(t), \Psi(y(t), t), t) dt \right] \quad (3.2)$$

Die optimale Risikomanagementstrategie  $\Psi^*(y(t), t)$  lautet unter Verwendung von (3.2):

$$\Psi^*(y(t), t) = \arg \min_{c(t)} \left[ \lim_{\tau \rightarrow t} \mathbb{E} \left[ \int_t^{\tau} e^{-r \cdot (t'-t)} \tilde{x}(y(t'), c(t'), t') dt' + e^{-r \cdot (\tau-t)} \mathbb{V}[y(\tau), \tau, T] \right] \right] \quad (3.3)$$

Dieser Ansatz basiert auf dem aus der dynamischen Programmierung bekannten Optimalitätsprinzip von BELLMAN.<sup>69</sup> Das Modell kann durch Ableitung der HAMILTON-JACOBI-BELLMAN Gleichung aus (3.2), einer partiellen Differentialgleichung zweiter Ordnung, und unter Angabe einer Endbedingung für den Zeitpunkt  $T$  gelöst werden.<sup>70</sup> Dazu müssen verschiedene Anforderungen an die Risikomanagementfunktion  $c(t)$  und an die Stetigkeit und Differenzierbarkeit der Funktionen  $x$ ,  $g$  und  $\sigma$  erfüllt sein.<sup>71</sup> Zudem müssen der hier nicht näher spezifizierte stochastische Prozess  $Z(t)$  sowie die Wertfunktion  $\mathbb{V}[y(\tau), \tau, T]$  eine Reihe von Anforderungen

<sup>65</sup>Bei einer  $b$ -dimensionalen Kontrollfunktion  $c(\cdot)$ ,  $b \in \mathbb{N}$ , gilt  $C \subseteq \mathbb{R}^b$ .

<sup>66</sup>Bei einem  $a$ -dimensionalen Zustandsvektor  $y(\cdot)$ ,  $a \in \mathbb{N}$ , gilt  $Y \subseteq \mathbb{R}^a$ .

<sup>67</sup>Vgl. Aström und Murray [2008], S. 1-23.

<sup>68</sup>Aufgrund der Annahme der vollkommenen Versicherung des Tierseuchenrisikos auf individueller Ebene verwenden wir den risikofreien Zinssatz  $r$  zur Diskontierung zukünftiger Risikokosten, von dem wir annehmen, dass er während des Betrachtungszeitraums konstant ist und aus einer flachen Zinsstruktur hervorgeht.

<sup>69</sup>Vgl. Yong und Zhou [1999], S. 180-182.

<sup>70</sup>Vgl. Yong und Zhou [1999], S. 182.

<sup>71</sup>Vgl. Kamien und Schwartz [1991], S. 121, 125 f. und Yong und Zhou [1999], S. 177, 183. Eine ausführliche Darstellung analytischer Lösungen kontrolltheoretischer Probleme und des Umgangs mit Hindernissen, zum Beispiel mit Unstetigkeiten der Risikomanagementfunktion, findet sich in Kamien und Schwartz [1991], S. 119-271.

erfüllen.<sup>72</sup>

Die stochastische Kontrolltheorie ermöglicht die formale Darstellung der optimalen Risikomanagementstrategie  $\Psi^*(y(t), t)$ . Zur Steuerung des Tierseuchen-Risikomanagement durch die globale Veterinärbehörde ist sie jedoch ungeeignet. Abgesehen von den mathematischen Voraussetzungen an die Funktionen des Optimierungsproblems ist die mit der Hochdimensionalität<sup>73</sup> des Zustandsraums  $Y$  und des Kontrollraums  $C$  verbundene Komplexität schon bei der Modellformulierung so groß, dass eine erfolgreiche Entwicklung und Verwendung als Steuerungsinstrument der globalen Veterinärbehörde aussichtslos erscheint. Deshalb wird in den folgenden Abschnitten ein alternativer Ansatz zur Modellierung der Risikokosten und zur Ermittlung der effizienten Risikomanagementstrategie entwickelt, den wir als epizootiologische Risikokostenmodellierung bezeichnen.

### 3.3.2 Grundlagen der epizootiologischen Risikokostenmodellierung

Es ist zunächst naheliegend, die Komplexität bei der Abbildung des Zusammenhangs zwischen Risikokosten und Risikomanagement durch die Unterteilung des Kontrollraums zu reduzieren, und die Vorteilhaftigkeit bzw. die optimale Intensität einzelner Risikomanagementmaßnahmen oder Maßnahmenpakete in Form von *Kosten-Nutzen Analysen* zu untersuchen.<sup>74</sup> Kosten-Nutzen Analysen sind ein sehr populäres Steuerungsinstrument in der Politik. Sie führen zu richtigen Ergebnissen, wenn im Rahmen der Kosten- und Nutzengröße alle relevanten Auswirkungen der zu beurteilenden Aktivität berücksichtigt werden, und wenn die der Analyse immanente *ceteris paribus* Annahme hinsichtlich aller übrigen Aktivitäten unkritisch ist. Genau dies ist jedoch bei der Analyse einzelner Maßnahmen oder Maßnahmenpakete des Risikomanagements hochinfektiöser Tierseuchen aufgrund der Interdependenzen im Allgemeinen nicht gegeben. Als Beispiel betrachten wir die Entwicklung eines Informationssystems zur Erfassung von Tiertransporten. Bei Entdeckung eines Seuchenausbruchs kann dadurch die Identifikation, Diagnose und gegebenenfalls die Beseitigung von Kontaktherden erheblich beschleunigt werden, was zur Absenkung von Infektionsraten führt. Der Nutzen dieses Informationssystems hängt aber unter anderem von den Transportintensitäten und den Intensitäten der Tierproduktion der Tierproduktion bei den bis zur Entdeckung des Primärausbruchs infizierten Betrieben und von den Produktionsprozessen in den Kontaktbetrieben ab, also davon, mit welcher Intensität andere Maßnahmen des Risikomanagements durchgeführt werden. Die Vorteilhaftigkeit der Entwicklung eines Informationssystems zur Erfassung von Tiertransporten kann im Rahmen einer Kosten-Nutzen Analyse nicht adäquat beurteilt werden, es sei denn, sie umfasst sämtliche interdependente Risikomanagementmaßnahmen. Dies führt aber schnell wieder zu einer Komplexität,

---

<sup>72</sup>Vgl. Korn und Korn [1999], S. 59, 265, 270f.

<sup>73</sup>Die hohe Dimensionalität ergibt sich aus der räumlichen und erregerspezifischen Differenzierung bzw. aus der Vielzahl an Risikomanagementmaßnahmen.

<sup>74</sup>Vgl. Dijkhuizen et al. [1995], S. 138-140.

deren Vermeidung die Durchführung von Kosten-Nutzen Analysen überhaupt erst motiviert hat.

Die in Bezug auf den Raum, die Zeit, die Präventions- und Reaktionsmaßnahmen bestehenden Interdependenzen des Tierseuchenrisikos bzw. der Risikokosten legen den Schluss nahe, dass eine angemessene Reduktion der Komplexität in der Risikokostenmodellierung im Rahmen analytischer Techniken nicht erreicht werden kann. Die epizootiologische Risikokostenmodellierung, die auf aus der veterinärmedizinischen Literatur bekannten Ansätzen aufbaut, ist deshalb *simulationsbasiert*. Diese von analytischen Ansätzen grundverschiedene Herangehensweise wird in Abschnitt 3.3.2.1 vorgestellt. Ein weiteres Merkmal der epizootiologischen Risikokostenmodellierung ist die räumliche Unterteilung des untersuchten wirtschaftlich-biologischen Systems, die in Abschnitt 3.3.2.2 erläutert wird. Ein Überblick über den Aufbau der epizootiologischen Risikokostenmodellierung (Abschnitt 3.3.2.3) schließt diesen Grundlagenabschnitt ab.

### 3.3.2.1 Systemsimulation als Modellansatz

Die Systemsimulation basiert auf einer mathematischen Abbildung der Tierproduktion. Die risikorelevanten Faktoren stellen die Inputgrößen des Simulationsmodells dar,<sup>75</sup> zum Beispiel die Anzahl direkter und indirekter Kontakte sowie Übertragungswahrscheinlichkeiten von Krankheiten beim Zustandekommen von Kontakten. Eine Risikomanagementstrategie beeinflusst die Ausprägungen dieser Risikofaktoren. Die Risikomanagementmaßnahmen stehen damit nicht wie bei der Kosten-Nutzen Analyse im Mittelpunkt des Modells, beeinflussen aber neben weiteren, exogenen Faktoren das Verhalten des Systems.

Die Bezeichnung Systemsimulation indiziert, dass die Outputgröße der Risikokosten im Rahmen eines stochastischen Modells abgebildet und mit Hilfe von Simulationen berechnet wird. Stochastische Modelle zeichnen sich dadurch aus, dass für die Inputgrößen oder zumindest für einen Teil der Inputgrößen Annahmen hinsichtlich ihrer Wahrscheinlichkeitsverteilung zugrunde gelegt werden.<sup>76</sup> Der Eintritt risikorelevanter Ereignisse, zum Beispiel dass die Durchseuchung einer Rinderherde mit MKS eine Woche nach Seucheneinschleppung noch unerkannt ist, ist damit Ergebnis eines Zufallsprozesses.<sup>77</sup> Nach einer großen Anzahl von Simulationen, in denen die stochastischen Inputgrößen zufällige Werte gemäß ihren Wahrscheinlichkeitsverteilungen annehmen, erhält man eine Risikokostenverteilung als Outputgröße. Nach dem Gesetz der großen Zahlen tendiert diese Verteilung bei steigender Anzahl von Simulationen gegen die wahre Verteilung des Modells.<sup>78</sup> Aus dieser Verteilung kann dann der Erwartungswert errechnet werden.

---

<sup>75</sup>Vgl. Dijkhuizen et al. [1995], S. 140.

<sup>76</sup>Vgl. Dijkhuizen et al. [1995], S. 138.

<sup>77</sup>Vgl. Green und Medley [2002]. S. 202.

<sup>78</sup>Vgl. Glasserman [2004], S. 1.

Der Vorteil der Systemsimulation liegt zum einen in der automatischen Berücksichtigung der Interdependenzen des Risikomanagements.<sup>79</sup> Wird wie im obigen Beispiel die Implementierung eines Informationssystems zur Erfassung von Tiertransporten geprüft, kann im Rahmen der Systemsimulation nicht nur die durch diese Maßnahme *ceteris paribus* resultierende Veränderung der erwarteten Risikokosten ermittelt werden. Es ist gleichzeitig möglich, den Nutzen des Informationssystems in Abhängigkeit veränderter Transport- oder Produktionsintensitäten zu ermitteln, die durch die Implementierung des Informationssystems oder durch andere Trends wie Marktöffnungen ausgelöst werden können. Ein weiterer Vorteil der Systemsimulation ist, dass die Auswirkungen beliebiger Risikomanagementmaßnahmen, für die keine empirischen Erfahrungen vorliegen, an einem mathematisch abgebildeten Tierproduktionssystem getestet werden können.<sup>80</sup> Dazu müssen lediglich die im Modell verwendeten Parameterwerte bzw. Verteilungen der Risikofaktoren an die zu Testzwecken veränderte Risikomanagementstrategie angepasst werden. Schließlich erlaubt die Systemsimulation die einfache Berücksichtigung von Variationen und Korrelationen zwischen risikorelevanten Faktoren des Tierproduktionssystems.<sup>81</sup>

### 3.3.2.2 Regionalität der Modellierung

Das simulierte Tierproduktionssystem wird anhand von Risikofaktoren spezifiziert. Es muss deshalb in Bezug auf die Ausprägungen der berücksichtigten Risikofaktoren einigermaßen homogen sein. Dies impliziert, dass nur ein regional abgegrenztes Tierproduktionssystem Gegenstand eines Modells sein kann, da ausgeprägte regionale Unterschiede in der Risikosituation bestehen. Offensichtlich ist zum Beispiel, dass sich das Risiko eines KSP-Ausbruchs in den Teilen Deutschlands, in denen KSP im Wildschweinbestand endemisch ist, grundsätzlich von dem Risiko in Skandinavien unterscheidet, wo eine Erstinfektion des Nutztierbestands durch Kontakte mit Wildtieren gar nicht möglich ist. Auch das Risiko der hochpathogenen Vogelgrippe unterscheidet sich regional. H5N1 ist zum Beispiel in vielen Regionen Asiens endemisch, andere Regionen sind durch Zugvogelverkehr erhöhten Risiken ausgesetzt. Südlich des Äquators ist H5N1 dagegen, mit Ausnahme Indonesiens, noch nie nachgewiesen worden.<sup>82</sup> Zudem liegen regionale Unterschiede bezüglich der Tierproduktionsstruktur vor. Der Primärausbruch von MKS hätte zum Beispiel im Süden der Niederlande *ceteris paribus* weitaus höhere Folgen als im Norden des Landes, wo eine weniger intensive Landwirtschaft betrieben wird.<sup>83</sup> Zudem wird das Tierseuchenrisiko von klimatischen Bedingungen beeinflusst,<sup>84</sup> die sich regional stark unterscheiden

<sup>79</sup>Vgl. Dijkhuizen et al. [1995], S. 140.

<sup>80</sup>Vgl. Karsten und Krieter [2005], S. 184.

<sup>81</sup>Vgl. Horst et al. [1999], S. 210.

<sup>82</sup>Fraglich ist jedoch, ob H5N1 südlich des Äquators fast nicht auftritt, oder ob fehlende Anstrengungen der regionalen Veterinärbehörden zur Isolation von H5N1 die Ursache dafür sind. Vgl. Yee et al. [2009], S. 335.

<sup>83</sup>Vgl. Meuwissen et al. [2003].

<sup>84</sup>Vgl. Albihn und Vinneras [2007], S. 237.

können. Die simulationsbasierte Modellierung der Risikokosten erfordert deshalb die Entwicklung eigener Modelle für alle Regionen.

Die regionale Abgrenzung sollte so gewählt werden, dass die Regionen im Hinblick auf die Risikofaktoren möglichst homogen sind. Sie kann sich an Ländergrenzen orientieren, weil die Homogenität innerhalb von nationalen Grenzen größer als in grenzüberschreitenden Regionen sein kann, oder weil sich die Risikosituation aufgrund von internationalen Handelsbeschränkungen an Landesgrenzen differenziert. In der Europäischen Union ist dies jedoch nicht der Fall. Die regionale Abgrenzung der Risikokostenmodellierung ergibt sich dann insbesondere aus Produktionsstrukturen und Handelsbeziehungen, aber auch aus geographischen Barrieren wie Gebirgen oder Flüssen.

### 3.3.2.3 Aufbau der Modellierung

Wir folgen dem Vorschlag von HORST [1998, S. 2], der die Zusammensetzung eines regionalen Risikokostenmodells aus drei Komponenten empfiehlt. Der erste Baustein ist das *Seucheneinschleppungsmodell*. Es dient der Ermittlung einer Wahrscheinlichkeitsverteilung für die Anzahl an Indexfällen einer bestimmten Tierseuche im Nutztierbestand der betrachteten Region während des Betrachtungszeitraums.<sup>85</sup> Zweitens enthält jedes regionale Risikokostenmodell ein *Seuchenausbreitungsmodell*, das die Infektionsdynamik unter der Bedingung des Indexfalls abbildet.<sup>86</sup> Wir fassen die Abbildung der Seucheneinschleppung und der Seuchenausbreitung unter dem Begriff der *epizootiologischen Modellierung* zusammen. Diese ist nicht nur regional orientiert, sondern auch *erregerspezifisch*, da die Gefahr der Einschleppung oder Ausbreitung einer Tierseuche stark von den Eigenschaften des Krankheitserregers wie von der Art der empfänglichen Population und der Virulenz des Erregers abhängig ist.<sup>87</sup> Jedes Seucheneinschleppungsmodell (SEM) und jedes Seuchenausbreitungsmodell (SAM) bezieht sich demnach nur auf eine bestimmte hochinfektiöse Tierseuche  $j$ ,  $j \in \{1, \dots, J\}$  sowie auf eine konkrete Region  $k$ ,  $k \in \{1, \dots, K\}$ . Im Rahmen der epizootiologischen Modellierung müssen daher höchstens  $K \cdot J$  SEM <sub>$j$  $k$</sub>  und eine gleich hohe Anzahl SAM <sub>$j$  $k$</sub>  entwickelt werden.

Die dritte Komponente der epizootiologischen Risikokostenmodellierung bezeichnen wir als *Kostenmodell*. Es dient der Berechnung der erwarteten Risikokosten  $\mathbb{E}[x]$  in Abhängigkeit der implementierten Risikomanagementstrategie und den dadurch induzierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen für Primärausbrüche und epizootiologische Szenarien, den Outputs der Modelle SEM <sub>$j$  $k$</sub>  und SAM <sub>$j$  $k$</sub> . Abbildung 3.2 bietet einen Überblick über den Aufbau der epizootiologischen Risikokostenmodellierung.

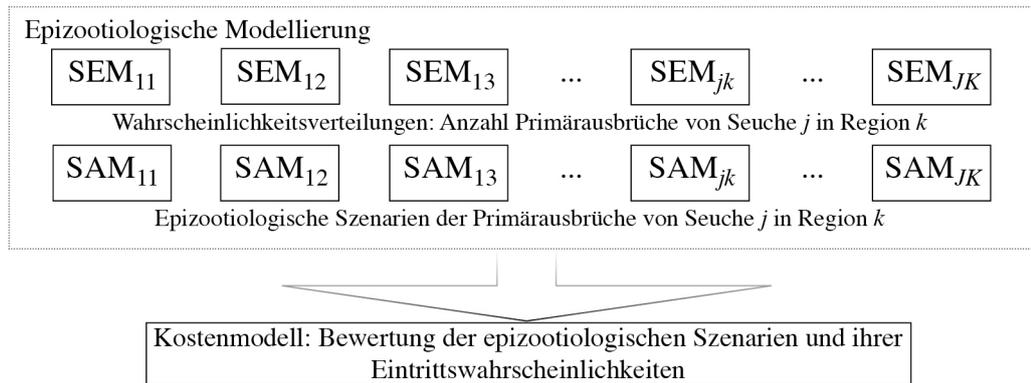
---

<sup>85</sup>Aus veterinärmedizinischer Sicht ist zwischen der Infektion und der Erkrankung zu unterscheiden, da eine Infektion nicht zwangsläufig zur Erkrankung führen muss. Seucheneinschleppungsmodelle bilden die Einschleppung eines Krankheitserregers in einer infektiösen Dosis ab, so dass eine Erkrankung und Weiterverbreitung möglich ist. Vgl. de Vos et al. [2008], S. 237.

<sup>86</sup>Vgl. Green und Medley [2002], S. 201.

<sup>87</sup>Vgl. Karsten und Krieter [2005], S. 180.

Abbildung 3.2: Aufbau der epizootiologischen Risikokostenmodellierung



### 3.3.3 Epizootiologische Risikokostenmodellierung

Im Vergleich zur Modellierung als stochastisches Kontrollproblem stellt die epizootiologische Risikokostenmodellierung eine erhebliche Vereinfachung dar. Insbesondere wird die Komplexität der Modellierung epizootiologischer Entwicklungen durch die Einschränkung auf eine Region und einen Erreger sowie durch die Trennung der Analyse der Seucheneinschleppung und der Seuchenausbreitung stark reduziert. Der veterinärmedizinisch-technische Zusammenhang zwischen epizootiologischer Entwicklung, Risikomanagement und Risikokosten ist bei einer Beschränkung auf einen Erreger und auf eine Region wesentlich einfacher abzubilden. Die epizootiologische Risikokostenmodellierung reduziert dadurch die Komplexität der Modellbildung. Die Informationsanforderungen an eine adäquate Risikokostenmodellierung bleiben jedoch unverändert hoch. Zudem muss in Anbetracht der regionalen Abgrenzung der Modelle sichergestellt werden, dass interregionale Interdependenzen berücksichtigt werden.

In den folgenden Abschnitten wird gezeigt, wie die simulationsbasierte Modellierung der Seucheneinschleppung (Abschnitt 3.3.3.1) und der Seuchenausbreitung (Abschnitt 3.3.3.2) aufgebaut ist. Dabei wird auf Modelle zurückgegriffen, die aus der veterinärmedizinischen bzw. agrarökonomischen Literatur bekannt sind und für konkrete Entscheidungssituationen im Tierseuchen-Risikomanagement konstruiert wurden. In diesen Modellen wird meist nur eine Maßnahme oder ein konkretes Maßnahmenpaket im Rahmen der Risikomanagementfunktion berücksichtigt. Der Konstruktionsansatz epizootiologischer Modelle ändert sich jedoch nicht, wenn eine gesamte Risikomanagementstrategie bzw. die der Prävention bzw. Bekämpfung der Tierseuche  $j$  in Region  $k$  gewidmeten Maßnahmen der Strategie  $\Psi(y(t), t)$  in den Modellen  $SEM_{jk}$  bzw.  $SAM_{jk}$  berücksichtigt werden. In Abschnitt 3.3.3.3 wird ein Kostenmodell entwickelt, in dem die Größe  $\mathbb{E}[x]$  aus den Outputgrößen der epizootiologischen Modellierung gewonnen wird. Abschließend wird die Optimierung im

epizootiologischen Risikokostenmodell analysiert (Abschnitt 3.3.3.4).

### 3.3.3.1 Seucheneinschleppungsmodellierung

Ziel des Modells  $SEM_{jk}$  ist die Ermittlung einer Wahrscheinlichkeitsverteilung für die Anzahl der Einschleppungen der hochinfektiösen Tierseuche  $j$  in den Nutztierbestand von Region  $k$  während des vorab festgelegten Betrachtungszeitraums  $[t_0; T]$  in Abhängigkeit der Risikomanagementstrategie  $\Psi(y(t), t)$ . In einem Seucheneinschleppungsmodell werden ausschließlich die Vorgänge abgebildet, die zur Seucheneinschleppung führen können. Eine simulationsbasierte Modellierung dieser Vorgänge vollzieht sich in folgenden Schritten:

- Identifikation von potentiellen Einschleppungswegen
- Bestimmung der Abfolge von Ereignissen, die zur Einschleppung über einen Einschleppungsweg führen
- Treffen von Annahmen zu den Eintrittswahrscheinlichkeiten der Ereignisse in Abhängigkeit des Risikomanagements
- Simulation der Ereignisabfolgen und Ermittlung der Verteilung der Anzahl an Seucheneinschleppungen durch Berücksichtigung der im Zeitraum  $[t_0; T]$  stattfindenden Einschleppungsgelegenheiten in Abhängigkeit des Risikomanagements

Die *Identifikation von Einschleppungswegen* erfolgt in der Regel durch Expertenbefragungen sowie durch empirische Erkenntnisse. Bei den hochinfektiösen Tierseuchen MKS und KSP ist der Import infizierter Tiere der bedeutendste Einschleppungsweg für Regionen in Mitteleuropa.<sup>88</sup> Auch der (direkte oder indirekte) Kontakt zwischen Nutztieren und Wildschweinen stellt in Regionen, in denen KSP endemisch ist, eine relevante Einschleppungsgelegenheit für diese Tierseuche dar.<sup>89</sup>

Die *Abfolge von Ereignissen*, deren Eintritte Bedingungen einer “erfolgreichen” Einschleppung über einen Einschleppungsweg sind, wird auch von Experten definiert. Wir betrachten als Beispiel einen Teil der Ereignisse, welche in dem Seucheneinschleppungsmodell von DE VOS et al. [2005] die Ereignisabfolge einer Einschleppung von KSP in den Nutztierbestand der Niederlande durch den Import von Schweinen bilden: Sie enthält unter anderem die Ereignisse, dass zum Zeitpunkt des Transports eine Infektion im Nutztierbestand der Exportregion vorliegt, dass diese zum Zeitpunkt des Transports unentdeckt ist, und dass ein infiziertes Tier transportiert wird.

Im nächsten Schritt geht es darum, *Annahmen über die Eintrittswahrscheinlichkeiten* dieser Ereignisse zu treffen. Die Wahrscheinlichkeit einer Infektion in einer

---

<sup>88</sup>Vgl. Nissen [2001], Horst et al. [1998] und Vos et al. [2005].

<sup>89</sup>Vgl. Nissen [2001].

Exportregion zum Zeitpunkt des Transports wird im Modell von DE VOS et al. [2005] als arithmetisches Mittel aus der Anzahl vergangener Ausbrüche ermittelt. Auch MARTÍNEZ-LÓPEZ et al. [2008], die die Einschleppung von MKS nach Spanien durch den Import von Tieren abbilden, verwenden empirische Daten, um Annahmen zur Wahrscheinlichkeit einer Infektion in Exportregionen zu treffen. Allerdings passen diese eine Gammaverteilung an die empirischen Ausbruchshäufigkeiten an.

Die Wahrscheinlichkeiten der Ereignisse in den Ereignisabfolgen von Einschleppungswegen müssen in Abhängigkeit des Risikomanagements festgelegt werden. Der Effekt vieler Präventionsmaßnahmen besteht im Rahmen eines Seucheneinschleppungsmodells darin, dass sie die Eintrittswahrscheinlichkeit einschleppungsrelevanter Ereignisse verändern. Zur Quantifizierung dieser Effekte muss größtenteils auf die Einschätzung von Experten zurückgegriffen werden.<sup>90</sup> Teilweise liegen aber auch Erkenntnisse auf Basis von veterinärmedizinischen Untersuchungen und Experimenten vor. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein mit KSP infiziertes Tier transportiert wird, obwohl ein serologischer Test vor dem Transport durchgeführt wird, kann zum Beispiel objektiv festgestellt werden. Die Empfänglichkeit von Tierarten für Krankheitserreger, nach Art des Kontaktes differenzierte Übertragungswahrscheinlichkeiten sowie das Überleben von Krankheitserregern unter verschiedenen klimatischen Bedingungen können zum Beispiel experimentell ermittelt werden.

Anschließend findet eine *Simulation der Ereignisabfolgen* statt. Wenn die Ereignisabfolgen genau so oft simuliert werden, wie Einschleppungswege im Zeitraum  $[t_0; T]$  besprochen werden bzw. Einschleppungsgelegenheiten stattfinden, erhält man als Ergebnis eine Ausprägung  $a_{jk}$  der Zufallsvariable  $A_{jk}$  der Anzahl an Einschleppungen der hochinfektiösen Tierseuche  $j$  in die Region  $k$ . Die Anzahl der Einschleppungsgelegenheiten während des Betrachtungszeitraums kann selbst als Zufallsvariable in das Modell integriert werden. Im Seucheneinschleppungsmodell von MARTÍNEZ-LÓPEZ et al. [2008] wird zum Beispiel angenommen, dass die Anzahl der Importe einer Normalverteilung folgt, die auf Basis historischer Daten aus Handelsstatistiken angepasst wurde. Neben Handels- und Außenhandelsstatistiken von Ländern kann die Variable der Anzahl an Einschleppungsgelegenheiten auch auf Basis von Daten aus der Datenbank FAOSTAT der Vereinten Nationen abgeschätzt werden, die landwirtschaftliche Daten für über 200 Länder anbietet. Die Anzahl an Einschleppungsgelegenheiten für einen Kontakt mit Wildtieren müsste dagegen auf Basis von Expertenmeinungen abgeschätzt werden. Manche Risikomanagementmaßnahmen haben eine Reduktion der Anzahl an Einschleppungsgelegenheiten im Betrachtungszeitraum zur Folge, zum Beispiel das Handelsverbot von Tieren zwischen zwei Regionen oder die Reduktion eines Wildtierbestandes bei endemischen Krankheiten.

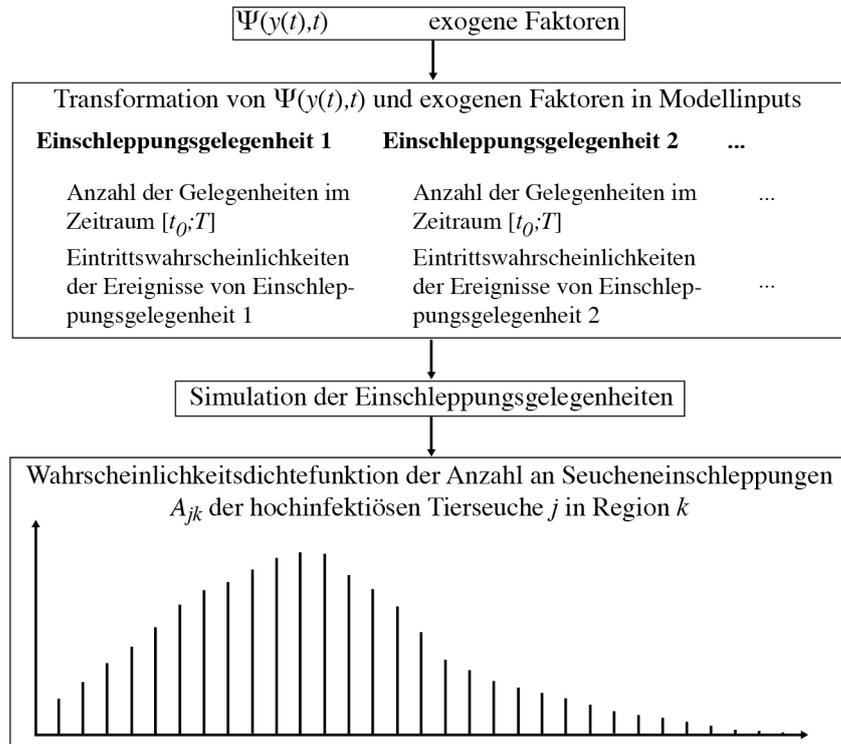
Führt man die Simulationen aller während des Betrachtungszeitraums stattfindenden Einschleppungsgelegenheiten nochmals durch, erhält man eine weitere Ausprägung  $a_{jk}$  der Zufallsvariable  $A_{jk}$ . Nach einer hohen Anzahl von Simulationen

---

<sup>90</sup>Vgl. Horst [1998], S. 3.

erhält man das Ergebnis des  $SEM_{jk}$ , eine Verteilung der Anzahl an Einschleppungen der hochinfektiösen Tierseuche  $j$  in die Region  $k$  während des Betrachtungszeitraums  $[t_0; T]$ , von der zum Beispiel der Erwartungswert  $\mathbb{E}[a_{jk}]$  berechnet werden kann. Abbildung 3.3 veranschaulicht die Modellierung der Seucheneinschleppung.

Abbildung 3.3: Seucheneinschleppungsmodell  $SEM_{jk}$



Wie die Risikokosten im Modellrahmen der stochastischen Kontrolltheorie hängt die Verteilung der Zufallsvariable  $A_{jk}$  von der zugrunde gelegten Risikomanagementstrategie  $\Psi(y(t), t)$  und von dem Ausgangszustand  $y(t_0)$  ab, die Einfluss auf die epizootologische Dynamik (3.1) ausüben. Im  $SEM_{jk}$  wird auf eine explizite Modellierung der epizootologischen Dynamik verzichtet. Stattdessen wird der Zusammenhang zwischen Risiko und Risikomanagement über die Verteilung der Anzahl an Einschleppungsgelegenheiten während des Betrachtungszeitraums und über die Verteilung der Eintrittswahrscheinlichkeiten einschleppungsrelevanter Ereignisse integriert. Auf diese Weise können alle Einschleppungswege und die Auswirkungen sämtlicher Maßnahmen untersucht werden, die das Risiko der Einschleppung von Tierseuche  $j$  in Region  $k$  beeinflussen. Zum Beispiel würde eine Intensivierung der Früherkennung in der Exportregion  $k'$  ceteris paribus die Wahrscheinlichkeit verringern, dass eine Infektion zum Zeitpunkt eines Tiertransports in die Importregion  $k$  unentdeckt ist. Diese Maßnahme ist damit eine Inputgröße des Modells  $SEM_{jk}$ . Die Abhängigkeit der Verteilung von  $A_{jk}$  vom Ausgangszustand  $y(t_0)$  impliziert die

Notwendigkeit einer Aktualisierung von  $SEM_{jk}$ , sobald epizootologisch relevante Ereignisse eintreten, durch die sich Modellinputs verändern.  $SEM_{jk}$  muss zum Beispiel angepasst werden, wenn der Ausbruch einer hochinfektiösen Tierseuche wie MKS in der Nachbarregion  $k'$  die Gefahr einer aerosolen Einschleppung signifikant erhöht.

Auch die beispielhaft erwähnten Seucheneinschleppungsmodelle berücksichtigen Maßnahmen des Risikomanagements. Nach 2.500 Simulationen erhielten DE VOS et al. [2005] die nach Ursprungsregionen und Einschleppungswegen differenzierte Wahrscheinlichkeitsverteilung für Einschleppungen von KSP in die Niederlande. Die größte Gefahr geht von Belgien, Deutschland und Spanien aus. Eine Trennung von Viehtransportern in für den nationalen und internationalen Transport verwendete Fahrzeuge ist in Bezug auf diese Gefahrenregionen die effektivste Maßnahme zur Reduktion der Wahrscheinlichkeit einer Seucheneinschleppung. Im Modell von MARTÍNEZ-LÓPEZ et al. [2008] wird das Risiko einer Einschleppung von MKS nach Spanien auf Provinzebene dargestellt. Als Risikomanagementmaßnahme wurde die routinemäßige Quarantäne importierter Tiere in das Modell integriert, die in den betrachteten Provinzen in unterschiedlichem Maße umgesetzt wird. Die Wahrscheinlichkeit eines Indexfalls von MKS in Spanien innerhalb eines Jahres bezifferten MARTÍNEZ-LÓPEZ et al. [2008] nach 10.000 Simulationen auf 2,36 %. Am stärksten wird diese Wahrscheinlichkeit vom Risiko einer Infektion von Schweinen in den Niederlanden beeinflusst, die vor Entdeckung nach Spanien exportiert werden. Eine Halbierung der Wahrscheinlichkeit der Seucheneinschleppung kann zum Beispiel erreicht werden, wenn die Anzahl der Betriebe, die importierte Schweine routinemäßig zur Beobachtung unter Quarantäne setzen, von derzeit 10 % auf 58 % steigen würde.

Die Modellierung von regional interdependenten Tierseuchenrisiken in separaten Modellen bringt es mit sich, dass Seucheneinschleppungsmodelle über ihre Input- und Outputgrößen verknüpft sind. In dieser Hinsicht ist auf eine *konsistente epizootologische Modellierung* zu achten. Zum Beispiel kann die Verteilung der Zufallsvariable  $A_{jk}$ , der Output des Modells  $SEM_{jk}$ , gleichzeitig Input des Modells  $SEM_{jk'}$  sein. Wenn diese Größe nicht vorliegt, kann auf empirische Daten oder Experteneinschätzungen zurück gegriffen werden. HORST et al. [1998] haben zum Beispiel die Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die Anzahl an Ausbrüchen von MKS, KSP und der Newcastle Krankheit<sup>91</sup> in den Niederlanden und in anderen europäischen Ländergruppen direkt abgefragt. Innerhalb eines Zeitraums von fünf Jahren erwarteten die befragten Experten in den Niederlanden 2,7 KSP-Ausbrüche (25%-Quantil: 1,0; 75%-Quantil: 5,0), 1,0 MKS-Ausbrüche (0,5; 2,0) und 5,0 Ausbrüche der Newcastle Krankheit (1,5; 14,5). Die entwickelten Seucheneinschleppungsmodelle sind dann so aufeinander abzustimmen, dass gleiche Variablen in allen Modellen mit den gleichen Verteilungen oder Parameterwerten verwendet werden.

---

<sup>91</sup>Die Newcastle Krankheit ist eine hochinfektiöse Geflügelseuche, deren Verlauf der Vogelgrippe ähnelt. Vgl. Bätza [2007], S. 43 f.

### 3.3.3.2 Seuchenausbreitungsmodellierung

Der Indexfall von Tierseuche  $j$  in Region  $k$  ist der Ausgangspunkt des Seuchenausbreitungsmodells  $SAM_{jk}$ , das die auf den Indexfall folgende epizootiologische Dynamik innerhalb von Region  $k$  abbildet. Basis der Seuchenausbreitungsmodelle ist das in Abschnitt 2.2 vorgestellte SIR-Modell, das allerdings in einigen Punkten modifiziert werden muss: Zum einen werden Herden bzw. Betriebe und nicht Einzeltiere als Modelleinheiten verwendet, denn die Maßnahmen der Seuchenbekämpfung, zum Beispiel Restriktionen oder Schlachtungen, beziehen sich stets auf ganze Herden. Zum anderen ist die Seuchenausbreitung unter Verwendung stochastischer Elemente zu modellieren, denn von einem deterministischen Zusammenhang zwischen der Risikomanagementstrategie und der Seuchenausbreitung kann nicht ausgegangen werden.

Zentrale Inputgrößen des als SIR-Modell konzipierten  $SAM_{jk}$  sind die Anzahl der empfänglichen Herden  $S(t)$  in Region  $k$  sowie die Infektions- und Genesungsrate. Aus der Anzahl empfänglicher Herden lässt sich die Herdendichte einer Region berechnen, die als Intensität der Maßnahme “Reduktion der Tierproduktionsintensität” einer der zentralen Parameter zur Bestimmung der Infektionsrate ist. In einfachen SIR-Modellen, die einen Zufallseinfluss in der Infektionsdynamik berücksichtigen, wird davon ausgegangen, dass die Infektions- und die Genesungsrate gammaverteilt sind. Anstelle der in Abhängigkeit des Risikomanagements zu bestimmenden konstanten Raten  $\alpha$  und  $\beta$  treten dann Gammaverteilungen mit den Erwartungswerten  $\alpha$  und  $\beta$ .<sup>92</sup>

Um eine realitätsnahe Abbildung der epizootiologischen Dynamik nach dem Ausbruch einer hochinfektiösen Tierseuche in Abhängigkeit der implementierten Risikomanagementstrategie zu erreichen, müssen jedoch zwei bedeutende Aspekte der Ausbreitung der hochinfektiösen Tierseuche  $j$  in Region  $k$  berücksichtigt werden:<sup>93</sup>

- Die von einem infizierten Betrieb ausgehende Infektionsgefahr ändert sich grundlegend, sobald die Infektion entdeckt wird und Reaktionsmaßnahmen auf diesem Betrieb bzw. in seiner Umgebung ergriffen werden
- Die Infektionsdynamik kann nur unter Berücksichtigung spezifischer Merkmale der infizierten Betriebe hinreichend realitätsnah abgebildet werden

Die von einem infizierten Betrieb ausgehende Infektionsgefahr hängt stark von den direkten und indirekten Kontakten mit anderen Betrieben ab.<sup>94</sup> Vor Entdeckung des Seuchenausbruchs ist von einer sehr viel stärkeren Infektionsdynamik als nach seiner Entdeckung und Bestätigung auszugehen, wenn Kontakte durch Abschottung reduziert werden und eine “Genesung” in Form von Notschlachtungen erzwungen wird. Eine zentrale Rolle bei der Modellierung der Seuchenausbreitung spielt daher die

<sup>92</sup>Diekmann und Heesterbeek [2000], S. 15 f.

<sup>93</sup>Vgl. Satsuma et al. [2004], S. 371.

<sup>94</sup>Vgl. Nissen [2001], S. 40-41.

*Hochrisikoperiode* (HRP).<sup>95</sup> Dies ist der Zeitraum zwischen der Erstinfektion eines Betriebes und der vollständigen Implementierung von Reaktionsmaßnahmen. Die Hochrisikoperiode wird weiterhin unterteilt in die HRP<sub>1</sub>, den Zeitraum bis zur Entdeckung bzw. Bestätigung eines Seuchenausbruchs, und die HRP<sub>2</sub>, die Periode von der Entdeckung des Ausbruchs bis zur vollständigen Implementierung der Reaktionsmaßnahmen auf dem infizierten Betrieb. Nach Beendigung der Hochrisikoperiode geht von dem infizierten Betrieb (und gegebenenfalls von der abgeriegelten Umgebung) deutlich weniger bzw. gar keine Gefahr mehr aus,<sup>96</sup> so dass die Verkürzung der Hochrisikoperiode für die Seuchenbekämpfung von entscheidender Bedeutung ist.

Die Länge der HRP ist ein wesentlicher Inputfaktor eines Seuchenausbreitungsmodells. Auch sie wird als Zufallsvariable in das Modell integriert, deren Verteilung von der implementierten Risikomanagementstrategie abhängig ist. HORST et al. [1998] haben in der bereits im vorangegangenen Abschnitt erwähnten Untersuchung auch die Einschätzungen der Experten hinsichtlich der Länge der Hochrisikoperioden in verschiedenen europäischen Ländern bzw. Ländergruppen abgefragt. Demnach liegt der Median der HRP<sub>1</sub> für einen mit KSP infizierten Betrieb zwischen 21 (Niederlande sowie Ländergruppe „Inseln“: Großbritannien, Irland, Skandinavien) und 42 Tagen (Ländergruppe „Osteuropa“). Diese Werte drücken die Einschätzungen der Experten im Hinblick auf die Intensitäten verschiedener Risikomanagementmaßnahmen in diesen Regionen aus. Dazu gehören zum Beispiel die Aufmerksamkeit von Tierproduzenten sowie deren Fähigkeit zur Krankheitsfrüherkennung, die Bereitschaft zur Meldung von Seuchenverdachtsfällen an die zuständige Behörde und die Schnelligkeit der Diagnose durch die zuständigen Veterinärbehörden. Letztere kann auf Basis messbarer Größen wie der zur Verfügung stehenden Labortechnologie oder des Verhältnisses von Amtstierärzten zur Größe des regionalen Tierproduktionssektors abgeschätzt werden. Der Einfluss der erstgenannten Faktoren auf die Länge der HRP<sub>1</sub> kann nur mit Hilfe von Experteneinschätzungen quantifiziert werden. Zudem bestimmen auch pathogenetische Faktoren, zum Beispiel die Dauer der Inkubationszeit, die Länge der HRP<sub>1</sub>, welche durch veterinärmedizinische Experimente bestimmt werden kann.<sup>97</sup> Krankheitssymptome einer MKS-Infektion treten zum Beispiel schneller und deutlicher als die einer KSP-Infektion zu Tage. Der Median der HRP<sub>1</sub> liegt für einen mit MKS infizierten Betrieb deshalb nach Einschätzung der in HORST et al. [1998] befragten Experten nur zwischen 6 und 19 Tagen.<sup>98</sup>

Die Länge der HRP<sub>2</sub> wurde in HORST et al. [1998] für KSP und MKS etwas kürzer als die Länge von HRP<sub>1</sub> eingeschätzt. Auch die Länge der HRP<sub>2</sub> wird von mehreren Elementen der implementierten Risikomanagementstrategie bestimmt, de-

---

<sup>95</sup>Vgl. Horst [1998], S. 119.

<sup>96</sup>Vgl. Horst et al. [1999], S. 214 und Ribbens et al. [2004], S. 148.

<sup>97</sup>Vgl. Zhang et al. [2008].

<sup>98</sup>Alle Angaben beziehen sich auf niedervirulente KSP- und MKS-Viren. Vgl. Horst et al. [1998], S. 259.

ren Einfluss teilweise mit Bezug auf messbare Größen, letztendlich aber nicht ohne subjektive Experteneinschätzungen quantifiziert werden kann. Relevante Faktoren sind zum Beispiel die technische und personelle Ausstattung der für die Implementierung der Seuchenbekämpfung zuständigen Veterinärbehörde, die Qualität der Notfallvorbereitung sowie die Kooperationsbereitschaft der Tierproduzenten bei der Implementierung von Reaktionsmaßnahmen. Die Länge der  $HRP_1$  fällt bei Sekundärinfektionen im Vergleich zur Primärinfektion tendenziell kürzer aus, da ein allgemein erhöhtes Risikobewusstsein vorherrscht. Zudem könnten Sekundärinfektionen innerhalb von stärker überwachten Restriktionszonen liegen, oder durch Forward oder Backward Tracing noch vor Krankheitsausbruch ermittelt werden, was auch für eine Verkürzung von  $HRP_1$  bzw. Linksverschiebung der Verteilung von  $HRP_1$  im Zeitablauf einer Epizootie spricht. Nimmt eine Epizootie katastrophale Ausmaße an, ist aber auch eine Verlängerung von  $HRP_2$  bzw. eine Rechtsverschiebung der Verteilung von  $HRP_2$  denkbar, da die Kapazitäten zur schnellen Implementierung von Seuchenbekämpfungsmaßnahmen zunehmend knapper werden könnten.<sup>99</sup>

Die Ausführungen zur Relevanz der Hochrisikoperioden infizierter Betriebe implizieren, dass die Verteilungen der Infektionsrate und der Genesungsrate keine konstanten Größen sind. Neben den sich im Zeitablauf verändernden und vom Ausmaß der Epizootie abhängigen Verteilungen dieser Modellgrößen muss berücksichtigt werden, dass sie nicht unabhängig davon festgelegt werden können, *welche* Betriebe infektiös sind. Der Grund für die *Relevanz spezifischer Merkmale infizierter Betriebe* liegt darin, dass die Tierproduktionsstruktur innerhalb einer Region keine vollkommene Homogenität aufweist, auch wenn die Regionen in der epizootiologischen Modellierung nach diesem Kriterium differenziert werden. Die Basis-Reproduktionsrate hängt zum Beispiel stark davon ab, ob der Indexfall in einem großen oder kleinen Betrieb stattfindet, ob der Betrieb durch eine sehr transportintensive Produktionsweise gekennzeichnet ist oder stark vertikal integriert ist, und schließlich ob er sich in einem Gebiet mit sehr hoher oder eher geringer Herdendichte befindet.<sup>100</sup> Die der Mass-Action Modellierung zugrunde liegende Vorstellung, dass die Wahrscheinlichkeit eines Kontaktes zwischen zwei beliebigen Modelleinheiten gleich groß ist, ist deshalb nicht zutreffend. Zudem ist von einem Effekt der Betriebsgröße auf die Länge der  $HRP_2$  auszugehen, da die Durchführung einer Notschlachtung in großen Betrieben mehr Zeit als in kleinen Betrieben beansprucht.

Die Konsequenz dieser Feststellung ist, dass eine adäquate Modellierung der Seuchenausbreitung nicht mit Hilfe von Infektions- und Genesungsraten, deren Verteilungen von der Phase und dem Ausmaß des Szenarios abhängen, geschweige denn konstant sind, gewährleistet werden kann. Stattdessen müssen betriebliche Unterschiede berücksichtigt werden. Durch sehr genaue Ausbreitungsmodelle können betriebs- oder betriebstypenspezifische Infektionswahrscheinlichkeiten generiert wer-

<sup>99</sup>Vgl. Stegeman et al. [2000], S. 191.

<sup>100</sup>Vgl. Horst et al. [1999], S. 218.

den. Ansonsten muss die Bestimmung betriebspezifischer Infektionswahrscheinlichkeiten, genau wie die Verteilung der Länge von Hochrisikoperioden, durch Experteneinschätzungen über die veterinärmedizinisch-technischen Zusammenhänge zwischen der Seuchenausbreitung und dem Risikomanagement festgelegt werden.<sup>101</sup> Bei der Seuchenausbreitung spielen auch exogene Variablen eine entscheidende Rolle, wie die Eigenschaften des Krankheitserregers der Tierseuche  $j$ , die Rolle klimatischer Bedingungen und ihre Ausprägungen in Region  $k$  oder der Einfluss geographischer Gegebenheiten. Eine *betriebsindividuelle Modellierung der Infektionsdynamik* bietet das Modell von Keeling et al. [2001], das die Ausbreitung von MKS in Großbritannien im Jahr 2001 unter Geltung von Seuchenbekämpfungsrestriktionen abbildet. Aufgrund des enormen Ausmaßes dieses Seuchenzuges galten äußerst strenge und flächendeckende Restriktionen, so dass die aerosole Infektion eine Hauptursache der Seuchenverbreitung war. Die Wahrscheinlichkeit einer Infektion der empfänglichen Herde  $v$  durch die infektiöse Herde  $\iota$  ist durch folgende Formel gegeben:<sup>102</sup>

$$p_{\iota v} = \sum_s (N_{sv} \cdot S_s) \cdot \sum_s (N_{s\iota} \cdot T_s) \cdot K(d_{\iota v})$$

Die Variablen  $N_{s\iota}$  und  $N_{sv}$  stehen für die Anzahl an Tieren der Art  $s$  in den Herden  $\iota$  und  $v$ , die jeweils eine spezifische Empfänglichkeit  $S_s$  und Übertragbarkeit  $T_s$  aufweisen. Die Funktion  $K(d_{\iota v})$  erfasst die Höhe des Infektionsrisikos in Abhängigkeit der Distanz  $d_{\iota v}$  zwischen den Herden  $\iota$  und  $v$ .  $K(d_{\iota v})$  wurde auf Basis von Daten der Infektionswege des MKS-Seuchenzuges in Großbritannien 2001 empirisch ermittelt. Anstatt durch eine konstante oder zufallsverteilte Infektionsrate wird die Infektionsdynamik mit Hilfe von betriebsindividuellen Infektionswahrscheinlichkeiten erklärt, die von den Arten und der jeweiligen Anzahl der in infektiösen Betrieben gehaltenen Tiere sowie der geographischen Lage zu den empfänglichen Betrieben abhängig sind. Damit werden die räumliche Heterogenität der betrachteten Region sowie die in Abschnitt 2.3.3 beschriebenen Unterschiede in der Virenausscheidung, der Virenaufnahme und der minimalen Infektionsdosis zwischen Rindern, Schafen und Schweinen im Infektionsprozess berücksichtigt. Das Modell ermöglicht eine genaue Abschätzung der Auswirkungen von Präventivschlachtungen auf die epizootologische Dynamik. Die Beseitigung einer Herde senkt die Infektionswahrscheinlichkeit anderer Herden, da sie im Rahmen der Seuchenausbreitung nicht mehr infektiös werden kann und folglich von ihr auch kein Infektionsrisiko für andere Herden mehr ausgeht. Eine derartig präzise Abbildung der Seuchenausbreitung ermöglicht eine effiziente Seuchenbekämpfung, denn sie erlaubt eine Prioritätensetzung von Maßnahmen in Bezug auf Tiertypen, Betriebe und Gebiete.<sup>103</sup>

Ob eine Bestimmung betriebsindividueller Infektionswahrscheinlichkeiten in der Seuchenausbreitungsmodellierung möglich ist, ist eine Frage der Verfügbarkeit von

<sup>101</sup>Vgl. Horst [1998], S. 3.

<sup>102</sup>Vgl. Tildesley und Keeling [2008], S. 108.

<sup>103</sup>Vgl. Manelli et al. [2007], S. 318 f.

Daten. In manchen Ländern liegen Betriebsstandorte in Form von Koordinaten vor,<sup>104</sup> was zum Beispiel eine sehr präzise Abbildung der Tierproduktionsstruktur bis hin zur Berücksichtigung topographischer Gegebenheiten ermöglicht. In der praktischen Anwendung besteht jedoch auch immer ein Tradeoff zwischen der Genauigkeit und der Verhältnismäßigkeit der Kosten der Risikokostenmodellierung.<sup>105</sup> Ein geeigneter Kompromiss zwischen diesen Zielsetzungen könnte darin bestehen, jeden Betrieb durch eine geringe Anzahl an Merkmalen zu charakterisieren, die die lokale Produktionsintensität am Betriebsstandort sowie den Betriebstyp beinhalten, der zum Beispiel durch Merkmalsklassen der Betriebsgröße, der Tierarten und durch Kontaktraten gekennzeichnet ist.<sup>106</sup>

Im Folgenden wird beschrieben, wie ein realitätsnahes Szenario anhand des  $SAM_{jk}$  erzeugt werden kann, dessen Modelleinheiten nach Betriebstypen unterschieden werden und nach ihrer lokalen Produktionsintensität gekennzeichnet sind. Ausgangspunkt eines Szenarios ist der Indexfall von Seuche  $j$  in Region  $k$ . Wenn der Output des  $SEM_{jk}$  nach Gebieten<sup>107</sup> und Betriebstypen differenziert ist, wird zunächst unter Verwendung der relativen Einschleppungswahrscheinlichkeiten zufällig festgelegt, in welchem Betriebstyp und Gebiet der Primärausbruch stattfindet. Wenn die Ergebnisse des  $SEM_{jk}$  dagegen nur nach Gebieten oder vollkommen undifferenziert vorliegen, müssen Primärinfektionswahrscheinlichkeiten zur zufälligen Auswahl des erstinfizierten Betriebs abgeschätzt werden. Entscheidende Faktoren sind dabei zum Beispiel die Anzahl an interregionalen Transporten, die Präsenz endemischer Krankheiten oder Zugvogelverkehr am Betriebsstandort.

Im Anschluss an das Auftreten des Indexfalls wird jedem Betrieb, der durch Gebiet und Typ spezifiziert ist, seine tägliche Infektionswahrscheinlichkeit zugewiesen.<sup>108</sup> Diese hängt von den betriebstypenspezifischen Biosicherheitsstandards sowie vom Betriebstyp des Indexfalls ab. Aerosole Infektion kann durch die Berücksichtigung der Distanz zum Gebietsmittelpunkt des Indexfalls integriert werden. Denkbar ist auch die Abhängigkeit der Verteilungen von weiteren gemeinsamen Zufallsvariablen, die den Einfluss klimatischer Bedingungen oder die Infektiösität des Erregers widerspiegeln. Letztere würde zu Beginn jeder Simulation nur einmal zufällig gewählt werden. Auf Basis dieser Wahrscheinlichkeiten wird die epizootiologische Dynamik während der  $HRP_1$  des Indexfalls simuliert. Die Dauer der  $HRP_1$  des Indexfalls ist wiederum eine Zufallsvariable, deren Verteilung von den produzierten Tierarten und den pathogenetischen Eigenschaften des Krankheitserregers abhängig ist. Dabei spielen insbesondere die Länge der Inkubationszeit und die Sichtbarkeit und Eindeu-

<sup>104</sup>Vgl. Christensen et al. [2008], S. 171.

<sup>105</sup>Vgl. Green und Medley [2002], S. 202.

<sup>106</sup>Vgl. Berentsen et al. [1992], S. 232.

<sup>107</sup>Zum Beispiel nach Landkreisen oder Provinzen. Vgl. Martínez-López et al. [2008], S. 45.

<sup>108</sup>Aus Vereinfachungsgründen unterstellen wir einen diskreten Zeitablauf mit den Zeitpunkten  $t$ ,  $t = \{0, 1, 2, \dots, \infty\}$ , wobei die Zeitschritte Tage repräsentieren. Die Infektion des Indexfalls tritt im Zeitpunkt  $t = 0$  ein.

tigkeit klinischer Symptome eine Rolle. Auch die Risikomanagementmaßnahme der routinemäßigen Überprüfung des Gesundheitsstatus einer Herde durch den Tierproduzenten des Betriebs, in dem ein Indexfall auftritt, hat eine immense Bedeutung für die Längen der  $HRP_1$ . Nach Beendigung der  $HRP_1$  des Indexfalls verschieben sich die Verteilungen der Ansteckungswahrscheinlichkeiten aller Betriebe durch den Indexfall nach links, da nun Reaktionsmaßnahmen eingeleitet werden. Die Stärke dieser Verschiebung ist wiederum von der implementierten Risikomanagementstrategie abhängig und muss aufgrund eines Mangels an empirischen Beobachtungen in der Regel durch Experteneinschätzungen quantifiziert werden.<sup>109</sup> Erfahrungswerte liegen nur in Ausnahmefällen vor. MANELLI et al. [2007] konnten zum Beispiel die Auswirkungen unterschiedlich intensiver Präventivschlachtungen anhand von Daten zum Ausbruch der hochpathogenen Vogelgrippe H7N1 in Norditalien 1999/2000 analysieren, weil diese Maßnahme in den betroffenen Regionen Veneto und Lombardei in unterschiedlicher Intensität durchgeführt wurden. Dabei hat sich gezeigt, dass die konsequente präventive Schlachtung empfänglicher Populationen in Veneto, bei denen ein direkter oder indirekter Kontakt mit infizierten Betrieben bestand oder die in einem Umkreis von 1 km zu infizierten Betrieben gelegen waren, im Vergleich zu eher sporadischen präventiven Schlachtungen in der Lombardei, mit einer um 25% reduzierten Reproduktionsrate in der Abschwungphase der Epizootie verbunden ist.<sup>110</sup>

Nach Beendigung der  $HRP_2$  des Indexfalls, deren Längenverteilung in Abhängigkeit der Risikomanagementstrategie spezifiziert werden muss, sinken die Ansteckungswahrscheinlichkeiten aller Betriebe durch den Indexfall auf null. Kommt es während der  $HRP$  des Indexfalls zu Ansteckungen, werden die von diesen infizierten Betrieben ausgehenden Infektionsgefahren auf die eben beschriebene Weise simuliert. Die täglichen Infektionswahrscheinlichkeiten empfänglicher Betriebe setzen sich dann (subadditiv) aus den von jedem infizierten Betrieb ausgehenden, zufälligen Infektionswahrscheinlichkeiten zusammen. Aufgrund von Restriktionen, allgemein verschärften Biosicherheitsstandards in Krisenzeiten und eines erhöhten Gefahrenbewusstseins von Tierproduzenten tritt eine Linksverschiebung der Verteilungen der Infektionswahrscheinlichkeiten ein, sobald erstmalig im Szenario die  $HRP_1$  eines infizierten Betriebes endet. Die neuen  $HRP_1$ -Verteilungen hängen dann stärker von der Qualität und Kapazität der veterinärmedizinischen Infrastruktur ab, da dann die Entdeckung infizierter Betriebe zum Beispiel durch Tracing möglich wird.

Aufgrund der zufälligen Länge der  $HRP_1$  kann sich die erstmalige Beendigung

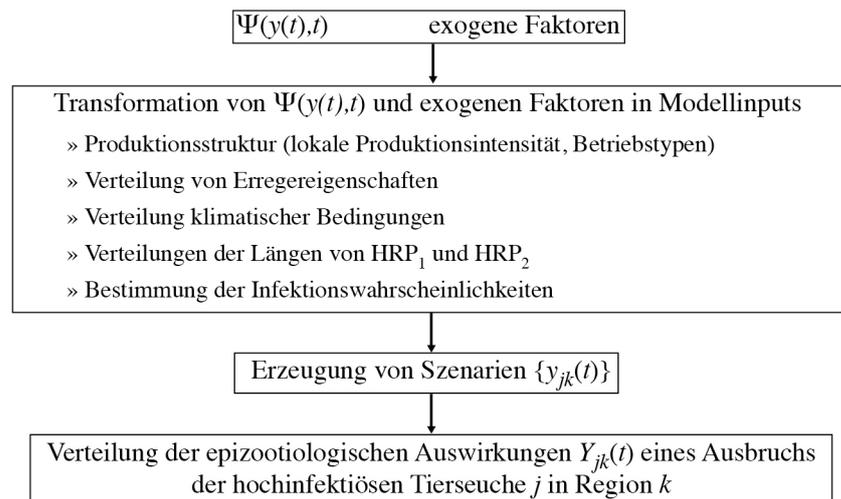
<sup>109</sup>Vgl. de Vos et al. [2005], S. 236.

<sup>110</sup>Natürlich werden bei partiellen Analysen dieser Art viele erklärende Variablen unterschlagen, so dass die Ergebnisse einzelner Untersuchungen oftmals nicht belastbar sind. Wenn jedoch die Analysen unterschiedlicher Seuchenausbrüche zu ähnlichen Ergebnissen hinsichtlich der Effektivität bestimmter Risikomanagementmaßnahmen kommen, werden die Ergebnisse zuverlässiger und können im Rahmen von Risikokostenmodellen verwendet werden. Die Ergebnisse von Manelli et al. [2007] werden zum Beispiel durch eine Analyse des HPAI-Ausbruchs in den Niederlanden 2003 (H7N7) von Stegemann et al. [2004] gestützt.

der  $HRP_1$ , also die *offizielle Entdeckung des Seuchenausbruchs*, in einem direkt oder sogar indirekt durch den Indexfall angesteckten Betrieb ereignen. Die offizielle Entdeckung des Seuchenausbruchs bewirkt eine Linksverschiebung der  $HRP_1$ -Verteilungen von allen zu diesem Zeitpunkt infizierten Betrieben. Die Stärke dieses Effekts hängt von der implementierten Risikomanagementstrategie ab, zum Beispiel davon, welche Anstrengungen zum Forward und Backward Tracing gemacht werden und welche technologischen und personellen Kapazitäten einer Veterinärbehörde dazu zur Verfügung stehen. Auch eine Rechtsverschiebung der  $HRP_2$ -Verteilungen in Abhängigkeit des Ausmaßes einer Epizootie ist angesichts einer möglichen Kapazitätsknappheit der veterinärmedizinischen Infrastruktur denkbar. Ein Simulationsdurchlauf endet mit der Beendigung der  $HRP_2$  des letzten infizierten Betriebes.

Ein Simulationsdurchlauf des  $SAM_{jk}$  erzeugt ein epizootiologisches Szenario, das durch einen von der Zeit abhängigen Zustandsvektor  $y_{jk}(t)$  spezifiziert ist. Die Elemente dieses Vektor geben an, in welchem epizootiologischen Zustand sich die durch Typ und Ort charakterisierten Betriebe in Region  $k$  zum Zeitpunkt  $t$ ,  $t = \{0, 1, 2, \dots, \infty\}$  befinden, also ob sie empfänglich, infiziert/infektiös oder immun/beseitigt sind. Nach Erzeugung einer Vielzahl von Szenarien  $\{y_{jk}(t)\}$  durch das  $SAM_{jk}$  erhält man eine Verteilung des Zufallsvektors  $Y_{jk}(t)$  bzw. eine Vorstellung davon, welche Konsequenzen die Einschleppung von Tierseuche  $j$  in Region  $k$  haben kann. Abbildung 3.4 veranschaulicht die Grundkonzeption eines Seuchenausbreitungsmodells.

Abbildung 3.4: Seuchenausbreitungsmodell  $SAM_{jk}$



Ist das  $SAM_{jk}$  entwickelt, können die Auswirkungen beliebiger Risikomanagementstrategien daran getestet werden. Dazu müssen Strategieänderungen allerdings in Inputgrößen des Modells übersetzt werden. Es kann zum Beispiel überprüft wer-

den, welche Auswirkungen eine Ausbildungsmaßnahme für Tierproduzenten zur Verbesserung der Seuchenfrüherkennung auf die Seuchenausbreitung hat. Dazu muss jedoch spezifiziert werden, wie sich die  $HRP_1$ -Verteilungen nach Durchführung dieser Ausbildung verändern. Auch die Effekte eines Übergangs von einer auf Not- und Präventivschlachtungen basierenden Seuchenbekämpfungspolitik zur Durchführung von Notimpfungen können ermittelt werden. Dazu müssen die Veränderungen der  $HRP_2$ -Verteilungen im Zuge dieser Politikänderung abgeschätzt werden. Möglicherweise geht von notgeimpften Herden noch eine (geringfügige) Infektionsgefahr aus, was dann bei der Spezifizierung der betriebsindividuellen oder betriebstypenspezifischen Infektionswahrscheinlichkeiten berücksichtigt werden muss.

Auch bei der Modellierung der Seuchenausbreitung muss auf eine *konsistente epizootiologische Modellierung* geachtet werden, das heißt gleiche Variablen sollten in allen Modellen mit den gleichen Verteilungen oder Parameterwerten verwendet werden. Die Verteilung der Länge der  $HRP_1$  für Tierseuche  $j$  in Region  $k$  kann zum Beispiel sowohl Input des  $SAM_{jk}$ , als auch Input des  $SEM_{jk'}$  sein, weil sie die Wahrscheinlichkeit des unbemerkten Transports eines infizierten Tieres von Region  $k$  in Region  $k'$  erhöht.

### 3.3.3.3 Kostenmodellierung

In der epizootiologischen Modellierung werden nur die veterinärmedizinisch-technischen Zusammenhänge zwischen dem Risiko hochinfektiöser Tierseuchen und der implementierten Risikomanagementstrategie abgebildet. Effizientes Risikomanagement zeichnet sich unter der in Abschnitt 3.2.3 getroffenen Annahme der Vollversicherung durch eine Minimierung der erwarteten Risikokosten aus, die sich aus den Kosten hochinfektiöser Tierseuchen und aus den Wohlfahrtsverlusten aufgrund von Handelsrestriktionen zusammensetzen. Ziel des Kostenmodells ist es, den Erwartungswert der Risikokosten,  $\mathbb{E}[x]$ , durch die monetäre Bewertung der durch die epizootiologische Modellierung gewonnenen Einschleppungswahrscheinlichkeiten und Ausbreitungsszenarien in Abhängigkeit der implementierten Risikomanagementstrategie abzubilden. Das im Folgenden entwickelte Kostenmodell basiert auf der Idee, die Anzahl  $A_{jk}$  sowie die Konsequenzen  $Y_{jk}(t)$  des Ausbruchs der hochinfektiösen Tierseuche  $j$  in Region  $k$  als unabhängige Zufallsvariablen zu betrachten. Dieser Ansatz ist in der Versicherungstechnik als kollektives Risikomodelle bekannt und wird zur Modellierung der Gesamtschadenverteilung von Versicherungsportfolios verwendet.<sup>111</sup> Für die Übertragung dieses Ansatzes auf den hier vorliegenden Kontext ist die in der Risikokostenübersicht (Tabelle 3.1) angegebene Zuordnung eines Präventions- oder Reaktionscharakters zu den einzelnen Risikokostenpositionen von Bedeutung.

Die ex ante *Präventionskosten*  $x^P$  entstehen, weil durch Tierproduzenten und Veterinärbehörden Anstrengungen unternommen werden, um die Wahrscheinlichkeiten zukünftiger Ausbrüche hochinfektiöser Tierseuchen zu reduzieren oder um

<sup>111</sup>Vgl. Panjer und Wilmot [1992], S. 165 f.

deren negative Konsequenzen abzumildern. Um die Präventionskosten isoliert zu ermitteln, unterstellen wir, dass der epizootiologische Zustand während des gesamten Betrachtungszeitraums  $[t_0; T]$  durch Seuchenfreiheit gekennzeichnet ist. Für die Ermittlung der Präventionskosten gilt daher die Annahme  $y(t) = y_0$  für alle  $t \in [t_0; T]$ . Die Präventionskosten können unter dieser Annahme direkt aus der implementierten Risikomanagementstrategie  $\Psi(y_0, t)$  ermittelt werden. Der Vektor  $\Psi(y_0, t_0)$  enthält die Intensitätsniveaus aller Präventionsmaßnahmen, die beim Umweltzustand  $y_0$  gemäß der implementierten Strategie  $\Psi(y(t), t)$  in  $t_0$  durchgeführt werden.<sup>112</sup>

Ein Großteil der Präventionskosten besteht aus den Kosten hochinfektiöser Tierseuchen. Die entsprechenden Mengengrößen der zum Zeitpunkt  $t$  anfallenden Mehreinsätze und Mindererträge in der Produktion können aus dem Vektor  $\Psi(y_0, t)$  ermittelt werden.  $\Psi(y_0, t)$  gibt zum Beispiel nach Betrieben, Gebieten oder Regionen differenziert an, wie viele Amtstierärzte bei Veterinärbehörden beschäftigt werden, wie viel Laborkapazität bereit gehalten wird, mit welcher Frequenz der Gesundheitsstatus von Herden durch Tierproduzenten überprüft wird oder welche Biosicherheitsstandards bei Tiertransporten eingehalten werden. Die Mengengrößen der Güter oder Leistungen, die bei Implementierung der Strategie  $\Psi(y_0, t)$  zum Zeitpunkt  $t$  als Mehreinsätze in der Produktion aufgewendet werden bzw. als Mindererträge in der Produktion verloren gehen, werden durch die mehrdimensionale Mengenfunktion  $q^P$  beschrieben:  $q^P : \Psi(y_0, t) \times t \mapsto q^P(\Psi(y_0, t), t)$ . Um aus diesen Mengen eine Kostengröße zu ermitteln, müssen sie bewertet werden. Dazu verwenden wir den transponierten Preisvektor  $(p_P)'$ , welcher die nominalen Werte,<sup>113</sup> zum Beispiel Marktpreise oder Herstellungskosten, von jeweils einer Mengeneinheit aller in  $q^P(\Psi(y_0, t), t)$  enthaltenen Mehreinsätze und Mindererträge in Abhängigkeit von  $t$  beschreibt, wenn  $y(t) = y_0$  für alle  $t \in [t_0; T]$  gilt und die Strategie  $\Psi(y(t), t)$  durchgeführt wird:  $p_P : \Psi(y_0, t) \times t \mapsto p_P(\Psi(y_0, t), t)$ .

Neben Kosten hochinfektiöser Tierseuchen enthalten die Präventionskosten auch Wohlfahrtsverluste, die aufgrund von dauerhaften, risikobedingten Handelsrestriktionen entstehen. Dauerhafte Handelsrestriktionen sind als Risikomanagementmaßnahmen in  $\Psi(y_0, t_0)$  enthalten. Unter Verwendung des Konzepts der Konsumenten- und Produzentenrente wird der aufgrund dieser Restriktionen zum Zeitpunkt  $t$  entstehende Verlust an Konsumentenrente  $\Delta KR^P(\Psi(y_0, t), t)$  sowie der Verlust an Produzentenrente  $\Delta PR^P(\Psi(y_0, t), t)$  abgeschätzt. Der Barwert der während des Betrachtungszeitraums  $[t_0; T]$  anfallenden Präventionskosten  $x^P$  ergibt sich dann gemäß Gleichung (3.4):<sup>114</sup>

<sup>112</sup>Die übrigen Elemente des Vektors  $\Psi(y_0, t_0)$ , welche die Intensitäten der Reaktionsmaßnahmen angeben, nehmen zumindest für vernünftige Strategien  $\Psi(y(t), t)$  den Wert 0 an.

<sup>113</sup>Die Preise werden in der Einheit eines Numeraires angegeben.

<sup>114</sup>Auf die Angabe der abhängigen Variablen auf der rechten Seite der Gleichung wird aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet.

$$x^P(\Psi(y_0, t), [t_0; T]) = \int_{t_0}^T e^{-r \cdot (t-t_0)} ((p_P)' \cdot q^P + \Delta KR^P + \Delta PR^P) dt \quad (3.4)$$

Aus Gleichung (3.4) geht hervor, dass die Präventionskosten eine von der Risikomanagementsstrategie abhängige, deterministische Größe sind. Unter der Annahme  $y(t) = y_0$  für alle  $t \in [t_0; T]$  ist dies auch zweifellos richtig, die wir jedoch aufheben müssen, sobald wir die Reaktionskosten in die Betrachtung mit aufnehmen. Wird eine (stochastische) epizootiologische Entwicklung im Betrachtungszeitraum zugelassen, sind aber auch die Präventionskosten keine deterministische Größe mehr. Zum Beispiel entfallen in Folge eines Seuchenausbruchs Mehreinsätze zur Durchführung präventiver Biosicherheitsmaßnahmen in den von Schlachtungen und anschließenden temporären Wiederbelegungsverboten betroffenen Betrieben. Wir behalten aber die gemäß (3.4) berechneten Präventionskosten dennoch als deterministischen Bestandteil der Risikokosten bei. Eine einfache Konvention bei der Berechnung der Reaktionskosten kann verhindern, dass dies zu einer fehlerhaften Risikokostengröße führt: Als Mengengrößen der Mehreinsätze und Mindererträge in der Produktion wird nur die Differenz zu den entsprechenden Mengengrößen bei Seuchenfreiheit angegeben, denn die im Zustand  $y_0$  anfallenden Kosten sind ja schon in den Präventionskosten berücksichtigt. Wenn gemäß der implementierten Strategie  $\Psi(y(t), t)$  bei  $y(t) = \bar{y}$  im Zeitpunkt  $t$  verschärfte Biosicherheitsstandards in Restriktionszonen beispielsweise einen Produktionseinsatz von zwei Arbeitsstunden täglich in einem bestimmten Betrieb erfordern, während im Zustand  $y_0$  in  $t$  nur eine Stunde täglich vorgesehen ist, wird nur die zusätzliche Stunde in der Berechnung der Reaktionskosten berücksichtigt.<sup>115</sup> Dies impliziert, dass teilweise auch negative Mengengrößen von Mehreinsätzen und Mindererträgen in der Berechnung der Reaktionskosten auftauchen, wie im obigen Beispiel zur Einsparung von Mehreinsätzen für Biosicherheitsmaßnahmen während der Geltung von Restriktionen.

Die Berechnung der Reaktionskosten  $x_{jk}^R$  eines Szenarios des Ausbruchs der hochinfektiösen Tierseuche  $j$  in der Region  $k$  ist sehr ähnlich zur Berechnung der Präventionskosten. Das betrachtete Szenario entstammt aus einer Simulation des  $SAM_{jk}$  und wird durch eine mehrdimensionale Zustandsfunktion  $y_{jk}(t)$  beschrieben. Die Zustandsfunktion liefert für jeden diskreten Zeitpunkt  $t$ ,  $t \in \{0, 1, \dots, \infty\}$  einen Zustandsvektor  $y_{jk}$ . Dieser gibt an, in welchem epizootiologischen Zustand jeder (nach Gebiet sowie individuell oder typisiert erfasste) Betrieb aus der Region  $k$  zum Zeitpunkt  $t$  ist. Unter Berücksichtigung des Risikomanagements kann daraus abgeleitet werden, welcher Betrieb zum Zeitpunkt  $t$  von konkreten Reaktionsmaßnahmen betroffen ist. Aus  $\Psi(y_{jk}(t), t)$ <sup>116</sup> kann demnach für  $y_{jk}(t)$  abgeleitet

<sup>115</sup>Vgl. Meuwissen et al. [1999], S. 253.

<sup>116</sup>Die reduzierte Risikomanagementstrategie  $\Psi(y_{jk}(t), t)$  umfasst nur die Maßnahmen aus der global implementierten Strategie  $\Psi(y(t), t)$ , die aufgrund von Szenarien

werden, welche Betriebe bzw. wie viele Betriebstypen zu welchem Zeitpunkt empfänglich und von Transportrestriktionen betroffen sind, präventiv geschlachtet werden, leer stehen, infiziert sind, verschärfte Biosicherheitsstandards einhalten oder vom Ausbruch (noch) nicht tangiert sind. Aus diesen Informationen kann wiederum eine Mengenfunktion  $q_{jk}^R$  abgeleitet werden:  $q_{jk}^R : y_{jk}(t) \times \Psi(y_{jk}(t), t) \times t \mapsto q_{jk}^R(y_{jk}(t), \Psi(y_{jk}(t), t), t)$ . Ihre Elemente geben an, wie viele Einheiten von Gütern oder Leistungen zum Zeitpunkt  $t$  unter der Strategie  $\Psi(y_{jk}(t), t)$  im Vergleich zum Szenario  $y_0$  zusätzlich in der Produktion eingesetzt werden oder als Mindererträge verloren gehen, wenn das Szenario  $y_{jk}(t)$  eintritt.<sup>117</sup> Die Mengengrößen beziehen sich auf homogene Güter und Faktoren. Tiere müssen deshalb zum Beispiel nach Art, Alter und Qualität differenziert werden. Schließlich wird noch eine mehrdimensionale Preisfunktion  $p_{jk}$  bestimmt, welche die nominalen Werte jeweils einer Mengeneinheit aller in  $q_{jk}^R(y_{jk}(t), \Psi(y_{jk}(t), t), t)$  enthaltenen Mehreinsätze und Mindererträge in Abhängigkeit von  $t$  beschreibt, wenn sich das Szenario  $y_{jk}(t)$  ereignet und die Strategie  $\Psi(y(t), t)$  durchgeführt wird:  $p_{jk} : y_{jk}(t) \times \Psi(y_{jk}(t), t) \times t \mapsto p_{jk}(y_{jk}(t), \Psi(y_{jk}(t), t), t)$ .

Außer den Kosten hochinfektiöser Tierseuchen ruft ein Szenario  $y_{jk}(t)$  Reaktionskosten in Form von Wohlfahrtsverlusten hervor, wenn die implementierte Risikomanagementstrategie  $\Psi(y_{jk}(t), t)$  bei  $y_{jk}(t)$  temporäre Handelsrestriktionen vorsieht. Aus  $\Psi(y_{jk}(t), t)$  kann der im Vergleich zur Seuchenfreiheit *zusätzlich* entstehende Verlust an Konsumentenrente  $\Delta KR_{jk}(y_{jk}(t), \Psi(y_{jk}(t), t), t)$  und an Produzentenrente  $\Delta PR_{jk}(y_{jk}(t), \Psi(y_{jk}(t), t), t)$  zum Zeitpunkt  $t$  in Abhängigkeit des Szenarios  $y_{jk}(t)$  abgeschätzt werden. Der Barwert der auf den Zeitpunkt  $t = 0$  abgezinsten Reaktionskosten  $x_{jk}^R$  bei Eintritt des Szenarios  $y_{jk}(t)$  und unter der Risikomanagementstrategie  $\Psi(y_{jk}(t), t)$  ergibt sich dann gemäß Gleichung (3.5):<sup>118</sup>

$$x_{jk}^R(y_{jk}(t), \Psi(y_{jk}(t), t)) = \sum_{t=0}^{\infty} e^{-r \cdot t} ((p_{jk})' \cdot q_{jk}^R + \Delta KR_{jk} + \Delta PR_{jk}) \quad (3.5)$$

Gleichung (3.5) gibt an, wie hoch die auf den Zeitpunkt der Infektion des Indexfalls abgezinsten Reaktionskosten des Ausbruchs der Tierseuche  $j$  in der Region  $k$  sind, wenn der Seuchenausbruch dem Szenario  $y_{jk}(t)$  entspricht und die Risikomanagementstrategie  $\Psi(y(t), t)$  implementiert ist. Es muss hervorgehoben werden, dass zwar die Ursache der Entstehung von  $x_{jk}^R$  im Ausbruch der Seuche  $j$  in Region  $k$  liegt, dass aber die gesamten Reaktionskosten  $x_{jk}^R$  nicht notwendigerweise in Region  $k$  anfallen. Besonders deutlich wird dies bei der Betrachtung des Verlustes an Konsumenten- und Produzentenrente, der sich natürlich auch in Regionen  $k' \neq k$   $y_{jk}(t)$  implementiert werden. Sie beschränkt sich aber nicht auf die Region  $k$ , sondern enthält zum Beispiel auch Importverbote von Kontaktregionen der Region  $k$ .

<sup>117</sup>Vgl. Meuwissen et al. [1999], S. 251.

<sup>118</sup>Auf die Angabe der abhängigen Variablen auf der rechten Seite der Gleichung wird aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet.

realisiert, wenn diese Handelsbeziehungen mit von Restriktionen betroffenen Gebieten in Region  $k$  unterhalten. Aber auch Mehreinsätze in der Tierproduktion fallen in anderen Regionen an, wenn zum Beispiel regionale Biosicherheitsmaßnahmen in Region  $k'$  in Folge des Ausbruchs in Region  $k$  verschärft werden.

Wie die Reaktionskosten eines Szenarios  $y_{jk}(t)$  können die Reaktionskosten aller mit Hilfe des  $\text{SAM}_{jk}$  erzeugten Szenarien  $\{y_{jk}(t)\}$  ermittelt werden. Man erhält dadurch eine Vielzahl von Ausprägungen der Zufallsvariable  $X_{jk}^R$ . Trotz einer hohen Anzahl von Simulationen ist zu erwarten, dass nur sehr wenige Extremszenarien vorliegen, in denen zum Beispiel die Infektiösität des Erregers und die  $\text{HRP}_1$  zu Beginn der Epizootie zufällig besonders hoch bzw. lang ausfallen. Der Bereich extremer Ausprägungen der Zufallsvariable  $X_{jk}^R$  kann deshalb durch die aus Simulationen gewonnene Verteilung nicht adäquat abgebildet wird. Aus diesem Grund wird eine stetige Verteilung an die Simulationsdaten angepasst. Dazu können die Parameter von vorab als geeignet eingeschätzten Verteilungen mit Hilfe statistischer Methoden wie der Maximum-Likelihood Methode oder der Methode kleinster Quadrate geschätzt werden.<sup>119</sup>

Wir bezeichnen die beste Schätzung der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Zufallsvariablen  $X_{jk}^R$ , die auf Basis aller simulierten Ausprägungen  $x_{jk}^R$  erzielt werden kann, mit  $\hat{f}(x_{jk}^R, \Psi(y_{jk}(t), t))$ . Unter Verwendung dieser Dichtefunktion kann  $\mathbb{E}[x_{jk}^R \mid \Psi(y(\cdot t), t)]$ , der Erwartungswert der Reaktionskosten des Ausbruchs der hochinfektiösen Tierseuche  $j$  in Region  $k$ , in Abhängigkeit der implementierten Risikomanagementstrategie  $\Psi(y(t), t)$  berechnet werden:

$$\mathbb{E}[x_{jk}^R \mid \Psi(y(t), t)] = \int_0^{\infty} x_{jk}^R \hat{f}(x_{jk}^R, \Psi(y_{jk}(t), t)) dx_{jk}^R \quad (3.6)$$

Vor Verwendung dieses Erwartungswertes muss beachtet werden, dass die gemäß (3.6) berechneten Reaktionskosten auf den Zeitpunkt  $t = 0$  des  $\text{SAM}_{jk}$  diskontiert wurden, der aber im Allgemeinen nicht mit dem Beginn des Betrachtungszeitraums  $t_0$  übereinstimmt. Der Zeitpunkt des Ausbruchs der hochinfektiösen Tierseuche  $j$  in der Region  $k$  ist zufällig. Wir bilden den Zeitpunkt des Seuchenausbruchs anhand der auf dem Träger  $[t_0; T]$  definierten Zufallsvariable  $O_{jk}$  ab. Ihre Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion  $f(o_{jk}, \Psi(y(t), t))$  kann mit der Entwicklung des  $\text{SEM}_{jk}$  spezifiziert werden, denn darin werden ohnehin Einschätzungen zu Seucheneinschleppungsgelegenheiten und zu den assoziierten Wahrscheinlichkeiten einschleppungsrelevanter Ereignisse im Zeitraum  $[t_0; T]$  in Abhängigkeit der implementierten Risikomanagementstrategie gebildet. Wenn keine maßgeblichen Veränderungen des von Tierseuche  $j$  ausgehenden Einschleppungsrisikos in Region  $k$  erwartet wird, entspricht  $f(o_{jk}, \Psi(y(t), t))$  einer Gleichverteilung. Sieht die implementierte Risikomanagementstrategie  $\Psi(y(t), t)$  zum Beispiel ein Programm zur Ausrottung der

---

<sup>119</sup>Vgl. Mack [2002], S. 86-108.

hochinfektiösen Tierseuche  $j$  in Region  $k$  oder in einer Kontakregion  $k'$  vor, ist die Dichtefunktion  $f(o_{jk}, \Psi(y(t), t))$  ceteris paribus monoton fallend.

Aus den durch die epizootiologische Modellierung gewonnenen Einschleppungswahrscheinlichkeiten und Szenarien und nach Bewertung aller Szenarien gemäß (3.5) können unter Verwendung von (3.4) und (3.6) die erwarteten Risikokosten hochinfektiöser Tierseuchen gemäß (3.7) berechnet werden. Die erwarteten Risikokosten ergeben sich aus der Summe von Präventionskosten und erwarteten Reaktionskosten. Letztere sind die über alle Regionen  $k \in \{1, \dots, K\}$  und Tierseuchen  $j \in \{1, \dots, J\}$  addierten, mit der jeweiligen erwarteten Anzahl an Ausbrüchen und der erwarteten Diskontierung gewichteten, erwarteten Reaktionskosten des Ausbruchs der Tierseuche  $j$  in der Region  $k$ . Es gilt:<sup>120</sup>

$$\mathbb{E}[x \mid [t_0; T], y(t_0), \Psi(y(t), t)] = x^P + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \mathbb{E}[a_{jk}] \cdot \mathbb{E}[x_{jk}^R] \cdot \int_{t_0}^T e^{-r \cdot (o_{jk} - t_0)} f(o_{jk}, \Psi(y(t), \cdot)) do_{jk} \quad (3.7)$$

Methodisch beruht die Risikokostenformel (3.7) auf dem kollektiven Risikokostenmodell aus der Versicherungstechnik. Die Berechnung der erwarteten Reaktionskosten über die Multiplikation der Erwartungswerte von  $A_{jk}$ ,  $X_{jk}^R$  und dem erwarteten Diskontierungsfaktor setzt die Unabhängigkeit dieser Zufallsvariablen voraus.<sup>121</sup> Diese Annahmen müssen kritisch hinterfragt werden.

Unzutreffend erscheint vor allem die Annahme der Unabhängigkeit der Zufallsvariablen  $A_{jk}$  und  $X_{jk}^R$ . Bei intensivem Tierhandel zwischen zwei Gebieten aus den Regionen  $k$  und  $k'$  können mehrere Einschleppungen von Tierseuche  $j$  in einen Betrieb der Region  $k$  während der HRP<sub>1</sub> einer Primärinfektion in Region  $k'$  stattfinden, so dass mehrere Einschleppungen de facto die Konsequenzen einer Einschleppung hervorrufen. Dies bedeutet, dass die Variablen  $A_{jk}$  und  $X_{jk}^R$  negativ korreliert sind. Diese Abhängigkeit kann jedoch durch eine geeignete Definition der Einschleppungsgelegenheiten vermieden werden. In Bezug auf Tierimporte kommt es zu einer Einschleppungsgelegenheit, wenn ein oder mehrere Tierimporte aus einem bestimmten Gebiet innerhalb eines Zeitraums stattfinden, welcher der maximalen HRP<sub>1</sub> der Exportregion entspricht. Die Anzahl an Tierimporten innerhalb dieses Zeitraums beeinflusst dann die einschleppungsrelevanten Eintrittswahrscheinlichkeiten der Ereignisse dieser Einschleppungsgelegenheit, nicht aber die Anzahl an Einschleppungsgelegenheiten im Betrachtungszeitraum.

Im Fall von zeitlich nahe beieinander liegenden Seucheneinschleppungen sind noch weitere Ursachen für eine Abhängigkeit zwischen den Variablen  $A_{jk}$  und  $X_{jk}^R$  vorstellbar. Eine negative Korrelation könnte vorliegen, wenn empfängliche Tierbestände durch einen vergangenen, erfolgreich bekämpften Seuchenausbruch stark dezimiert sind. Eine positive Korrelation könnte wegen der starken Auslastung einer

<sup>120</sup>Auf die Angabe der abhängigen Variablen auf der rechten Seite der Gleichung wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit teilweise verzichtet.

<sup>121</sup>Vgl. Rohling [2007], S. 97.

Veterinärbehörde zustande kommen. Schließlich könnte auch eine temporäre Veränderung der Kontaktrate in Folge eines Seuchenausbruchs positive oder negative Abhängigkeiten hervorrufen, zum Beispiel weil seuchenbedingte Angebotsausfälle durch einen Anstieg der Produktion und der Transporte in seuchenfreien Gebieten kompensiert werden, oder weil Transporte aufgrund eines veränderten Gefahrenbewusstseins vermieden werden. Die Richtung des Zusammenhangs zwischen  $A_{jk}$  und  $X_{jk}^R$  ist demnach unklar. Angesichts der Tatsache, dass auf einzelne Gebiete bezogene Einschleppungswahrscheinlichkeiten sehr gering sind<sup>122</sup> und derartige Effekte nicht nur zeitlich eng beieinander liegende Seucheneinschleppungen, sondern auch eine signifikante Seuchenausbreitung voraussetzen, kann eine detaillierte Analyse und Berücksichtigung der Abhängigkeiten zwischen  $A_{jk}$  und  $X_{jk}^R$  vernachlässigt werden, wenn die Möglichkeit der Mehrfacheinschleppung bei einem Seuchenausbruch durch eine geeignete Abgrenzung der Einschleppungsgelegenheiten ausgeschlossen wird.

Die Annahme der Unabhängigkeit zwischen den Zufallsvariablen  $O_{jk}$  und  $X_{jk}^R$  ist in der Regel unproblematisch. Allerdings kann sie dann verletzt sein, wenn die Risikomanagementstrategie die Durchführung investiver Maßnahmen zur Verbesserung der Seuchenbekämpfung vorsieht, deren Implementierung viel Zeit in Anspruch nimmt. Seuchenausbrüche zu Beginn des Betrachtungszeitraums führen dann *ceteris paribus* zu höheren Reaktionskosten als gegen Ende dieses Zeitraums. Beispiele sind die Entwicklung und Implementierung einer zentralen Datenbank zur Erfassung von Tiertransporten, mit deren Hilfe die HRP<sub>1</sub> von Sekundärinfektionen verkürzt werden könnte, oder die Entwicklung von Notfallplänen zur Verkürzung von HRP<sub>2</sub>. Falls die Risikomanagementstrategie derartige Maßnahmen vorsieht, müsste der Summand der Reaktionskosten von Tierseuche  $j$  und Region  $k$  in (3.7) um die Kovarianz der Variable  $X_{jk}^R$  mit dem erwarteten Diskontierungsfaktor erweitert werden. Eine grobe Abschätzung dieses Korrekturfaktors kann im Rahmen der Spezifikation des SAM<sub>jk</sub> erfolgen, wenn die Verteilungen für die Längen der HRP bestimmt werden. Wir werden diese Thematik aber nicht weiter analysieren, da die in Frage kommenden Maßnahmen des Risikomanagements meist innerhalb von einigen Wochen oder Monaten implementiert werden können und die Ungenauigkeit der epizootiologischen Risikokostenmodellierung aufgrund von Abhängigkeiten der Zufallsvariablen  $O_{jk}$  und  $X_{jk}^R$  deshalb lediglich ein vorübergehendes Problem darstellt. Keine Anhaltspunkte gibt es für Abhängigkeiten zwischen den Zufallsvariablen  $O_{jk}$  und  $A_{jk}$ .

### 3.3.3.4 Optimierung

Die epizootiologische Risikokostenmodellierung stellt im Vergleich zu dem auf der stochastischen Kontrolltheorie basierenden Modell aus Abschnitt 3.3.1 eine erhebliche Vereinfachung dar, da keine geschlossene Modellierung der epizootiologischen

---

<sup>122</sup>Martínez-López et al. [2008] schätzen zum Beispiel, dass die Einschleppungswahrscheinlichkeiten für MKS in spanische Provinzen zwischen  $7,85 \cdot 10^{-3}$  für die Provinz Lleida und  $6,01 \cdot 10^{-9}$  für die Provinz Cadiz liegen.

Dynamik im Zeitraum  $[t_0; T]$  stattfindet, sondern eine Trennung in eine statische Abbildung der Seucheneinschleppung und eine dynamische Abbildung der Seuchenausbreitung für jede Region  $k \in \{1, \dots, K\}$  und Tierseuche  $j \in \{1, \dots, J\}$  erfolgt. Trotzdem ist es möglich, jeder Risikomanagementstrategie  $\Psi(y(t), t)$  die Höhe der dazu korrespondierenden erwarteten direkten Risikokosten  $\mathbb{E}[x]$  eindeutig zuzuweisen. Ein Tribut dieser Vereinfachung ist, dass die Bestimmung der optimalen Strategie  $\Psi^*(y(t), t)$  im Sinne einer analytischen Optimierung nicht möglich ist. Stattdessen ist die globale Veterinärbehörde auf eine *heuristische Vorgehensweise* angewiesen. Dabei werden als vernünftig oder zumindest erprobenswert eingeschätzte Ausgangsstrategien anhand des epizootiologischen Risikokostenmodells beurteilt und verglichen. So kann die Beste aus einer Menge von alternativen Strategien identifiziert und durch eine Veränderung der Intensitäten einzelner Maßnahmen weiter verbessert werden. Es kann zwar nicht davon ausgegangen werden, dass eine auf diese Weise ermittelte, optimale Risikomanagementstrategie  $\Psi^*(y(t), t)$  ein globales Minimum der erwarteten Risikokosten exakt trifft. Mit Sicherheit kann jedoch eine sehr gute Risikomanagementstrategie ermittelt werden, wenn die getesteten Ausgangsstrategien alle Strategievarianten enthalten, welche die Ausrottung endemischer Tierseuchen und unterschiedliche Ansätze der Seuchenbekämpfung, zum Beispiel Notimpfungen und Stamping-Out, enthalten. Wir bezeichnen das anhand des epizootiologischen Risikokostenmodells optimierte Risikomanagement weiterhin als *effiziente* Risikomanagementstrategie  $\Psi^*(y(t), t)$ , auch wenn zu der die erwarteten Risikokosten minimierenden Strategie aller Voraussicht nach eine geringfügige Diskrepanz besteht.

Ein zweiter Tribut der vereinfachten Darstellungsweise im epizootiologischen Risikokostenmodell ist die Abhängigkeit der Seucheneinschleppungsmodellierung vom Ausgangszustand  $y(t_0)$ . Wird beispielsweise in der Kontaktregion  $k'$  die Ausbreitung der Tierseuche  $j$  beobachtet, wird die Anpassung von Modellparametern des  $SEM_{jk}$  notwendig. Die interregionale Interdependenz des Tierseuchenrisikos, die im epizootiologischen Risikokostenmodell über die Verknüpfung von Input- und Outputgrößen der epizootiologischen Modelle berücksichtigt wird, erfordert im Falle exogener Veränderungen Anpassungen der epizootiologischen Modellierung sowie eine Neuermittlung der effizienten Risikomanagementstrategie. Regelmäßige Anpassungen wären jedoch auch in einem analytischen Modell nötig, wenn wirtschaftliche, technologische oder biologische Entwicklungen<sup>123</sup> den Kontroll- oder Zustandsraum bzw. die epizootiologische Dynamik verändern. Die Vernachlässigung der nach  $T$  anfallenden Risikokosten ist vertretbar, wenn der Betrachtungszeitraum bei den regelmäßigen Modellanpassungen und Optimierungen mit unveränderter Länge in die Zukunft fortgeschrieben wird.

---

<sup>123</sup>Vgl. Horst [1998], S. 2.

### 3.3.4 Bewertung des epizootiologischen Risikokostenmodells

Das epizootiologische Risikokostenmodell ist als zentrales Instrument der globalen Veterinärbehörde zur Steuerung des Risikomanagements hochinfektiöser Tierseuchen geeignet. Obwohl die epizootiologische Dynamik in regionalen Modellen abgebildet wird, ist die modellierte Risikokostengröße global und die Interdependenzen des Risikomanagements werden vollständig berücksichtigt. Das epizootiologische Risikokostenmodell ist aber ein Partialmodell, da eine Risikokostengröße unter Vernachlässigung der Auswirkungen auf andere Betriebe ermittelt wird. Die Risikokosten werden im Vergleich zu einer Situation ermittelt, in der hochinfektiöse Tierseuchen nicht existieren. Die Prognose der Preisfunktionen und der Marktrentenverluste zur Bewertung der Risikokostenarten erfolgt aber auf Basis der in  $t_0$  verfügbaren Preis- und Handelsdaten. Diese sind mitunter von der Existenz des Risikos hochinfektiöser Tierseuchen geprägt. Folglich entspricht der dem epizootiologischen Risikokostenmodell zugrunde liegende Ansatz der so genannten äquivalenten Variation.<sup>124</sup> Die erwarteten Risikokosten sind der Betrag, der die (aufgrund der Vollversicherungsannahme risikoneutralen) Individuen unter gegebenen Preisen für die Existenz des Tierseuchenrisikos entschädigt.

Die Grundkonstruktion des Partialmodells ist überschaubar, was für seine Anwendbarkeit als Steuerungsinstrument der globalen Veterinärbehörde spricht. Durch die notwendige Menge an Modellinputs ergibt sich jedoch im Detail eine gewisse Komplexität, die bei der Entwicklung und Verfeinerung des Modells in Bezug auf die Kosten der Modellbildung gerechtfertigt werden muss.<sup>125</sup> Der Tradeoff zwischen Genauigkeit und Kosten besteht auf allen Ebenen der Modellbildung. Generell sollte eine epizootiologische Modellierung der Tierseuche  $j$  in Region  $k$  nur dann entwickelt werden, wenn damit signifikante Risikokosten verbunden sind. In der Seucheneinschleppungsmodellierung kann zum Beispiel der Fokus auf die Abbildung der bedeutsamsten Einschleppungswege gelegt werden. In der Seuchenausbreitungsmodellierung können Betriebstypen statt individuelle Betriebe verwendet werden. In der Kostenmodellierung kann eine Beschränkung der Erfassung von Mengen auf die bedeutendsten Güter und Leistungen stattfinden, zum Beispiel auf nach Art, Alter und Qualität unterschiedene Tiere. Übrige Kosten können zum Beispiel durch restriktionsabhängige Tagespauschalen berücksichtigt werden, die nach Betriebstypen oder Betriebsgrößen differenziert werden. Trotz der Notwendigkeit, Schwerpunkte in der Abbildung epizootiologischer Ereignisse und Kosten zu setzen, dürfen einzelne Komponenten nicht einfach unterschlagen werden. Bestes Beispiel dafür sind die Wohlfahrtsverluste aufgrund von Handelsrestriktionen. Ihre Berechnung scheitert in der Praxis oftmals daran, dass der Verlauf von Angebots- und Nachfragefunktionen nicht bekannt bzw. schwer zu ermitteln ist. Es ist deshalb geboten, sie durch pauschale Schätzungen zu berücksichtigen. Die Risikokostengröße wird dadurch zwar

---

<sup>124</sup>Vgl. Mas-Colell et al. [1995], S82.

<sup>125</sup>Vgl. Green und Medley [2002], S. 202.

ungenau, aber nicht systematisch falsch, was bei einer Vernachlässigung von Wohlfahrtsverlusten in Folge von Handelsrestriktionen der Fall wäre. Diese Argumentation trifft auch auf die Berücksichtigung von Umweltgütern wie der Größe eines Wildtierbestandes sowie auf den Tierschutz zu, deren Preise schwer zu bewerten sind.

Komplexitätsreduktion ist ein Kennzeichen jeglicher Modellierung. Auch die in der veterinärmedizinischen und agrarökonomischen Forschung entwickelten Risikokostenmodelle<sup>126</sup> zielen darauf ab, die Risikokosten hochinfektiöser Tierseuchen möglichst einfach abzubilden. Als Steuerungsinstrument einer globalen Veterinärbehörde sind sie jedoch nicht geeignet, da die darin vorgenommenen Vereinfachungen systematische Fehler hervorrufen. Bestehende Risikokostenmodelle zeichnen sich zum einen dadurch aus, dass keine Integration der Modellierungen von Seucheneinschleppung und Seuchenausbreitung stattfindet. Eine Reihe von Risikomanagementmaßnahmen bzw. Risikofaktoren beeinflusst sowohl die Wahrscheinlichkeit einer Seucheneinschleppung in eine Region, als auch die anschließende epizootiologische Dynamik. Dazu gehören zum Beispiel die Intensität und der Integrationsgrad der Tierproduktion, die die Menge an überregionalen Tiertransporten beeinflussen. Eine Optimierung dieser Faktoren auf Basis der Risikokosten in einem Seucheneinschleppungsmodell vernachlässigt deren Einfluss auf die Seuchenausbreitung und vice versa. Zum anderen betrachten bestehende Risikokostenmodelle nur eine oder wenige Tierseuchen. Mit Ausnahme von Impfungen senken jedoch die meisten Maßnahmen des Risikomanagements das von mehreren Krankheiten ausgehende Tierseuchenrisiko. Eine Optimierung der Maßnahmenintensität in einem Risikokostenmodell der Tierseuche  $j$  vernachlässigt jedoch die damit einhergehende Reduktion der mit Tierseuche  $j'$  verbundenen Risikokosten. Darüber hinaus berücksichtigen bestehende Risikokostenmodelle lediglich einzelne, bedingte Maßnahmen des Risikomanagements und keine Risikomanagementstrategie im Sinne von (3.3). Schließlich konzentrieren sich bestehende Modelle auf einzelne Regionen und vernachlässigen die interregionalen Interdependenzen des Risikos bzw. des Risikomanagements.

Das in den voran gegangenen Abschnitten entwickelte, epizootiologische Risikokostenmodell weist diese Defizite nicht auf. Es integriert die in der veterinärmedizinischen Literatur getrennt behandelten epizootiologischen Ereignisse der Seucheneinschleppung mit den möglichen Szenarien der Seuchenausbreitung. Zudem werden alle Regionen und alle hochinfektiösen Tierseuchen berücksichtigt, womit die gesamten Auswirkungen der implementierten Risikomanagementstrategie automatisch berücksichtigt werden. Um die Verhältnismäßigkeit der Kosten der Modellbildung ex ante zu wahren, ist es unumgänglich, Variablen und Parameter des Modells pauschal zu schätzen und eine hohe Variation von Zufallsvariablen zuzulassen, zum Beispiel hinsichtlich der Virulenz eines MKS-Erregers in einem MKS-

---

<sup>126</sup>Vgl. zum Beispiel das Programm „EpiLoss“ von Meuwissen et al. [1999] sowie die Modelle von Berentsen et al. [1992] und de Vos et al. [2005].

Seuchenausbreitungsmodell. Ex post verändert sich jedoch das Kalkül der Verhältnismäßigkeit der Modellierungskosten. Der abstrakte Nutzen des  $SAM_{jk}$  im Zustand der Seuchenfreiheit weicht einem konkreten Nutzen nach dem Primärausbruch der hochinfektiösen Tierseuche  $j$  in Region  $k$ . Die Ermittlung einer effizienten Risikomanagementstrategie rückt dann in den Hintergrund. Oberste Priorität hat dann die ex post optimale Bekämpfung des Seuchenausbruchs, also die *taktische* Steuerung des Tierseuchen-Risikomanagements in einer konkreten Gefahrensituation. Auch dazu ist eine Unterstützung durch simulationsbasierte Seuchenausbreitungsmodelle nützlich. Taktische Modelle können genau auf die jeweilige Situation zugeschnitten werden. Zum einen kann die aktuelle bekannte Seuchenausbreitung und Umsetzung der Seuchenbekämpfung jeweils als Ausgangspunkt der Simulationen verwendet werden. Zum anderen sind die Virulenz und weitere epizootiologisch relevanten Eigenschaften des Krankheitserregers ex post bekannt und die Entwicklung klimatischer Bedingungen kann prognostiziert werden. Die Verteilungen von Infektionswahrscheinlichkeiten und Hochrisikoperioden können deshalb mit deutlich weniger Variation angegeben werden. In der taktischen Steuerung kann auch kurzfristig auf neue Entwicklungen reagiert werden. In der KSP-Epizootie 1997/98 in den Niederlanden wurde zum Beispiel gut zwei Monate nach Bestätigung der Erstinfektion eine Änderung der als unzureichend eingeschätzten Seuchenbekämpfung vollzogen: Reine Notschlachtungen wurden um Präventivschlachtungen mit einem Radius von 0,5 km um einen Seuchenausbruchsort ergänzt.<sup>127</sup> Bei der epizootiologischen Risikokostenmodellierung steht aber die *strategische* Optimierung des Risikomanagements im Mittelpunkt. Dabei muss mehr Variation in Kauf genommen und zudem eine regelmäßige Anpassung an aktuelle Entwicklungen vorgenommen werden.

---

<sup>127</sup>Vgl. Stegeman et al. [2000], S. 190 f.

## Kapitel 4

# Externe Effekte des Risikomanagements

Das epizootiologische Risikokostenmodell stellt ein geeignetes Instrument zur Steuerung des Risikomanagements hochinfektiöser Tierseuchen für eine globale Veterinärbehörde dar. Unter der Annahme einer umfassenden Versicherung des Tierseuchenrisikos auf individueller Ebene ermöglicht es - zumindest näherungsweise - die Ermittlung der effizienten Risikomanagementstrategie  $\Psi^*(y(t), t)$ . Die Umsetzung dieser Strategie ist jedoch eine Fragestellung, die getrennt von ihrer Ermittlung zu analysieren ist. Die Untersuchung in Kapitel 3 basiert auf der Annahme, dass eine globale Veterinärbehörde existiert, welche die Kompetenz zur Implementierung beliebiger Risikomanagementstrategien hat, indem sie zum Beispiel weisungsbefugt gegenüber nationalen Veterinärbehörden oder individuellen Tierproduzenten ist. Das reale institutionelle Umfeld wird dadurch aber nicht adäquat abgebildet.<sup>1</sup> Es gibt zwar Organisationen, die als globale Veterinärbehörden interpretierbar sind bzw. die angesichts ihrer Aktivitäten im Bereich hochinfektiöser Tierseuchen die Aufgabe der Entwicklung einer effizienten Risikomanagementstrategie übernehmen könnten. Dazu zählen zum Beispiel die OIE, die FAO der Vereinten Nationen sowie die Weltbank. Keine dieser Organisationen hat jedoch die Kompetenz zur Implementierung einer Risikomanagementstrategie.

Die Annahme der Existenz einer globalen Veterinärbehörde mit der Kompetenz zur Umsetzung einer Risikomanagementstrategie wird deshalb an dieser Stelle aufgehoben. Stattdessen wird nun explizit berücksichtigt, dass sich die Kompetenz zur Umsetzung einer Strategie auf individuelle Tierproduzenten sowie auf nationale Veterinärbehörden verteilt, worauf die in Abschnitt 2.3.4 eingeführte Unterscheidung zwischen individuellen und kollektiven Risikomanagementmaßnahmen basiert. Weitere Organisationsmerkmale der Exekutive innerhalb von Ländern, zum Beispiel die Aufgabenverteilung zwischen der nationalen Regierung und Bundesstaaten oder Provinzen, werden nicht berücksichtigt. Wir bezeichnen die Kompetenzträger des

---

<sup>1</sup>Vgl. Kirchgässner [2000], S. 14 f.

Risikomanagements, die bestimmte Risikomanagementmaßnahmen de facto implementieren, im Folgenden allgemein als *Agenten*. In der Analyse externer Effekte ist es teilweise von Bedeutung, ob es sich bei einem Agenten um eine nationale Veterinärbehörde oder um einen individuellen Tierproduzenten handelt. Daher definieren wir zwei verschiedene Indexmengen für die nationalen Veterinärbehörden  $n$ ,  $n = \{1, \dots, N\}$  und die individuellen Tierproduzenten  $i$ ,  $i = \{1, \dots, I\}$ . Die Feststellung, dass die Implementierung des Risikomanagements nicht in der Hand einer sozialen Planungsinstanz, sondern in den Händen vieler Agenten liegt, wäre dann folgenlos, wenn die Implementierung aller aus Sicht der Agenten optimalen Teilstrategien  $\Psi_i^{**}(y(t), t)$  und  $\Psi_n^{**}(y(t), t)$ ,  $i \in \{1, \dots, I\}$  und  $n \in \{1, \dots, N\}$ , die nur die Maßnahmen aus dem Kompetenzbereich der Agenten  $i$  und  $n$  enthalten, der effizienten Risikomanagementstrategie  $\Psi^*(y(t), t)$  entspricht. Dies ist jedoch im Allgemeinen nicht der Fall, weil das Management von Tierseuchenrisiken externe Effekte hervorruft.

Die Externalitätenproblematik im Risikomanagement hochinfektiöser Tierseuchen ist der Untersuchungsgegenstand dieses Kapitels. In Abschnitt 4.1 wird zum einen dargestellt, dass die Externalitätenproblematik zur Implementierung einer ineffizienten Risikomanagementstrategie führt. Zum anderen wird die aus den - aus Agentensicht - optimalen Teilstrategien resultierende Risikomanagementstrategie  $\Psi^{**}(y(t), t)$  charakterisiert. In Abschnitt 4.2 werden Möglichkeiten zur Korrektur des Marktversagens aufgrund von externen Effekten vorgestellt und im Kontext des Risikomanagements hochinfektiöser Tierseuchen geprüft. Die geeigneten Ansätze beeinflussen im Wesentlichen die Ausgestaltung der Finanzierung des Risikomanagements bzw. der Risikokosten. Deshalb wird in Abschnitt 4.3 das Design einer effizienten Finanzierung der Risikokosten skizziert, die zur Implementierung der effizienten Risikomanagementstrategie führt. Dabei werden auch die Implikationen eines möglichen Staatsversagens auf Seite der nationalen Veterinärbehörden thematisiert. Abschließend wird die Finanzierung der Risikokosten in den Mitgliedsländern der Europäischen Union dargestellt und geprüft, ob sie dazu geeignet ist, das Marktversagen aufgrund von externen Effekten des Risikomanagements zu beheben (Abschnitt 4.4).

## 4.1 Ineffizientes Risikomanagement aufgrund von externen Effekten

Allgemein versteht man unter externen Effekten positive oder negative Auswirkungen der Aktivitäten von Individuen oder Firmen auf Dritte, sofern diese Auswirkungen direkt sind, sich also nicht mittelbar über Preis- oder Einkommenseffekte vollziehen.<sup>2</sup> Das Vorliegen externer Effekte hat weit reichende Konsequenzen für das Allokationsergebnis auf unregulierten Märkten. Die mit dem Konsum oder der Produktion verbundenen Änderungen des Nutzens oder des Gewinns bzw. der Produk-

<sup>2</sup>Vgl. Mas-Colell et al. [1995], S. 352.

tionsmöglichkeiten von Dritten werden bei der Konsum- oder Produktionsentscheidung eines Agenten nicht berücksichtigt. Entscheidungsträger haben keinen Anreiz, den gesamten Nutzen bzw. die gesamten Kosten ihrer Handlungen zu berücksichtigen, da Teile des Nutzens bzw. der Kosten Dritte betreffen. Die Folge ist eine ineffiziente Allokation, das heißt aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive wird kein nutzenmaximaler Konsumplan bzw. gewinnmaximaler Produktionsplan im Rahmen der Konsum- und Produktionsmöglichkeiten von Individuen und Firmen realisiert.<sup>3</sup>

Mit den Maßnahmen des Risikomanagements hochinfektiöser Tierseuchen sind teilweise sehr hohe externe Effekte verbunden. Die daraus resultierende Externalitätenproblematik bzw. die Ineffizienzen im Risikomanagement hochinfektiöser Tierseuchen sind dementsprechend gravierend. Abschnitt 4.1.1 widmet sich der Beschreibung des Externalitätenproblems im Kontext des Risikomanagements hochinfektiöser Tierseuchen. In Abschnitt 4.1.2 wird dann die ineffiziente Allokation analysiert, die sich in Folge der Wahl der Teilstrategien  $\Psi_i^{**}(y(t), t)$  und  $\Psi_n^{**}(y(t), t)$  ergibt.

#### 4.1.1 Externalitätenproblem

Obige Definition externer Effekte basiert auf der Vorstellung, dass die mit externen Effekten verbundenen Aktivitäten dezentral, von Nutzen maximierenden Konsumenten oder Gewinn maximierenden Firmen, unternommen werden. Ferner existieren keine Märkte zur Allokation der externen Effekte. Im Kontext des Tierseuchen-Risikomanagements ist dieser auf ARROW zurückgehende Ansatz<sup>4</sup> dezentraler Entscheidungen unmittelbar einleuchtend, wenn wir die individuellen Risikomanagementmaßnahmen aus dem Kompetenzbereich einzelner Tierproduzenten betrachten: Die Teilstrategie  $\Psi_i^{**}(y(t), t)$  minimiert den Erwartungswert des Teils  $\mathbb{E}[x_i]$  der erwarteten Risikokosten  $\mathbb{E}[x]$ , den sie selbst in Form von Präventionskosten und risikoadequaten Versicherungsprämien finanzieren müssen.<sup>5</sup> In Bezug auf kollektive Risikomanagementmaßnahmen muss vorab geklärt werden, woraus sich die für eine nationale Veterinärbehörde  $n$  relevanten Kosten  $\mathbb{E}[x_n]$  zusammensetzen. Wir nehmen dazu zunächst an, dass nationale Veterinärbehörden ausschließlich im Interesse ihrer Bürger handeln und somit eine Minimierung der in ihrem Staatsgebiet anfallenden erwarteten Risikokosten anstreben.<sup>6</sup> Die Risikokosten des Tierproduzenten  $i$  sind damit Bestandteil der Risikokosten  $\mathbb{E}[x_n]$ , wenn der Betrieb von Produzent  $i$  im Staatsgebiet der Veterinärbehörde  $n$  angesiedelt ist. Da jedes Individuum einer Nation und damit einer nationalen Veterinärbehörde angehört, werden über die für die nationalen Veterinärbehörden relevanten Risikokosten die gesamten Risikokosten hochinfektiöser Tierseuche erfasst. Es gilt:  $\sum_{n=1}^N \mathbb{E}[x_n] = \mathbb{E}[x]$ . Allerdings enthalten die

<sup>3</sup>Vgl. Fritsch et al. [2005], S. 88-98.

<sup>4</sup>Vgl. Cornes und Sandler [1996], S. 40.

<sup>5</sup>Die Annahme der Vollversicherung ist zur Darstellung der Externalitätenproblematik nicht nötig, wird aber beibehalten.

<sup>6</sup>Auch Orszag und Stiglitz [2002] wählen diesen Ansatz zur Abbildung des Ziels staatlicher Risikomanagementaktivität.

Kosten  $\mathbb{E}[x_n]$  auch Bestandteile wie Konsumentenrenten oder staatliche Ausgaben für die Bereitstellung der veterinärmedizinischen Infrastruktur, die nicht bei den individuellen Tierproduzenten anfallen. Dies impliziert  $\sum_{i=1}^I \mathbb{E}[x_i] < \mathbb{E}[x]$ . Unberücksichtigt bleibt bei der hier unterstellten Zielsetzung nationaler Veterinärbehörden die in der Public Choice Theorie untersuchte Thematik, dass politische Entscheidungsträger von der sozialen Zielsetzung abweichende Präferenzen haben können.<sup>7</sup>

Die Analyse der Grundstruktur des Externalitätenproblems erfordert keine explizite Unterscheidung zwischen den externen Effekten kollektiver und individueller Risikomanagementmaßnahmen. Agent  $i$  bzw. Agent  $n$  wählt die Teilstrategie  $\Psi_i^{**}(y(t), t)$  bzw.  $\Psi_n^{**}(y(t), t)$  so, dass der Erwartungswert  $\mathbb{E}[x_i]$  bzw.  $\mathbb{E}[x_n]$  während des Betrachtungszeitraums  $[t_0; T]$  minimiert wird.<sup>8</sup> Die implementierten Teilstrategien enthalten unter anderem Präventionsmaßnahmen wie betriebliche oder regionale Biosicherheitsmaßnahmen zur Vermeidung der Einschleppung hochinfektiöser Tierseuchen in den Betrieb des Agenten  $i$  oder das Land des Agenten  $n$ . Die Implementierung von Biosicherheitsmaßnahmen durch Agent  $i$  senkt aber nicht nur die Einschleppungswahrscheinlichkeit für Agent  $i$ , sondern reduziert darüber hinaus die Risikokosten aller Agenten  $\{1, \dots, I\} \setminus \{i\} \cup \{1, \dots, N\}$ , die mit Agent  $i$  in Kontakt stehen. Die Ursache dieser positiven Externalitäten liegt in der Gefahr der gegenseitigen Ansteckung von Tierbeständen, die insbesondere bei hochinfektiösen Tierseuchen gravierend ist. Jede betriebliche Biosicherheitsmaßnahme beeinflusst das Infektionsrisiko in anderen Betrieben, und jede regionale Biosicherheitsmaßnahme beeinflusst das Infektionsrisiko in anderen Regionen. Demnach ergibt sich eine Abhängigkeit der Größen  $\mathbb{E}[x_i]$  bzw.  $\mathbb{E}[x_n]$  von den Teilstrategien der Agenten  $i = \{1, \dots, I\} \setminus \{i\}$  und  $n = \{1, \dots, N\}$  bzw.  $i = \{1, \dots, I\}$  und  $n = \{1, \dots, N\} \setminus \{n\}$ , sofern direkte oder indirekte Kontakte bzw. geringe Distanzen zwischen den Agenten bestehen. Ein Ausschluss einzelner Agenten von der veränderten Infektionsgefahr ist im Allgemeinen nicht möglich, da Betriebe oder Regionen in der Regel nicht unter vertretbaren Kosten von ihrer Umwelt abgeschottet werden können. Die externen Effekte und Risikointerdependenzen entstehen nicht nur durch Biosicherheitsmaßnahmen. Weitere Präventionsmaßnahmen eines Agenten wie die Notfallvorbereitung sowie Reaktionsmaßnahmen rufen positive externe Effekte hervor, weil durch sie die Ausbreitung von Seuchenausbrüchen verringert wird. Dadurch sinkt das Infektionsrisiko sowie die Risikokosten für andere Agenten, wenn Risikointerdependenzen aufgrund von Kontakten oder geringen Distanzen vorliegen.<sup>9</sup>

<sup>7</sup>Vgl. Mankiw [2004], S. 488 f. Staatsversagen wird damit vorerst ausgeschlossen. Vgl. Kirchgässner [2000], S. 12 f.

<sup>8</sup>Die Auswirkungen unterschiedlich langer Betrachtungszeiträume oder unterschiedlich hoher Diskontraten der Agenten werden nicht thematisiert.

<sup>9</sup>Die meisten Maßnahmen des Tierseuchen-Risikomanagements können aufgrund ihrer externen Effekte als unreine öffentliche Güter bezeichnet werden. Vgl. Cornes und Sandler [1996], S. 9, 255-272.

In der Regel rufen die Maßnahmen von Teilstrategien positive externe Effekte in Form von reduzierten erwarteten Risikokosten bzw. Versicherungsprämien anderer Agenten hervor. Die Präventionsmaßnahme der Implementierung von Handelsrestriktionen stellt diesbezüglich eine Ausnahme dar, denn ihre Implementierung durch eine nationale Veterinärbehörde ruft unter Umständen negative externe Effekte in Form von Marktrentenverlusten in anderen Ländern hervor. Maßnahmen des Risikomanagements hochinfektiöser Tierseuchen sind demnach stets mit externen Effekten verbunden.<sup>10</sup> Die externen Effekte des Risikomanagements äußern sich darin, dass die von einem Agent implementierte Teilstrategie die erwarteten Risikokosten anderer Agenten beeinflusst und vice versa. Diese Auswirkungen werden durch die Agenten bei der Ermittlung der optimalen Teilstrategien nicht beachtet. Deshalb entspricht die auf Basis dezentraler Entscheidungen implementierte Risikomanagementstrategie  $\Psi^{**}(y(t), t)$ , die sich aus allen aus Sicht der Agenten optimalen Teilstrategien  $\Psi_i^{**}(y(t), t)$  und  $\Psi_n^{**}(y(t), t)$  zusammensetzt, nicht der effizienten Risikomanagementstrategie  $\Psi^*(y(t), t)$ . Wir bezeichnen die dezentral implementierte Strategie  $\Psi^{**}(y(t), t)$  deshalb als *second-best* Risikomanagementstrategie.

#### 4.1.2 Charakterisierung der second-best Risikomanagementstrategie

Es soll nun untersucht werden, was die second-best Risikomanagementstrategie auszeichnet und wie sie sich von der effizienten Strategie unterscheidet. Da die Risikokosten eines Agenten unter anderem von den Teilstrategien anderer Agenten abhängen, hängt auch die optimale Teilstrategie eines Agenten, die seine Risikokosten minimiert, von den Teilstrategien anderer Agenten ab. Die second-best Strategie  $\Psi^{**}(y(t), t)$  ist damit das Gleichgewicht einer strategischen Interaktion zwischen allen Agenten mit interdependenten Risiken, das mit Hilfe von spieltheoretischen Methoden analysiert werden kann. Zur Charakterisierung der second-best Strategie bietet es sich an, auf die Ergebnisse bestehender *Interdependent Security Modelle* zurück zu greifen. Es handelt sich dabei um statische Modelle, in denen die Agenten vor der Realisation eines Umweltzustands Investitionsentscheidungen treffen müssen, welche die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Umweltzustände beeinflussen. Die Ergebnisverteilung eines Agenten hängt damit von seiner eigenen Entscheidung, aber auch von den Entscheidungen anderer Agenten ab. Meist werden in Interdependent Security Modellen positive externe Effekte von Schadenverhütungsentscheidungen untersucht.

Die Übertragung der Ergebnisse statischer Modelle auf den von einer epizootologischen Dynamik geprägten Kontext des Risikomanagements hochinfektiöser Tierseuchen ist zur Verdeutlichung des Externalitätenproblems zulässig. Aus dem Betrachtungszeitraum  $[t_0; T]$  werden dabei zwei beliebige Zeitpunkte  $t_1 \geq t_0$  und  $t_2 > t_1, t_2 \leq T$  herausgegriffen. Jede mögliche Trajektorie, die der stochastische Prozess (3.1) zwischen diesen Zeitpunkten annehmen kann, wird als ein Umwelt-

<sup>10</sup>Vgl. Sumner et al. [2006], S. 29-32.

zustand interpretiert.<sup>11</sup> Als zustandsabhängige Auszahlung in  $t_2$  kann die Summe aus den von allen Teilstrategien und von der Realisation des Umweltzustands abhängigen erwarteten Risikokosten im Zeitraum  $[t_1; t_2]$  eines Agenten sowie seine erwarteten Risikokosten im Betrachtungszeitraum  $[t_2; T]$  unter der second-best Risikomanagementstrategie verwendet werden, die jeweils auf  $t_1$  abdiskontiert werden. So können für beliebige  $y(t_1)$  einzelne Elemente der Teilstrategien  $\Psi_i^{**}(y(t_1), t_1)$  und  $\Psi_n^{**}(y(t_1), t_1)$  analysiert werden. Dadurch lassen sich Aussagen über die second-best Strategie  $\Psi^{**}(y(t), t)$  ableiten. Durch die Anpassung der Ausgangssituation können verschiedene Risikomanagementmaßnahmen untersucht werden, zum Beispiel Präventionsmaßnahmen bei Seuchefreiheit und Reaktionsmaßnahmen im Fall eines Seuchenausbruchs. In der statischen Betrachtung wird die epizootiologische Dynamik und das Risikomanagement im Zeitraum  $[t_1; t_2]$  ignoriert. Deshalb beziehen wir die Ergebnisse der statischen Interdependent Security Modellierung ausschließlich kurze Zeiträume  $[t_1; t_2]$  bzw. auf Maßnahmen, deren Intensität im Zeitraum  $[t_1; t_2]$  nicht variiert wird.

Die Externalitätenproblematik vieler Präventionsmaßnahmen zeichnet sich dadurch aus, dass das aus Sicht eines Agenten optimale Präventionsniveau umso höher ist, je weniger Prävention andere Agenten betreiben. Dies ist genau dann der Fall, wenn bei nachlassender Prävention anderer Agenten der erwartete (Grenz-) Ertrag der Prävention eines Agenten steigt. *Substitutive Beziehungen zwischen den Präventionsniveaus* unterschiedlicher Agenten treten zum Beispiel bei den betrieblichen Biosicherheitsmaßnahmen zur Vermeidung einer Seucheneinschleppung durch Tiertransporte auf: Je sorgfältiger die Kontaktbetriebe arbeiten, desto weniger Sinn macht es aus Sicht eines Tierproduzenten, zum Beispiel neu angelieferte Tiere prophylaktisch in Quarantäne zu halten. KUNREUTHER und HEAL [2004] haben ein Interdependent Security Problem mit dieser Struktur analysiert.<sup>12</sup> Die Ergebnisse dieses Modells sind intuitiv nachvollziehbar. Die Intensität von Präventionsmaßnahmen mit substitutiver Beziehung ist im Allgemeinen zu gering, weil die (identischen) Agenten die positiven externen Effekte der Prävention nicht berücksichtigen. Die Diskrepanz zwischen der effizienten und der second-best Prävention ist umso größer, je größer die externen Effekte, also die Ansteckungswahrscheinlichkeiten, zwischen den Agenten sind.

Strategisches Verhalten prägt auch die Interaktion zwischen den Tierproduzenten und der nationalen Veterinärbehörde eines Landes, obwohl die Behörde innerhalb ihrer Landesgrenzen eine soziale Zielfunktion aufweist. Substitutive Beziehungen zwischen individuellen und kollektiven Präventionsmaßnahmen sind zum Beispiel zwischen regionalen und betrieblichen Biosicherheitsmaßnahmen denkbar, die den

<sup>11</sup>Vgl. Mas-Colell et al. [1995], S. 690 f.

<sup>12</sup>Dabei wurde eine Investition von Firmen in Forschung und Entwicklung als die mit positiven externen Effekten verbundene Maßnahme betrachtet. Die Modellergebnisse lassen sich auf Präventionsmaßnahmen mit substitutiver Beziehung übertragen.

Übergriff einer endemischen Tierseuche auf den Nutztierbestand verhindern sollen. Die Reduktion eines als Gefahrenquelle identifizierten Wildtierbestandes durch die nationale Veterinärbehörde kann zum Beispiel den Grenzertrag betrieblicher Biosicherheitsmaßnahmen zur Vermeidung von Kontakten einer Herde mit Wildtieren absenken, was Anpassungsreaktionen von Tierproduzenten zur Folge hat. Theoretisch wird dies im Interdependent Security Modell von ORSZAG und STIGLITZ [2002] gezeigt. Darin entscheiden Individuen anhand verschiedener Risikomanagementmaßnahmen über die Eintrittswahrscheinlichkeit und das Ausmaß eines Schadenereignisses. Zudem entscheidet eine Behörde über die Durchführung einer kollektiven Risikomanagementmaßnahme, die die Schadenhöhe reduziert. Es zeigt sich ein Substitutionseffekt zwischen individuellen und kollektiven Maßnahmen, denn die Intensivierung des behördlichen Risikomanagements führt zu einer Reduktion der individuellen Risikomanagementaktivitäten. Das Gleichgewicht dieser strategischen Interaktion weist die Eigenschaft auf, dass eine marginale Erhöhung des kollektiven Risikomanagements *ceteris paribus* zu einer Reduktion der erwarteten Risikokosten führt. Die Behörde hält aber ihre unter der *ceteris paribus* Annahme suboptimale Schadenverhütungsintensität aufrecht, denn von einer Intensivierung würden negative Anreize zur Reduktion individueller Risikomanagementmaßnahmen ausgehen.

Neben substitutiven sind auch *komplementäre Beziehungen zwischen den Präventionsintensitäten* unterschiedlicher Agenten denkbar. Dies kann dann der Fall sein, wenn der Grenzertrag der Prävention aus Sicht eines Agenten mit den Präventionsaktivitäten anderer Agenten steigt. Es ist zum Beispiel vorstellbar, dass ein Tierproduzent das *direkte Risiko* einer Übertragung hochinfektiöser, im Wildtierbestand endemischer Tierseuchen auf seine Herde durch betriebliche Biosicherheitsmaßnahmen wirksam beschränken kann. Deutlich schwieriger ist die Abwehr des *indirekten Risikos* einer Übertragung der Tierseuche durch andere Nutztiere, weil die Produzenten gemeinsame Geräte, gemeinsames Personal, gemeinsame Transportwege oder gemeinsame Märkte nutzen. Eine hochgradig komplementäre Beziehung besteht auch zwischen Präventionsmaßnahmen, wenn Präventivschlachtungen oder Restriktionen zur Eindämmung des Ausbruchs einer hochinfektiösen Tierseuche als Reaktionsmaßnahmen implementiert werden. Jeder Tierproduzent ist dann einem indirekten Risiko ausgesetzt, welches darin besteht, innerhalb einer Keulungs- oder Restriktionszone angesiedelt zu sein und erhebliche Kosten eines Seuchenausbruchs tragen zu müssen, obwohl die eigene Herde gar nicht infiziert wurde. Ein Interdependent Security Problem mit einer komplementären Beziehung zwischen den Präventionsintensitäten der Agenten wird im Modell von MUERMANN und KUNREUTHER [2008] abgebildet. Darin entscheiden zwei Agenten über die Durchführung einer stetig variierbaren Präventionsmaßnahme, die das direkte Risiko des Agenten reduziert und positive externe Effekte hervorruft, indem sie das indirekte Risiko des anderen Agenten vermindert. Dabei zeigt sich, dass die *second-best* Präventionsintensität das effiziente Niveau stets unterschreitet, sofern dieses größer als null ist. Eine

strategische Interaktion mit komplementären Präventionsmaßnahmen wird auch im Interdependent Security Modell von HOFMANN [2007] abgebildet. Darin werden heterogene Agenten betrachtet, die sich im Hinblick auf ihre Investitionskosten für eine diskrete Schadenverhütung unterscheiden. Auch in diesem Modell zeigt sich, dass im Gleichgewicht zu wenig Schadenverhütung betrieben wird.

Die Interdependent Security Modelle zeigen, dass die second-best Risikomanagementstrategie aufgrund des gravierenden Ansteckungsrisikos hochinfektiöser Tierseuchen zu geringe Risikomanagementintensitäten aufweisen. Die Agenten investieren im Vergleich zur effizienten Risikomanagementstrategie zu wenig in Prävention bzw. wählen zu geringe Präventionsintensitäten, sofern die entsprechenden Maßnahmen mit positiven externen Effekten verbunden sind. Diese Ineffizienzen sind umso stärker, je größer das Verhältnis zwischen externem und internem Nutzen der Prävention ist, das zum Beispiel von der Kontaktrate und der lokalen Tierproduktionsintensität der Betriebe abhängt. Das Entscheidungskalkül der Agenten wird durch die Interdependent Security Modelle in Bezug auf *Präventionsmaßnahmen* passend abgebildet, denn sie verursachen interne Kosten und stiften internen und externen Nutzen. Die Ausnahme stellen internationale Handelsrestriktionen dar, die externe Kosten verursachen und deshalb tendenziell zu intensiv eingesetzt werden.

Die Externalitätenproblematik wird jedoch im Hinblick auf *individuelle Reaktionsmaßnahmen* in den Interdependent Security Modellen nicht adäquat abgebildet, da hier eine sehr viel gravierendere Externalitätenproblematik bestehen kann. Dies ist insbesondere bei Betrieben der Fall, die innerhalb von Keulungs- oder Restriktionszonen angesiedelt sind und deshalb erhebliche Kosten in Form von Tierwertverlusten oder Betriebsunterbrechungsschäden erleiden. Individuelle Reaktionsmaßnahmen wie die Einhaltung verschärfter betrieblicher Biosicherheitsstandards reduzieren die Gefahr einer Seuchenausbreitung und verursachen deshalb sehr hohe positive externe Effekte. Verschwindend gering kann dagegen der interne Nutzen dieser Maßnahmen sein, denn ein Großteil der Risikokosten ist aus Sicht eines Tierproduzenten innerhalb einer Keulungs- oder Restriktionszone möglicherweise nicht mehr abzuwenden, wenn präventive Schlachtungen angeordnet bzw. Tierschutzschlachtungen oder langandauernde Restriktionen absehbar sind. Bei individuellen Reaktionsmaßnahmen ist das Externalitätenproblem demnach besonders schwerwiegend. Effiziente Intensitäten dieser Maßnahmen werden in der second-best Risikomanagementstrategie deshalb stark unterschritten.

Wesentlich kleiner ist die Externalitätenproblematik dagegen bei den *kollektiven Reaktionsmaßnahmen*, da ein Großteil ihrer Auswirkungen als interne Effekte in der Zielfunktion der nationalen Veterinärbehörde erfasst werden. Die positiven externen Effekte kollektiver Reaktionsmaßnahmen äußern sich in einer Reduktion der Seucheneinschleppungswahrscheinlichkeit anderer Länder. Beim Ausbruch hochinfektiöser Tierseuchen haben aber andere Länder die Möglichkeit, Importverbote zu verhängen. Die positiven externen Effekte der kollektiven Reaktionsmaßnahmen

verringern sich, soweit dadurch eine Abschottung von der infizierten Region erreicht werden kann.<sup>13</sup> Die Kosten der Handelsrestriktionen in Form von Marktrentenverlusten werden nicht nur von dem Land getragen, das die Importverbote verhängt, sondern fallen auch in dem Land mit infiziertem Nutztierbestand an. Der bei Seuchenausbrüchen drohende Wegfall von Exportmöglichkeiten entfaltet deshalb positive Risikomanagementanreize für nationale Veterinärbehörden in Ländern, die relativ hohe Produzentenrenten aus dem internationalen Tierhandel realisieren. Dies relativiert die Externalitätenproblematik beim kollektiven Risikomanagement. Auch empirisch ist festzustellen, dass der Status der Seuchenfreiheit in Exportnationen von tierischen Erzeugnissen einen sehr hohen Stellenwert hat, und Länder erhebliche Anstrengungen unternehmen, um diesen Status zu erlangen bzw. zu erhalten.<sup>14</sup>

Die theoretische Analyse externer Effekte des Risikomanagements hochinfektiöser Tierseuchen offenbart, dass die Externalitätenproblematik im Tierseuchen-Risikomanagement äußerst facettenreich ist. Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass die second-best Risikomanagementstrategie  $\Psi^{**}(y(t), t)$  durch zu geringe Risikomanagementintensitäten gekennzeichnet ist. Ineffizientes Risikomanagement ist bei individuellen Reaktionsmaßnahmen ein besonders schwerwiegendes Problem, da der externe Nutzen im Vergleich zum internen Nutzen dieser Maßnahmen besonders hoch ist. Die Grundstruktur der Externalitätenproblematik gleicht sich bei individuellen und bei kollektiven Maßnahmen. Allerdings sind die externen Effekte von kollektiven Maßnahmen, die von nationalen Veterinärbehörden durchgeführt werden, in Relation zu den internen Effekten in der Regel wesentlich kleiner. In Ländern, die stark am internationalen Handel mit Tieren und Tierprodukten partizipieren, wirken sich darüber hinaus die externen Kosten möglicher Handelsrestriktionen korrigierend aus.<sup>15</sup> Alles in allem sind die Ineffizienzen der Intensitäten kollektiver Maßnahmen in der Strategie  $\Psi^{**}(y(t), t)$  weniger stark als bei den individuellen Maßnahmen ausgeprägt. Die positiven Anreizwirkungen von Handelsrestriktionen setzen jedoch voraus, dass mögliche Importverbote durchgesetzt werden können. In weiten Teilen der Welt ist dies jedoch aufgrund von fehlenden Kapazitäten zum Schutz von Grenzen oder aufgrund von Korruption nicht der Fall.<sup>16</sup>

---

<sup>13</sup>Eine Abschottung ist in der Regel nur begrenzt möglich, da eine Verbreitung hochinfektiöser Tierseuchen teilweise auch über die Luft, durch den Tourismus oder durch Wanderungen von Wildtieren erfolgen kann. Vgl. Nissen [2001], S. 41 f.

<sup>14</sup>Vgl. Barnett et al. [2002], S. 346.

<sup>15</sup>Handelsrestriktionen können als Ausschluss von den positiven externen Effekten des Risikomanagements in anderen Ländern interpretiert werden. Kamien und Schwartz [1970] zeigen, dass Anreize zur Bereitstellung bzw. Finanzierung öffentlicher Güter umso besser gesetzt werden können, je eher die Möglichkeit eines Ausschlusses besteht.

<sup>16</sup>Vgl. Yee et al. [2008], S. 329 und Skeik und Jabr [2008], S. 234.

## 4.2 Korrektur des Marktversagens

Die Ineffizienz der second-best Risikomanagementstrategie bedeutet, dass der Erwartungswert der Risikokosten nicht minimiert wird und damit die Summe der von allen Individuen geleisteten Zahlungen, zum Beispiel in Form von Versicherungsprämien, Präventionsausgaben oder Steuern zur Finanzierung des kollektiven Risikomanagements, höher als notwendig sind. In diesem Abschnitt soll untersucht werden, wie dieses unbefriedigende, durch das eigennützige Verhalten aller Agenten zustande kommende Ergebnis korrigiert werden kann. Die meisten Ansätze zur Verbesserung einer aufgrund von externen Effekten ineffizienten Allokation zielen auf die Internalisierung externer Effekte ab. Damit ist die (zumindest teilweise) Umwandlung von externen Effekten in interne Effekte gemeint.<sup>17</sup> Die Internalisierung führt dazu, dass die Auswirkungen einer Teilstrategie auf die Risikokosten anderer Agenten bei der Wahl der Teilstrategie durch den Entscheidungsträger Berücksichtigung finden. Die Internalisierung externer Effekte führt im Ergebnis zu einem aufeinander abgestimmten Risikomanagement der eigennützig handelnden Agenten. Stellt man auf die Eigenschaften öffentlicher Güter des Risikomanagements ab, ist die effiziente Bereitstellung öffentlicher Güter Ziel der Internalisierung.<sup>18</sup>

Unter der Annahme vollkommener Märkte ist das Vorliegen externer Effekte des Tierseuchen-Risikomanagements unproblematisch. Die Agenten müssen sich nur im Rahmen dezentraler Verhandlungen auf die Implementierung der effizienten Risikomanagementstrategie  $\Psi^*(y(t), t)$  einigen. Neben der Verpflichtung zur Implementierung effizienter Teilstrategien  $\Psi_i^*(y(t), t)$  und  $\Psi_n^*(y(t), t)$  werden dabei finanzielle Transfers zwischen den Agenten vereinbart. Die Transfers stellen Kompensationszahlungen für die Agenten dar, deren erwartete Risikokosten unter ihrer effizienten Teilstrategie höher sind als bei Implementierung der aus ihrer Sicht optimalen Teilstrategie. Finanziert werden diese Transfers aus den Überschüssen der Agenten, deren erwartete Risikokosten durch den Übergang von der second-best Strategie zur effizienten Risikomanagementstrategie sinken. Die dezentralen Verhandlungen bewirken damit de facto eine Korrektur der Preise des Risikomanagements. Da durch die effiziente Risikomanagementstrategie im Erwartungswert das Risikokostenminimum realisiert wird, verbleibt nach Abzug der Kompensationszahlungen von den Finanzierungsbeiträgen, die zur Indifferenz zwischen second-best und effizientem Risikomanagement aller Agenten führen, ein Überschuss. Auch die Verteilung dieses Überschusses ist Gegenstand der Verhandlungen zwischen den Agenten. Es sind Überschussaufteilungen möglich, die dazu führen, dass alle Agenten von der dezentralen Kooperation profitieren, so dass ihre freiwillige Teilnahme an dem Kooperationsystem gesichert bzw. ihre Partizipationsbedingung erfüllt ist. Die erfolgreiche Internalisierung externer Effekte durch Verhandlungen zeichnet sich demnach dadurch aus, dass selbständige Agenten auf Grundlage ihrer Präferenzen, ihrer Aus-

<sup>17</sup>Vgl. Fritsch et al. [2005], S. 109.

<sup>18</sup>Vgl. Loehr [1973], S. 426.

stattung und der zur Verfügung stehenden Technologie die Durchführung effizienter Teilstrategien aus eigenem Interesse vereinbaren.<sup>19</sup>

Die Internalisierung externer Effekte durch Verhandlungen ist unter dem Begriff des *COASE-Theorems* bekannt. Da die Existenz externer Effekte nur durch die Abwesenheit von Märkten zum Handel externer Effekte begründbar ist, zielt das COASE-Theorem darauf ab, diese Märkte gegebenenfalls zu etablieren. Voraussetzung dafür ist, dass Rechte über erwartete Risikokosten eindeutig definiert sind und unter verhältnismäßigen Kosten durchgesetzt werden können.<sup>20</sup> Wenn diese Bedingungen erfüllt sind, können die Rechte auf Märkten veräußert werden. Die mit der second-best Strategie verbundenen Risikokosten geben die Verteilung dieser Rechte in der Ausgangssituation implizit vor. Die aus Sicht der Agenten optimalen Teilstrategien stellen den Threat Point der Verhandlungen dar. Die Aufteilung der Überschüsse aus der Kooperation ergibt sich dann aus den in Verhandlungen erzielten Preisen für die handelbaren Rechte.<sup>21</sup> Ergebnis der dezentralen Kooperation sind bilaterale oder multilaterale Vereinbarungen über die Teilstrategien der Agenten sowie finanzielle Transfers zwischen den Agenten. Im Fall transaktionskostenfreier Verhandlungen ist die Implementierung der zur effizienten Risikomanagementstrategie  $\Psi^*(y(t), t)$  führenden Teilstrategien  $\Psi_i^*(y(t), t)$  und  $\Psi_n^*(y(t), t)$  das Ergebnis der bilateralen oder multilateralen Vereinbarungen, da jede mögliche Vereinbarung, die zu einer Reduktion an erwarteten Risikokosten führt, realisiert wird.

Dezentrale Verhandlungen zur Internalisierung externer Effekte des Risikomanagements können auch die Integration bzw. Fusion von Agenten zur Folge haben.<sup>22</sup> Eine Externalitätenproblematik kann zwischen fusionierten Agenten per Definition nicht auftreten. In der Europäischen Union ist zum Beispiel zu beobachten, dass Nationalstaaten einen Teil ihrer Souveränität aufgeben<sup>23</sup> und koordinierte kollektive Präventions-<sup>24</sup> und Reaktionsmaßnahmen<sup>25</sup> zum Management des Risikos hochinfektiöser Tierseuchen implementieren. Weltweit betrachtet ist die Abgabe nationaler Kompetenzen an eine internationale Behörde jedoch eine Ausnahme. Auf der Ebene individueller Tierproduzenten erscheint eine umfassende Fusion ineffizient und ordnungspolitisch nachteilig. Die Integration von Agenten zur Internalisierung externer Effekte wird deshalb nicht explizit untersucht.

Realiter kann nicht von transaktionskostenfreien Verhandlungen ausgegangen werden. Die Internalisierung externer Effekte des Tierseuchen-Risikomanagements durch Verhandlungen ist nur dann ein erfolgversprechender Ansatz, wenn die Transaktionskosten bilateraler oder multilateraler Vereinbarungen in einem vernünftigen Verhältnis zu den erzielbaren Kooperationsgewinnen stehen. Eine begrenzte Anzahl

---

<sup>19</sup>Vgl. Hurwicz [1986], S. 1442.

<sup>20</sup>Vgl. Coase [1960].

<sup>21</sup>Vgl. Fritsch et al. [2005], S. 131-135.

<sup>22</sup>Vgl. Holmstrom und Tirole [1989].

<sup>23</sup>Vgl. Siebert [2008], S. 14.

<sup>24</sup>Vgl. Cox et al. [2003], S. 1803.

<sup>25</sup>Vgl. Richtlinie 85/511/EWG.

an Agenten ist deshalb Voraussetzung der Internalisierung durch Verhandlungen.<sup>26</sup> Aus diesem Grund basiert die Analyse der Internalisierung externer Effekte ausschließlich in Bezug auf kollektive Risikomanagementmaßnahmen (Abschnitt 4.2.1) auf Verhandlungen, denn deren Durchführung obliegt einer überschaubaren Anzahl nationaler Veterinärbehörden. Angesichts der Bedeutung kollektiver Risikomanagementmaßnahmen für das Risiko einer internationalen Seuchenverbreitung kann man davon ausgehen, dass die Transaktionskosten internationaler Verhandlungen das Potential zur Erzielung von Kooperationsgewinnen durch internationale Internalisierungsvereinbarungen nicht grundsätzlich beeinträchtigen. Theoretisch sind Verhandlungen auch zwischen individuellen Tierproduzenten möglich. Praktisch erscheinen sie aber aufgrund von unverhältnismäßig hohen Transaktionskosten bilateraler oder multilateraler Vereinbarungen, im Vergleich zu den möglichen Kooperationsgewinnen, nicht erfolversprechend zu sein. Im Gegensatz zu den internationalen Veterinärbehörden besteht auf Ebene der Tierproduzenten eine übergeordnete Instanz in Gestalt einer Regierung bzw. einer nationalen Veterinärbehörde. Dies ermöglicht Staatseingriffe zur Internalisierung der externen Effekte des individuellen Risikomanagements, die in Abschnitt 4.2.2 untersucht werden. Schließlich wird in Abschnitt 4.2.3 die staatliche Bereitstellung oder Durchführung des Risikomanagements analysiert. Sie führt zwar nicht zur Internalisierung externer Effekte, ermöglicht aber auch die Korrektur des ineffizienten Risikomanagements.

#### 4.2.1 Internalisierung beim kollektiven Risikomanagement

Da die nationalen Veterinärbehörden auf die Minimierung der gesamten, in ihrem Staatsgebiet anfallenden Risikokosten abzielen, sind die gesamten Risikokosten gemäß (3.7) Gegenstand internationaler Verhandlungen. Obwohl die Untersuchung der Internalisierung durch Verhandlungen auf das Risikomanagement der nationalen Veterinärbehörden bzw. auf die Implementierung der Teilstrategien  $\Psi_n^*(y(t), t)$  beschränkt ist, müssen die in ORSZAG und STIGLITZ [2002] modellierten Anreizwirkungen des kollektiven Risikomanagements auf die Teilstrategien individueller Tierproduzenten berücksichtigt werden. Die Implementierung der Teilstrategien  $\Psi_n^*(y(t), t)$  durch alle Veterinärbehörden ist nur dann gesamtgesellschaftlich optimal, wenn auch alle individuellen Tierproduzenten die Teilstrategien  $\Psi_i^*(y(t), t)$  implementieren. Dies kann mit Hilfe von Staatseingriffen zur Internalisierung der externen Effekte des individuellen Risikomanagements erreicht werden. Die Vereinbarungen zwischen nationalen Veterinärbehörden zur Implementierung effizienter Teilstrategien  $\Psi_n^*(y(t), t)$  regeln deshalb nicht nur die Intensitäten kollektiver Risikomanagementmaßnahmen in Abhängigkeit epizootiologischer Zustände sowie finanzielle Transfers zur Finanzierung und Kompensation gestiegener Risikokosten einzelner Veterinärbehörden bzw. zur Verteilung der Kooperationsgewinne, sondern auch die Durchführung von Staatseingriffen zur Implementierung effizienter individueller Teilstrategien

---

<sup>26</sup>Vgl. Farrell [1987], S. 114.

$\Psi_i^*(y(t), t)$ .

Dezentrale Verhandlungen zwischen Veterinärbehörden können verschiedene Formen annehmen. Ein ganzes Kontinuum von dezentralen Kooperationsformen reicht von kurzfristigen bilateralen oder multilateralen Vereinbarungen bis zur langfristigen Selbstbindung der Agenten in einer *internationalen Organisation*, die operative Aufgaben bei der Kooperation des kollektiven Risikomanagements hochinfektiöser Tierseuchen übernimmt.<sup>27</sup> Kennzeichen der dezentralen Kooperation ist - in Abgrenzung zur zentralen Koordination - die Möglichkeit des Austritts aus dem Kooperationsystem<sup>28</sup> bzw. die Notwendigkeit der Erfüllung einer Partizipationsbedingung zur freiwilligen Teilnahme der Agenten.<sup>29</sup> Die dezentrale Kooperation des kollektiven Tierseuchen-Risikomanagements über eine internationale Organisation bietet eine Reihe von Vorteilen gegenüber der unorganisierten Kooperation in Form von bilateralen oder multilateralen Verträgen, die sich letztendlich in einer Reduktion der Transaktionskosten der Internalisierung externer Effekte niederschlagen:

- Erhöhung der Kooperationseffizienz
- Positive Synergieeffekte
- Vermeidung von Anreizproblemen
- Verschiebung der Threat Points

Die Bildung einer internationalen Organisation zur dezentralen Kooperation der nationalen Veterinärbehörden führt aus verschiedenen Gründen zu einer *Erhöhung der Kooperationseffizienz*. Offensichtlich kann im Vergleich zu bilateralen oder multilateralen Vereinbarungen die Anzahl an Transaktionen stark reduziert werden. Unter der Annahme vollständiger paarweiser Interdependenzen der Tierseuchenrisiken aller Länder wäre der Abschluss von  $\frac{1}{2} \cdot N \cdot (N - 1)$  bilateralen Verträgen zur Internalisierung der externen Effekte der Teilstrategien  $\Psi_n(y(t), t)$  notwendig. Hinzu kommt, dass diese Vereinbarungen nicht zeitgleich, sondern sequentiell geschlossen werden. Wenn im Verlauf dieser Vertragsabschlüsse zukünftige Vereinbarungen nicht antizipiert werden können, ergibt sich aufgrund der Interdependenzen des Tierseuchenrisikos regelmäßig Nachverhandlungsbedarf schon geschlossener Verträge, um weitere Internalisierungsvereinbarungen unter Einhaltung der Partizipationsbedingung erzielen zu können. Zudem können ex post instabile, ineffiziente Koalitionen entstehen, wenn der sequentielle Ablauf der Verhandlungen nicht ex ante vorgegeben ist.<sup>30</sup> Diese Gefahr kann im Rahmen einer organisierten Zusammenarbeit reduziert werden, wenn sie von Mitgliedsländern initiiert wird, die selbst keine ineffiziente Koalition darstellen.

---

<sup>27</sup>Vgl. Russell und Sullivan [1971], S. 850 f.

<sup>28</sup>Vgl. Loehr [1973], S. 428.

<sup>29</sup>Vgl. Russell und Sullivan [1971], S. 850 f. Die im nächsten Abschnitt untersuchten zentralen Koordinationsformen stellen dagegen staatliche Zwangsmaßnahmen dar.

<sup>30</sup>Vgl. Ray und Vohra [2001], S. 1355-1364.

Die Anzahl der Verhandlungsbeziehungen reduziert sich auf  $N$ , wenn eine organisierte Kooperation aller nationalen Veterinärbehörden im Rahmen einer internationalen Organisation stattfindet. Mit der Anzahl an Transaktionen sinken die Transaktionskosten der internationalen Kooperation.<sup>31</sup> Aus diesem Grund wird eine Vielzahl wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Belange von internationalem Interesse durch internationale Organisationen geregelt.<sup>32</sup> Die dezentrale Kooperation nationaler Veterinärbehörden zur Internalisierung externer Effekte der kollektiven Maßnahmen des Risikomanagements hochinfektiöser Tierseuchen erfolgt deshalb unter anderem durch die OIE, die mittlerweile 175 Mitgliedsländer hat.<sup>33</sup> Eine Mitgliedschaft in der OIE setzt die Umsetzung von OIE-Standards zur Operation, Organisation und Steuerung nationaler Veterinärbehörden voraus<sup>34</sup> und impliziert die Anerkennung weitergehender Standards zum Tierseuchen-Risikomanagement exportierender und importierender Länder.<sup>35</sup> Eine OIE-Mitgliedschaft enthält damit explizite Vorgaben hinsichtlich der Teilstrategien  $\Psi_n(y(t), t)$ . Auch zur Kompensation und Aufteilung der Kooperationsgewinne notwendige Transfers sind Bestandteil der dezentralen Kooperation über die OIE: Entwicklungs- und Schwellenländer erhalten technische und finanzielle Unterstützung sowie Ausbildungsmaßnahmen zur Verbesserung ihrer Veterinärbehörden.<sup>36</sup>

Im Rahmen der dezentralen Kooperation über eine internationale Organisation lassen sich *positive Synergieeffekte* erzielen, zum Beispiel bei der Entwicklung eines epizootiologischen Risikokostenmodells zur Ermittlung der effizienten Risikomanagementstrategie. Aufgrund der wechselseitigen Verwendung von Outputs und Inputs in den Seucheneinschleppungsmodellen und aufgrund der Notwendigkeit einer Aktualisierung der epizootiologischen Modellierung im Fall des Eintritts epizootiologisch relevanter Ereignisse besteht trotz einer regional ausgerichteten Modellierung ein umfassender internationaler Abstimmungsbedarf, der nur im Rahmen einer organisierten internationalen Zusammenarbeit zu bewältigen ist. Insbesondere erhöht die zentrale Überwachung der weltweiten Risikosituation die Reaktionsgeschwindigkeit bei der Anpassung der Risikomanagementstrategie an veränderte Gefährdungslagen, die gerade im Hinblick auf sich schnell ausbreitende Krankheiten von herausragender Bedeutung ist. Bei vielen Aufgaben des Tierseuchen-Risikomanagements sind aufgrund der Möglichkeit zur Bündelung von veterinärmedizinisch-technischem Know How in einer internationalen Organisation komparative Vorteile gegenüber nationalen Veterinärbehörden realisierbar.<sup>37</sup> Dazu gehören zum Beispiel die veterinärmedizinische Forschung oder die Notfallplanung. Die technische und personelle

<sup>31</sup>Vgl. Höse und Oppermann [2008], S. 4.

<sup>32</sup>Vgl. Alvarez [2006], S. 325 f.

<sup>33</sup>Stand 13. Mai 2010. Die Liste der OIE Mitgliedsländer ist auf der Homepage der OIE abrufbar unter [www.oie.int](http://www.oie.int).

<sup>34</sup>Vgl. Vallat und Mallet [2006], S. 390.

<sup>35</sup>Vgl. Wilson und Thiermann [2003].

<sup>36</sup>Vgl. Vallat und Mallet [2006], S. 393.

<sup>37</sup>Vgl. Höse und Oppermann [2008], S. 4.

Unterstützung nationaler Veterinärbehörden bietet zudem den Vorteil, dass die Kosten zur Überwachung der Implementierung effizienter Teilstrategien durch nationale Veterinärbehörden absinken, wenn die Beobachtung des kollektiven Risikomanagements Kontrollaktivitäten notwendig macht.

Die Synergieeffekte, die durch die internationale Organisation nationaler Veterinärbehörden erzielbar sind, ermöglichen Effizienzsteigerungen bei der Ermittlung und Implementierung der effizienten Risikomanagementstrategie. Eine wichtige Rolle spielt in dieser Hinsicht die FAO der Vereinten Nationen.<sup>38</sup> Vor dem Hintergrund einer drohenden Pandemie der Vogelgrippe hat die FAO zum Beispiel Ende 2006 ein Krisenmanagementzentrum eingerichtet, das rund um die Uhr besetzt ist, die globale Risikosituation überwacht und gegebenenfalls Experten zur Unterstützung der Seuchenbekämpfung an Ausbruchsorte entsendet.<sup>39</sup> Weiterhin bietet die FAO Informationen zum kollektiven Risikomanagement<sup>40</sup> und finanziert Projekte zur Bekämpfung hochinfektiöser Tierseuchen. Aufgrund der von Zoonosen ausgehenden Gefahr tritt auch die Weltgesundheitsorganisation als internationale Organisation zur Förderung der Kooperation im Tierseuchen-Risikomanagement in Erscheinung. Sie definiert zum Beispiel Richtlinien für die Erstellung nationaler und regionaler Notfallpläne zur Vorbereitung auf eine Influenza-Pandemie und passt diese an die sich stetig ändernde Gefahrensituation an.<sup>41</sup>

Die Entwicklung der epizootiologischen Risikokostenmodellierung und Ermittlung der effizienten Risikomanagementstrategie durch eine internationale Organisation weist nicht nur positive Synergieeffekte auf, sondern kann auch der *Vermeidung von Anreizproblemen* dienen. Anreizprobleme würden dann auftreten, wenn eine dezentrale Risikokostenmodellierung asymmetrische Informationen hinsichtlich der veterinärmedizinisch-technischen Zusammenhänge des Tierseuchenrisikos zur Folge haben. Es ist plausibel anzunehmen, dass eine nationale Veterinärbehörde einen Informationsvorsprung hinsichtlich der in ihrem Land anfallenden internen und externen Effekte des Risikomanagements hat. In diesem Fall entsteht der als Free-Rider Phänomen bekannte Anreiz, die Informationsasymmetrien in der dezentralen Kooperation auszunutzen, um den eigenen Kooperationsgewinn zu maximieren. Es gibt keinen Mechanismus, der unter allgemeinen Bedingungen sicherstellt, dass die Veterinärbehörden ihre Informationen wahrheitsgemäß offen legen und der gleichzeitig die Partizipationsbedingung der Agenten erfüllt.<sup>42</sup> Liegen derartige Informationsasymmetrien vor, macht die epizootiologische Risikokostenmodellierung durch eine internationale Organisation die Ermittlung der effizienten Risikomanagementstrategie überhaupt erst möglich.

---

<sup>38</sup>Vgl. Hennessy [2007], S. 698.

<sup>39</sup>Vgl. Matthews [2006].

<sup>40</sup>Vgl. FAO [o. A.].

<sup>41</sup>Vgl. Cox et al. [2003], S. 1802.

<sup>42</sup>Vgl. Hurwicz [1986].

Auch wenn die dezentrale Kooperation beim Risikomanagement hochinfektiöser Tierseuchen zum Vorteil aller beteiligten Agenten ausgestaltet werden kann, ist die Erzielung einer Einigung über effiziente Teilstrategien und finanzielle oder materielle Transfers im Einzelfall schwierig. Schlägt die dezentrale Kooperation gänzlich fehl, wird die second-best Risikomanagementstrategie implementiert, welche die internationalen Verhandlungen als Threat Point beeinflusst. Der Threat Point verschiebt sich mit jeder bilateralen oder multilateralen Vereinbarung zur Internalisierung der externen Effekte des kollektiven Risikomanagements, da die optimale Teilstrategie  $\Psi_n(y(t), t)$  von den Teilstrategien  $\Psi_{n'}(y(t), t)$ ,  $n' = \{1, \dots, N\} \setminus \{n\}$  abhängt.

Grundsätzlich kann auch die dezentrale Kooperation über eine internationale Organisation scheitern, indem einzelne Länder ihren Beitritt verweigern. Die Einbindung der internationalen Kooperation im Tierseuchen-Risikomanagement in die bestehende internationale Institutionenlandschaft ermöglicht es allerdings, den Preis der Nicht-Kooperation zu erhöhen, was einer *Verschiebung der Threat Points* entspricht. Eine OIE-Mitgliedschaft reduziert zum Beispiel die Gefahr, Opfer eines Missbrauchs von Handelsrestriktionen für Tiere und Tierprodukte durch andere Länder zu werden. Importverbote für Tiere und Tierprodukte sind häufig Gegenstand internationaler Konflikte, denn das “Agreement on the Application of Sanitary and Phytosanitary Measures” (SPS) der Welthandelsorganisation (WTO) bietet den WTO-Mitgliedsländern große Freiheiten zur Verhängung von Importverboten zum Schutz ihrer Tierbestände. Die OIE gibt deshalb Standards zur Zulässigkeit von Handelsrestriktionen vor und hilft ihren Mitgliedsländern bei der Beilegung von Konflikten.<sup>43</sup> Der Threat Point der Verhandlungen zur dezentralen Kooperation über eine internationale Organisation kann neben der Größe  $\mathbb{E}[x_n]$  weiche Faktoren wie das internationale Ansehen eines Landes enthalten, das leidet, wenn sich ein Land der internationalen Zusammenarbeit verweigert. Dies erklärt, dass allein der freiwillige Beitritt in eine Organisation als Kooperationssignal aufgefasst wird und die Kooperationsbereitschaft anderer Mitglieder erhöht.<sup>44</sup> Die dezentrale Kooperation über eine internationale Organisation erhöht damit die Chance auf die Implementierung effizienter Teilstrategien  $\Psi_n^*(y(t), t)$  durch nationale Veterinärbehörden.

Die Analyse der internationalen Kooperation zeigt, dass eine Internalisierung externer Effekte des kollektiven Risikomanagements am ehesten über internationale Organisationen erreicht werden kann, die auch in der Praxis bedeutsame Rollen im Risikomanagement hochinfektiöser Tierseuchen spielen.<sup>45</sup> Eine internationale Organisation muss einerseits die Strategie  $\Psi^*(y(t), t)$  auf Basis einer epizootiologischen Risikokostenmodellierung bestimmen. Andererseits muss mit den nationalen Veterinärbehörden vertraglich vereinbart werden, dass sie die Teilstrategien  $\Psi_n^*(y(t), t)$ ,  $n = \{1, \dots, N\}$  implementieren und Maßnahmen durchführen, die zur Internalisierung der externen Effekte des individuellen Risikomanagements und damit zur

<sup>43</sup>Vgl. Wilson und Thiermann [2003].

<sup>44</sup>Vgl. Tyran und Feld [2006], S. 136 f.

<sup>45</sup>Vgl. FAO [1991], Kapitel 11.

Implementierung der Teilstrategien  $\Psi_i^*(y(t), t)$ ,  $i = \{1, \dots, I\}$  führen. Mitgliedsländer zahlen Beiträge und werden gegebenenfalls finanziell oder technisch unterstützt, so dass sich die Partizipation an der internationalen Organisation aus Sicht aller Länder lohnt. Die Etablierung einer internationalen Organisation kann effizientes Risikomanagement nicht garantieren, da keine transaktionskostenfreie Kooperation möglich ist und ineffiziente Koalitionen nicht ausgeschlossen werden können. Allerdings stellt sie eine vielversprechende dezentrale Kooperationsform dar und ist praktisch alternativlos, da eine zentrale Koordination des kollektiven Risikomanagements von nationalen Veterinärbehörden souveräner Staaten nicht möglich ist und bilaterale oder multilaterale Kooperationsformen angesichts der starken Risikointerdependenzen zu hohe Transaktionskosten verursachen.

#### 4.2.2 Internalisierung beim individuellen Risikomanagement

Die Implementierung der effizienten Risikomanagementstrategie  $\Psi^*(y(t), t)$  erfordert Internalisierungsvereinbarungen zwischen nationalen Veterinärbehörden. Dezentrale Verhandlungen zwischen individuellen Tierproduzenten erscheinen dagegen wegen relativ hoher Transaktionskosten nicht erfolgversprechend. Auch eine organisierte dezentrale Kooperation, analog zur internationalen Organisation nationaler Veterinärbehörden, kann das Verhältnis zwischen den Transaktionskosten und den Kooperationsgewinnen der dezentralen Kooperation im individuellen Risikomanagement nicht entscheidend verändern. Es gibt zwar Verbände von Tierproduzenten, die unter anderem Risikomanagementstandards für ihre Mitglieder vorgeben.<sup>46</sup> Eine globale dezentrale Kooperation von Tierproduzenten zur Internalisierung der externen Effekte des individuellen Risikomanagements erscheint jedoch nicht praktikabel.

Im Gegensatz zum kollektiven Risikomanagement können aber im individuellen Bereich staatliche Eingriffe in den Markt in Betracht gezogen werden, die Gegenstand der Analyse dieses Abschnitts sind. Aufgrund der (internationalen) Interdependenzen zwischen individuellem und kollektivem Risikomanagement sind Vereinbarungen zur Durchführung von Staatseingriffen zur Internalisierung der externen Effekte des individuellen Risikomanagements bereits Gegenstand der internationalen Verhandlungen zwischen den nationalen Veterinärbehörden. Wir gehen bei der Untersuchung davon aus, dass nationale Veterinärbehörden auf internationaler Ebene erfolgreich kooperieren, so dass die Implementierung der effizienten Teilstrategien  $\Psi_i^*(y(t), t)$  durch Staatseingriffe Ziel der nationalen Veterinärbehörden ist. Im einzelnen werden nun vier Staatseingriffe untersucht:

- Gesetzliche Vorschriften
- Besteuerung oder Subventionierung
- Pflichtversicherung

---

<sup>46</sup>Vgl. Valle et al. [2007], S. 123.

- Haftungsrecht

Ein offensichtliches Instrument zur Implementierung der Teilstrategien  $\Psi_i^*(y(t), t)$  durch nationale Veterinärbehörden sind *gesetzliche Vorschriften*. Sofern keine Informationsasymmetrien bezüglich der Durchführung von Risikomanagementmaßnahmen vorliegen, können Verstöße durch die Androhung ausreichender Sanktionen vollständig vermieden werden. Entsprechen die gesetzlichen Vorgaben den effizienten Standards, minimiert Agent  $i$  die Summe aus seinen Risikokosten und Sanktionen bei Implementierung der effizienten Teilstrategie  $\Psi_i^*(y(t), t)$ .<sup>47</sup> Theoretisch kann durch gesetzliche Vorschriften und Sanktionen die Implementierung der effizienten Risikomanagementstrategie sichergestellt werden, wenn die Beobachtbarkeit der individuellen Teilstrategien uneingeschränkt gegeben ist.

Eine Schwierigkeit bei der Anwendung gesetzlicher Vorschriften zur Korrektur des Marktversagens aufgrund von externen Effekten besteht darin, dass die zentrale Festlegung effizienter Risikomanagementstandards sehr hohe Informationsanforderungen an die Veterinärbehörden stellt. Die Bestimmung der effizienten Intensität einer individuellen Risikomanagementmaßnahme erfordert nicht nur die Kenntnis der externen Effekte in Abhängigkeit des Risikomanagements, sondern auch die Kenntnis der beim Tierproduzenten anfallenden Risikomanagementkosten der jeweiligen Maßnahmen. In Krisenzeiten sind die externen Effekte aufgrund der hohen Seuchenverbreitungsgefahr dominierend, so dass die zentrale Vorgabe effizienter Notfallauflagen auf Basis der Analyse des Zusammenhangs zwischen Risikomanagement und Seuchenverbreitungsgefahr ohne die genaue Kenntnis individueller Risikomanagementkosten zweckmäßig ist. Deshalb sind temporäre gesetzliche Vorgaben zum individuellen Risikomanagement zur Einhaltung verschärfter Biosicherheitsstandards, zum Beispiel Tiertransport-, Zucht-, Bewegungs- und Verwertungsverbote innerhalb von Restriktionszonen, sinnvolle staatliche Eingriffe zur Implementierung der effizienten Risikomanagementstrategie. Die Einhaltung von Notfallauflagen zum individuellen Risikomanagement ist eine wichtige Voraussetzung zur Implementierung der effizienten Seuchenbekämpfungstaktik, wenn Gefahr im Verzug ist. Als Kriseninterventionsmaßnahmen eingesetzte Notfallauflagen sind flexibel und können schnell an die jeweilige Gefahrensituation angepasst werden. Unter Geltung von Seuchenbekämpfungsrestriktionen werden zum Beispiel vielfach Ausnahmegenehmigungen erteilt,<sup>48</sup> um die Versorgung von Herden in Restriktionszonen zu gewährleisten. Je nach epizootiologischer Entwicklung können in Kraft gesetzte Auflagen schnell verschärft oder wieder aufgehoben werden.

Liegt dagegen keine erhöhte Gefährdungssituation vor, sind gesetzliche Vorschriften zur Implementierung effizienter Teilstrategien  $\Psi_i^*(y(t), t)$  nur in Ausnahmefällen geeignet. Effiziente Standards des individuellen Risikomanagements hängen oftmals von lokalen und betrieblichen Faktoren wie der Produktionsintensität, der Präsenz

---

<sup>47</sup>Vgl. Kunreuther und Heal [2003].

<sup>48</sup>Vgl. National Audit Office [2002], S. 56.

endemischer Tierkrankheiten oder Eigenschaften des Produktionssystems ab. Eine statisch effiziente Internalisierung externer Effekte durch gesetzliche Vorschriften erfordert demnach lokale oder sogar betriebsspezifische Vorgaben. Es kann aber zum einen nicht davon ausgegangen werden, dass eine Veterinärbehörde effiziente Standards auf betriebsindividueller Ebene ermitteln und gesetzlich vorschreiben kann, zumal betriebsspezifische Faktoren auch im epizootologischen Risikokostenmodell mittels einer Unterscheidung von Betriebstypen nur grob berücksichtigt werden. Zum anderen ist die notwendige Differenzierung zwischen lokalen und betriebsspezifischen Faktoren im Rahmen der gesetzlichen Vorgabe effizienter Standards schwer umzusetzen. Auch unter dynamischen Effizienzgesichtspunkten ist die Internalisierung externer Effekte mit Hilfe von gesetzlichen Vorschriften im Allgemeinen ungeeignet, da über die Erfüllung gegebener Standards hinaus keine Anreize zur Entwicklung neuer, risikoärmerer Produktionsweisen bestehen.<sup>49</sup> Die zentrale Vorgabe effizienter Risikomanagementstandards mittels gesetzlicher Vorschriften erscheint deshalb im Allgemeinen ungeeignet.

Lediglich in Ausnahmefällen sind individuelle Risikomanagementstandards unabhängig vom epizootologischen Zustand und von lokalen und betrieblichen Faktoren effizient. Dazu zählt zum Beispiel die Anzeigepflicht, welche die sofortige Meldung eines Seuchenverdachts an die zuständige Veterinärbehörde vorschreibt.<sup>50</sup> Angesichts der wirtschaftlichen Konsequenzen von Verzögerungen bei der Seuchenbekämpfung ist davon auszugehen, dass die sofortige Meldung von Seuchenverdachtsfällen jederzeit und unter allen Umständen effizient ist, zumal die individuellen Risikomanagementkosten der Meldung relativ gering sind, wenn eine veterinärmedizinische Infrastruktur besteht. Auch Dekontaminationsverfahren für Tierfutter mit tierischen Nebenprodukten, die eine Inaktivierung von Krankheitserregern gewährleisten, können unabhängig von lokalen und betriebsspezifischen Faktoren effizient sein und sollten dann gesetzlich vorgeschrieben werden.<sup>51</sup>

Die Implementierung der effizienten Teilstrategien  $\Psi_i^*(y(t), t)$  kann auch durch eine *Besteuerung oder Subventionierung* risikorelevanter Aktivitäten von Tierproduzenten erreicht werden.<sup>52</sup> Diese Staatseingriffe erzielen eine vollständige Internalisierung externer Effekte, wenn sie die Kosten des Risikomanagements genau so verändern, dass Agent  $i$  sein Risikokostenminimum unter Berücksichtigung von Steuern und Subventionen bei Implementierung der effizienten Teilstrategie  $\Psi_i^*(y(t), t)$  realisiert. Beispielsweise könnten Tiertransporte so stark besteuert werden, dass die ex-

<sup>49</sup>Vgl. Fritsch et al. [2005], S. 119.

<sup>50</sup>In Deutschland ist die Anzeigepflicht im Tierseuchengesetz kodifiziert. Ihre Missachtung kann mit Geldbußen bis zu 25.000 Euro geahndet werden. Vgl. Bätza [2007], S. 9-11 und Tierseuchengesetz §76 (3).

<sup>51</sup>Ein Beispiel dafür ist die Verordnung 1774/2002 der Europäischen Union, die Vorgaben zur Behandlung tierischer Nebenprodukte enthält, die nicht für den menschlichen Verzehr, sondern für die weitere Verwertung in der Tierproduktion oder für andere Zwecke bestimmt sind.

<sup>52</sup>Vgl. Mas-Colell et al. [1995], S. 354 f.

ternen Kosten der Transporte, die sich in Form von gestiegenen erwarteten Risikokosten bzw. Versicherungsprämien aller Kontaktbetriebe des importierenden Betriebes realisieren, durch die Besteuerung internalisiert werden. Die Tierproduzenten würden also eine statisch effiziente Transportintensität wählen. Aufgrund ihrer Wirkung als Preiskorrektiv kann die Besteuerung oder Subventionierung - im Gegensatz zu gesetzlichen Vorschriften - als marktkonform bezeichnet werden. Während gesetzliche Vorschriften Risikomanagementstandards obligatorisch festschreiben, ist die Wahl der Intensität einer besteuerten oder subventionierten Risikomanagementmaßnahme eine freie Entscheidung des Tierproduzenten. Das Steuer- und Subventionssystem entfaltet Anreize zur Schaffung weniger transportintensiver Produktionsstrukturen und erfüllt somit dynamische Effizienzanforderungen.

Die Internalisierung externer Effekte durch Steuern oder Subventionen impliziert geringere Informationsanforderungen an die Veterinärbehörden als die gesetzliche Vorgabe effizienter Risikomanagementstandards. Da sie auf eine Umwandlung von externen in interne Kosten abzielt, muss nur die Höhe der Externalitäten in Abhängigkeit des Risikomanagements bekannt sein. Die betriebsspezifischen, internen Kosten der Durchführung von Risikomanagementmaßnahmen werden bei der Wahl der Risikomanagementstandards durch die Tierproduzenten berücksichtigt und müssen von den Veterinärbehörden nicht quantifiziert werden. Ähnlich wie gesetzliche Vorschriften ist die Besteuerung oder Subventionierung ein erfolgsversprechender Staatseingriff zur Internalisierung externer Effekte, wenn ein möglichst konstanter Zusammenhang zwischen der besteuerten oder subventionierten Aktivität und den Externalitäten besteht.<sup>53</sup> Problematisch ist wiederum die Abhängigkeit der externen Effekte vom epizotologischen Zustand  $y(t)$ , die eine regelmäßige Anpassung der Steuern und Subventionen an epizotologische Entwicklungen, zum Beispiel an Seuchenausbrüche in Nachbarländern, erfordern würde. Der Einfluss lokaler und betriebsspezifischer Faktoren, zum Beispiel der Tierproduktionsintensität, erfordert darüber hinaus eine sehr differenzierte Ausgestaltung von Steuern und Subventionen, die ähnlich schwer umzusetzen ist wie bei gesetzlichen Vorschriften.

Ein weiterer, weniger bekannter Staatseingriff zur Internalisierung externer Effekte des Tierseuchen-Risikomanagements besteht in der *Pflichtversicherung* des Tierseuchenrisikos. Pflichtversicherung bedeutet zum einen, dass die Tierproduzenten dazu verpflichtet sind, ihr Tierseuchenrisiko zu versichern (Versicherungspflicht). Zum anderen beinhaltet sie, dass die Versicherung bei einem bestimmten Versicherer, dem Pflichtversicherer, abgeschlossen werden muss. Eine aus Sicht dieses Pflichtversicherers risikogerechte Prämie für Tierproduzent  $i$  berücksichtigt sowohl die Auswirkungen der Teilstrategie  $\Psi_i(y(t), t)$  auf die erwarteten direkten Risikokosten  $\mathbb{E}[x_i]$ , als auch deren Effekte auf die Kosten  $\mathbb{E}[x_{i'}]$ ,  $i' \in \{1, \dots, I\} \setminus \{i\}$  aller anderen Tierproduzenten, die bei ihm versichert sind. Die Prämienbemessung des Pflichtversicherers führt demnach automatisch zu einer Internalisierung der externen Effekte des indivi-

<sup>53</sup>Vgl. Fritsch et al. [2005], S. 122 f.

duellen Risikomanagements, sofern sie aus Sicht des Pflichtversicherers risikogerecht ist. Der Pflichtversicherer bietet aus eigenem Interesse eine *internalisierende Prämienstruktur* an, die sich durch die Differenzierung der Versicherungsprämien in Abhängigkeit der internen und externen Effekte des Risikomanagements auszeichnet.<sup>54</sup> Die externen Effekte des Risikomanagements werden somit durch ihren Einfluss auf die Prämienhöhe der Tierproduzenten internalisiert.

Eine vollständige Internalisierung externer Effekte über Versicherungsprämien setzt voraus, dass die gesamten Externalitäten des individuellen Risikomanagements in den Prämien berücksichtigt werden. Da Konsumentenrentenverluste in der Prämienstruktur eines Pflichtversicherers keine Berücksichtigung finden, ist es zutreffender, von einer weitgehenden Internalisierung externer Effekte durch Pflichtversicherung zu sprechen. Die Ursache eines Großteils der Marktrentenverluste liegt jedoch in den *dauerhaften* Handelsrestriktionen. Die hängen weniger vom individuellen, durch internalisierende Versicherungsprämien steuerbaren Risikomanagement ab. Vielmehr sind die kollektiven Anstrengungen zur Eindämmung und Ausrottung endemischer Tierseuchen sowie die Effektivität der Seuchenbekämpfung im Falle eines Seuchenausbruchs für den Status der Seuchenfreiheit eines Landes und damit für den internationalen Handel entscheidend. Insofern ist dieser Unterschied zu vernachlässigen. Von hoher Bedeutung ist aber eine geeignete Anbieterstruktur auf dem Versicherungsmarkt. Offensichtlich ist eine vollständige Internalisierung externer Effekte nicht auf einem kompetitiven Versicherungsmarkt möglich, denn Tierseuchenversicherer sind unter Wettbewerbsbedingungen nur insoweit bereit, die positiven externen Effekte erhöhter Risikomanagementstandards durch Prämienenkungen zu honorieren, wie diese das Tierseuchenrisiko ihres eigenen Versicherungskollektivs reduzieren. Die externen Effekte des Risikomanagements, die sich in den Portfolios von Konkurrenten realisieren, werden dagegen vernachlässigt. Eine zufriedenstellende Internalisierung externer Effekte durch Versicherung ist nur dann möglich, wenn zumindest die Tierproduzenten einer Region, zwischen denen aufgrund von örtlicher Nähe oder Häufigkeit von direkten und indirekten Kontakten signifikante Ansteckungsrisiken bestehen, bei einem Monopol-Pflichtversicherer versichert sind. Nur dann erzeugt die Pflichtversicherung eine hinreichend internalisierende Prämienstruktur.

Aufgrund der Interdependenzen des Risikos hochinfektiöser Tierseuchen erfordert die Internalisierung der externen Effekte des Risikomanagements über eine internalisierende Prämienstruktur theoretisch die Etablierung eines Monopol-Pflichtversicherers mit globaler Zuständigkeit, was unrealistisch erscheint. Eine weitgehende Berücksichtigung der Interdependenzen des individuellen Risikomanagements kann aber schon durch die Etablierung regionaler Pflichtversicherer erreicht werden, wenn die Regionen so abgegrenzt werden, dass ein Großteil der Interdependenzen erfasst wird. Deshalb sollten Gebiete, die sich durch eine hohe Tierproduktionsintensität

---

<sup>54</sup>Vgl. Hofmann [2007], S. 107 f.

oder durch stark vernetzte Produktionsprozesse auszeichnen, durch einen regionalen Monopol-Pflichtversicherer bedient werden.

Aus ordnungspolitischer Sicht sind gewinnmaximierende Monopol-Pflichtversicherer äußerst unattraktiv. Zudem könnten die Prämien alloktionsschädliche Desinvestitionen im Tierproduktionssektor auslösen, sofern Versicherer Prämien fordern, die zur Aufgabe der Tierproduktion führen.<sup>55</sup> Dies spricht für die Etablierung eines *öffentlichen* Pflichtversicherers, dessen Aufgabe in der Bereitstellung von Versicherungsdeckung zur Absicherung des Tierseuchenrisikos individueller Tierproduzenten liegt. Allerdings muss ein öffentlicher Pflichtversicherer aus seiner monopolistischen Sicht risikogerecht, also internalisierend tarifieren. Die den Tierproduzenten in Abhängigkeit ihres Risikomanagements angebotenen Versicherungsprämien werden nach den internen und externen Effekten des Risikomanagements differenziert. Die mit einer internalisierenden Prämienstruktur zur Versicherung des Tierseuchenrisikos verpflichteten Tierproduzenten implementieren daraufhin die effizienten Teilstrategien  $\Psi_i^*(y(t), t)$ , welche die Höhe ihrer erwarteten Risikokosten, das heißt der Summe aus ihren Präventionskosten und Versicherungsprämien, minimiert.

Auch die Pflichtversicherung wirkt als Preiskorrektiv, da sie die Grenzkosten des Risikomanagements über die Höhe der vom Risikomanagement abhängigen, internalisierenden Prämien verändert. Die Wahl der Intensität konkreter Risikomanagementmaßnahmen bleibt den Tierproduzenten überlassen. Die internalisierende Prämienstruktur ist dynamisch effizient, indem sie Anreize zur Entwicklung risikoarmer Produktionsweisen bietet. Die Informationsanforderungen an den Pflichtversicherer beschränken sich - in Bezug auf die Internalisierungswirkung der Prämien - auf die Höhe der externen Effekte in Abhängigkeit des Risikomanagements und sind damit geringer als bei der Internalisierung durch gesetzliche Vorschriften. Die externen Effekte sind über die Auswirkungen des individuellen Risikomanagements auf Kontaktraten und Übertragungswahrscheinlichkeiten im Rahmen der epizootologischen Risikokostenmodellierung, wo allenfalls zwischen Betriebstypen differenziert werden kann, grundsätzlich leichter abzuschätzen als betriebspezifische Risikomanagementkosten.

Die Implementierung des Internalisierungsinstruments öffentlicher Pflichtversicherer weist entscheidende Vorteile gegenüber gesetzlichen Vorschriften, Steuern und Subventionen auf. Während es rechtlich und politisch problematisch erscheint, sehr differenzierte Steuern, Subventionssätze oder Auflagen zum Risikomanagement in Betrieben eines Landes anzuwenden, ist eine individuelle, risikogerechte Prämienermittlung in der Sachversicherung allgemein üblich und weitgehend anerkannt. Zudem kann durch die Pflichtversicherung das Problem des rationalen Desinteresses<sup>56</sup>

---

<sup>55</sup>Die Pflichtversicherung ermöglicht eine Überabschöpfung der Konsumentenrente im Versicherungsmarkt und ist daher nicht grundsätzlich alloktionsschädlich. Vgl. Stiglitz [1977], S.407.

<sup>56</sup>Bei rationalem Desinteresse an der Versicherung des Tierseuchenrisikos kann die Ineffizienz des individuellen Risikomanagements im Vergleich zum second-best sogar

an der Versicherung des Tierseuchenrisikos vermieden werden, das durch die Antizipation von ad hoc Kompensationen der Verluste aus Katastrophenereignissen durch die Regierung hervorgerufen wird.<sup>57</sup> Auch empirische Untersuchungen legen nahe, dass öffentliche Pflichtversicherer positive Auswirkungen auf die Effizienz im Risikomanagement haben und darüber hinaus Versicherungsschutz zu relativ geringen Transaktionskosten erstellen können, denn im Vergleich zu privaten Anbietern im Wettbewerb entstehen kaum Werbe- und Vertriebsaufwendungen.<sup>58</sup> Die zur Internalisierung notwendige Prämiendifferenzierung nach lokalen und betrieblichen Faktoren, die investiv sind oder das Produktionssystem bzw. das Tierseuchenrisiko für die Dauer der Vertragslaufzeit kennzeichnen, ist leicht umzusetzen. Zu diesen Faktoren gehören zum Beispiel die Betriebsgröße, das Produktionssystem, das unter anderem die Transportintensität eines Betriebes vorgibt, die Herkunft von Transporten, die lokale Intensität der Tierproduktion, die im Routinebetrieb eingehaltenen Biosicherheitsstandards und bauliche Eigenschaften des Betriebes, die das Risiko direkter und indirekter Kontakte bestimmen.

Als letzten Staatseingriff zur Internalisierung der externen Effekte des individuellen Risikomanagements betrachten wir das *Haftungsrecht*. Das Haftungsrecht gibt vor, unter welchen Umständen der Verursacher eines Schadens dem Geschädigten eine Entschädigung für den Schaden erstatten muss. Die Höhe dieser Entschädigung sowie die Umstände, unter denen es zu einem Entschädigungsanspruch kommt, werden grundsätzlich durch die Ausgestaltung des Haftungsregimes und im Einzelfall durch die gerichtliche Bewertung haftungsrelevanter Tatbestände festgelegt.<sup>59</sup> Tierproduzenten fügen Dritten einen Schaden zu, wenn sich ihre Herden mit hochinfektiösen Tierseuchen infizieren und diese auf andere Herden übertragen. Wenn ein Tierproduzent für die Risikokosten Dritter haftet, die er verursacht, berücksichtigt er sie in seinen Risikomanagemententscheidungen. Das Haftungsrecht bewirkt dadurch eine marktkonforme Internalisierung externer Effekte und entfaltet Anreize zur Entwicklung risikoarmer Produktionsstrukturen.

Die Informationsanforderungen scheinen bei der Internalisierung externer Effekte über das Haftungsrecht, sofern es als Gefährdungshaftung ausgestaltet ist, wesentlich geringer zu sein als bei den bislang diskutierten Staatseingriffen. Das Haftungsrecht internalisiert externe Effekte ex post, wenn sie sich in Form von Reaktionskosten realisiert haben. Insofern erscheint die ex ante Quantifizierung externer Effekte in Abhängigkeit der individuellen Teilstrategien  $\Psi_i^*(y(t), t)$ , die bei den bislang diskutierten Internalisierungsansätzen erforderlich ist, unnötig. Angesichts der Größe des Risikos hochinfektiöser Tierseuchen ist aber eine Pflichtversicherung des Haf-

---

noch verstärkt werden. Vgl. Kaplow [1991].

<sup>57</sup>Vgl. Faure [2004], S. 1. Insbesondere eine an ihrer Wiederwahl interessierte Regierung kann sich den Kompensationserwartungen nur schwer entziehen.

<sup>58</sup>Vgl. Ungern-Sternberg [2002] und [1996], Felder [1996] und Epple und Schäfer [1996].

<sup>59</sup>Vgl. Schäfer und Ott [2000], S. 145-200.

tungsrisikos notwendig, um Anreizprobleme in Verbindung mit begrenzter Haftung zu vermeiden.<sup>60</sup> Eine ex ante Bestimmung der Risikoexternalitäten ist deshalb auf Seiten der Haftpflichtversicherer notwendig, so dass dieser Internalisierungseingriff letztlich nicht weniger komplex als die bislang untersuchten Staatseingriffe ist.

Ein gravierender Nachteil des Haftungsrechts zur Internalisierung der externen Effekte des individuellen Risikomanagements ist die Notwendigkeit der Identifikation eines Verursachers.<sup>61</sup> Selbst wenn alle implementierten Teilstrategien beobachtbar sind, ist der erforderliche Kausalitätsnachweis zwischen Aktivität und Schaden in der Regel schwer zu erbringen.<sup>62</sup> Hinzu kommt, dass das Risiko der Ausbreitung hochinfektiöser Tierseuchen nicht nur durch Risikomanagementmaßnahmen von Tierproduzenten mit infizierten Herden, sondern stets auch durch Biosicherheitsmaßnahmen der Tierproduzenten von Empfängerherden beeinflussbar ist. Die Implementierung des effizienten Risikomanagements mit Hilfe des Haftungsrechts setzt demzufolge eine Haftung bei Mitverschulden voraus.<sup>63</sup> Die Bestimmung der angemessenen Haftungsaufteilung stellt sehr hohe Anforderungen an die damit befassten Gerichte und ist vielfach gar nicht möglich. Diese Einschätzung gilt selbst für die ökonomisch bedeutsamsten und deshalb sehr detailliert untersuchten Seuchenausbrüche, bei denen nur Teilelemente der Kausalitätskette von Seucheneinschleppung oder -ausbreitung nachgewiesen werden konnten.

Beispielsweise kann der Ausbruch der klassischen Schweinepest in Europa, der zur Epizootie 1997/98 in den Niederlanden geführt hat, darauf zurückgeführt werden, dass ein Tierproduzent aus Deutschland erregerbelastetes Schweinefutter nicht - wie gesetzlich vorgeschrieben - ausreichend erhitzt hat.<sup>64</sup> Die Frage nach möglichen Verursachern von Schäden ist im darauf folgenden Verlauf der Epizootie schwerer zu beantworten. Zwar konnte auch der Einschleppungsweg in die Niederlande, ein kontaminierter Tiertransporter, mit hoher Sicherheit ermittelt werden. Auf ein Verschulden im Sinne der Verschuldenshaftung kann auf dieser Grundlage nicht zwangsläufig geschlossen werden, da eine Dekontamination des Fahrzeugs angesichts der damaligen Kälteperiode selbst durch eine sorgfältige Reinigung und Desinfektion nicht unbedingt gewährleistet werden konnte.<sup>65</sup> Ursächlich für die (nur lückenhaft geklärte) weitere Ausbreitung des Erregers sind unter anderem die hohe Produktionsintensität in Süden der Niederlande, Transportaktivitäten und insbesondere die fehlende Sensibilisierung und das mangelnde Gefahrenbewusstsein der Tierproduzenten.<sup>66</sup> Die Spezifikation eines Haftungssystems, das eine adäquate Haftungsaufteilung gewährleistet und dadurch eine Internalisierung der externen Effekte und effiziente indi-

---

<sup>60</sup>Vgl. Shavell [1986].

<sup>61</sup>Vgl. Schäfer und Ott [2000], S. 241-245.

<sup>62</sup>Vgl. Jansson et al. [2005], S. 1.

<sup>63</sup>Vgl. Fritsch et al. [2005], S. 145.

<sup>64</sup>Vgl. Court of Auditors [2000], S. 15.

<sup>65</sup>Vgl. Stegeman et al. [2000], S. 186. Letztlich hängt dies natürlich von der Definition des Sorgfaltsstandards ab.

<sup>66</sup>Vgl. Stegeman et al. [2000], S. 186.

viduelle Tierseuchen-Risikomanagemententscheidungen bewirkt, ist angesichts der vielen in Frage kommenden Einschleppungs- und Ausbreitungswege hochinfektiöser Tierseuchen und der Bedeutung zufälliger Einflüsse nicht möglich. Entsprechend gering sind unter diesen Umständen die vom Haftungsrecht ausgehenden Risikomanagementanreize.<sup>67</sup>

Schließlich sind bei einer Internalisierung externer Effekte des Risikomanagements über das Haftungsrecht gravierende Nachteile für die Seuchenbekämpfung zu erwarten. Im Fall eines Seuchenausbruchs sind die Veterinärbehörden auf schnelle und detaillierte Informationen durch die Tierproduzenten angewiesen. Dies betrifft zunächst die Seuchenverdachtsmeldung, aber auch die Angabe zu Transporten von Tieren und Tierfutter, weiteren Produktionsaktivitäten, Kontakten und Krankheitssymptomen in den letzten Wochen und Monaten vor Seuchenausbruch. Setzen sich Tierproduzenten bei diesen Angaben einem potentiellen Haftungsrisiko aus, werden sie tendenziell weniger umfassende Auskünfte erteilen und im Extremfall Falschmeldungen abgeben oder sogar ganz auf die Seuchenverdachtsmeldung verzichten, was sich negativ auf die Reaktionsgeschwindigkeit bei der Seuchenbekämpfung sowie kontraproduktiv auf das Tracing potentieller Ansteckungen auswirkt. Gesetzgeberische Aktivitäten hinsichtlich der Haftung von Tierproduzenten bei Epizootien zielen deshalb vielmehr auf einen Schutz vor Haftungsansprüchen als auf einen Ausbau ihrer Haftung ab, um die effiziente Seuchenbekämpfung nicht zu gefährden.<sup>68</sup>

Unter den marktkonformen Ansätzen zur Internalisierung externer Effekte, die darauf abzielen, die Kosten der Durchführung von Risikomanagementmaßnahmen so zu verändern, dass Tierproduzenten aus eigenem Optimierungskalkül heraus effiziente Risikomanagemententscheidungen treffen, ist die Pflichtversicherung der geeignete Internalisierungsansatz. Dabei treten weder die beim Haftungsrecht bestehenden Probleme der Ermittlung eines Verursachers und kontraproduktiver Auswirkungen bei der Seuchenbekämpfung auf, noch bereitet eine nach betrieblichen und regionalen Faktoren differenzierte Ausgestaltung Schwierigkeiten bei der Umsetzung, die bei einer Besteuerung oder Subventionierung risikorelevanter Aktivitäten zu erwarten ist.

Die Abhängigkeit der effizienten Teilstrategie  $\Psi_i^*(y(t), t)$  von dem epizootiologischen Zustand ist für die als Preiskorrektive wirkenden Internalisierungsansätze generell problematisch, da sie nicht permanent und unmittelbar an neue Gegebenheiten angepasst werden können. Die für die effiziente Teilstrategie  $\Psi_i^*(y(t), t)$  relevanten Merkmale des aktuellen epizootiologischen Zustands sind zum einen, ob eine Tierseuche in der Region des Tierproduzenten  $i$  und in seinen Kontaktregionen endemisch oder exotisch ist. Diese Merkmale ändern sich im Zeitablauf relativ langsam. Das Ausrotten einer Tierseuche aus einem Wildtierbestand bzw. das Festsetzen der Seuche in einem Bestand ist in der Regel ein langandauernder Prozess, so dass

---

<sup>67</sup>Vgl. Karten und Richter [1998], S. 431.

<sup>68</sup>Vgl. zum Beispiel das Animal Diseases Legislation Amendment der australischen Provinz New South Wales.

die Anpassung der Internalisierungsmechanismen an den epizootiologischen Zustand möglich ist. Von erheblicher Bedeutung ist zum anderen, ob der aktuelle epizootiologische Zustand von Seuchenfreiheit oder von der Präsenz einer hochinfektiösen Tierseuche im Nutztierbestand einer Region gekennzeichnet ist. Nach Entdeckung eines Seuchenausbruchs ist die sofortige Anpassung von Biosicherheitsstandards in der betroffenen Region und in Kontaktregionen notwendig. Die erforderliche Reaktionsgeschwindigkeit des Internalisierungsmechanismus kann nur beim Einsatz gesetzlicher Vorschriften in Form von Notfallauflagen erreicht werden. Fehlende dynamische Effizienzreize sind aufgrund des zeitlich begrenzten Einsatzes der Vorschriften unproblematisch.

Ist die effiziente Intensität einer Risikomanagementmaßnahme von der Ausprägung lokaler oder betrieblicher Faktoren und vom aktuellen epizootiologischen Zustand unabhängig, ist die gesetzliche Vorgabe im Rahmen von allgemeinen Risikomanagementstandards sinnvoll, da ihre Implementierung durch eine einmalige Gesetzgebung weniger Aufwand verursacht als eine Preiskorrektur, die permanent aufrecht erhalten werden muss.

### 4.2.3 Staatliche Durchführung des Risikomanagements

Die Abgrenzung zwischen individuellen und kollektiven Maßnahmen des Risikomanagements ist nicht exogen vorgegeben, sondern stellt einen Gegenstand der Analyse bzw. eine Variable in der Ausgestaltung des Internalisierungssystems beim Risikomanagement hochinfektiöser Tierseuchen dar. Wenn nationale Veterinärbehörden erfolgreich kooperieren, vereinbaren sie die Durchführung effizienter kollektiver Risikomanagementmaßnahmen sowie die zentrale Koordination des individuellen Risikomanagements auf ihrem Staatsgebiet, die zur Implementierung effizienter individueller Risikomanagementmaßnahmen führt. Anstatt die Effizienz des individuellen Risikomanagements durch internalisierende Staatseingriffe zu erreichen, kann sich eine nationale Veterinärbehörde auch dafür entscheiden, individuelle zu kollektiven Maßnahmen umzudefinieren und sie selbst durchzuführen. Dies stellt zwar keine Internalisierung externer Effekte dar,<sup>69</sup> trägt aber gleichermaßen zur Umsetzung der effizienten Risikomanagementstrategie  $\Psi^*(y(t), t)$  bei.

Die optimale Abgrenzung zwischen kollektiven und individuellen Risikomanagementmaßnahmen lässt sich durch eine Analyse komparativer Vorteile im Risikomanagement zwischen Tierproduzenten und Veterinärbehörden bestimmen.<sup>70</sup> Ein offensichtliches Kriterium ist die Betriebsbezogenheit des Risikomanagements. Tierproduzenten haben in der Regel komparative Kostenvorteile bei der Durchführung betrieblicher Risikomanagementmaßnahmen, zum Beispiel bei der regelmäßigen Über-

<sup>69</sup>Vgl. Fritsch et al. [2005], S. 109.

<sup>70</sup>Zudem sind die Kontrollkosten für die optimale Abgrenzung zwischen individuellen und kollektiven Maßnahmen relevant, wenn individuelle Risikomanagementmaßnahmen nicht oder nur sehr eingeschränkt beobachtbar sind. Diese Thematik wird in Abschnitt 5.1 untersucht.

prüfung der Herdengesundheit und bei der (routinemäßigen oder im Krisenfall verschärften) betrieblichen Biosicherheit, da sie ihren Betrieb kennen und ohnehin vor Ort sind. Da eine Vielzahl von Entscheidungen der Produktionssteuerung risikorelevant ist, zum Beispiel die lokale Produktionsintensität, die Transportintensität eines Produktionssystems oder die Herkunft von Inputs in der Tierproduktion, ist eine kollektive Bereitstellung betrieblicher Risikomanagementmaßnahmen ohne eine de facto Verstaatlichung der Tierproduktion gar nicht möglich. *Betriebsbezogene Präventions- und Reaktionsmaßnahmen* sind deshalb im Allgemeinen individuell. Ihre effiziente Durchführung sollte daher durch die Prämienpolitik eines öffentlichen Monopol-Pflichtversicherers, durch allgemeine Risikomanagementstandards und - in Krisenzeiten - durch temporäre Notfallauflagen gewährleistet werden.

Nicht betriebsbezogen ist zum Beispiel die taktische Steuerung der Seuchenbekämpfung. Die Bedeutung der Reaktionsgeschwindigkeit spricht dafür, dass die hierarchische Ordnung staatlicher Institutionen wie der Veterinärbehörde möglichen dezentralen Entscheidungsprozessen im Krisenmanagement generell überlegen ist. Auch bei der Implementierung mancher Reaktionsmaßnahmen ist von komparativen Vorteilen nationaler Veterinärbehörden auszugehen. Dies betrifft zum Beispiel arbeitsintensive Maßnahmen wie die Durchführung von Not- und Präventivschlachtungen, die Beseitigung von Tierkadavern, die Absperrung von Gebieten oder die Notimpfung von Herden, die nationale Veterinärbehörden mit Hilfe der Kapazitäten des Militärs oder technischer Hilfsdienste deutlich schneller umsetzen können.<sup>71</sup> Die *nicht betriebsbezogenen Reaktionsmaßnahmen* stellen aufgrund der schnelleren Entscheidung und effektiveren Implementierung kollektive Risikomanagementmaßnahmen dar.

Weniger eindeutig ist die Abgrenzung im Hinblick auf *nicht betriebsbezogene Präventionsmaßnahmen* wie regionale Biosicherheitsmaßnahmen, die Entwicklung von Notfallplänen, die Kontrolle von Importverboten und die Überwachung von endemischen Krankheiten im Bestand von Wildtieren. Es liegen keine plausiblen Gründe für die Existenz von komparativen Vor- oder Nachteilen bei Implementierung dieser Maßnahmen durch eine nationale Veterinärbehörde vor. Ein alternativer Ansatz bestünde darin, dass der Monopol-Pflichtversicherer effiziente, nicht betriebsbezogene Präventionsmaßnahmen durch Prämien finanziert und implementiert.<sup>72</sup> Der Monopol-Pflichtversicherer gewährleistet dann nicht nur die Versicherung des Tierseuchenrisikos und die Internalisierung der externen Effekte des individuellen Risikomanagements, sondern übernimmt zudem die Implementierung nicht betriebsbe-

---

<sup>71</sup>Vgl. NAO [2002], S. 45.

<sup>72</sup>Ohne eine zentrale Koordination zur Internalisierung der externen Effekte nicht betriebsbezogener Präventionsmaßnahmen würden wieder die anhand der Interdependent Security Modelle dargestellten Ineffizienzen auftreten. Treffender kann die Bereitstellungsproblematik nicht betriebsbezogener Präventionsmaßnahmen anhand des Free-Rider Phänomens bei der privaten Bereitstellung öffentlicher Güter dargestellt werden. Die zentrale Erkenntnis verändert sich jedoch dadurch nicht: Tierproduzenten führen tendenziell zu wenig Prävention durch. Vgl. Cornes und Sandler [1996], S. 26-30.

zogener Präventionsmaßnahmen, die als individuelle Risikomanagementmaßnahmen eingeordnet sind und deshalb nicht staatlich bereitgestellt werden. Diese Aufgabe nehmen zum Beispiel die kantonalen Gebäudeversicherungen in der Schweiz wahr, die Feuerwehren ausbilden, koordinieren und finanzieren, Brandschutznormen entwickeln und präventive Aspekte in die Prozesse der Raumplanung einbringen.<sup>73</sup> Aus den positiven Erfahrungen aus dem Bereich der öffentlichen Gebäudeversicherungen in der Schweiz kann aber nicht generell auf komparative Vorteile bei der Implementierung nicht betriebsbezogener Präventionsmaßnahmen durch den Pflichtversicherer geschlossen werden.

### 4.3 Effiziente Finanzierung der Risikokosten

Die Analyse externer Effekte hat gezeigt, dass effizientes Management des Risikos hochinfektiöser Tierseuchen die Koordination der Risikomanagementaktivitäten aller Agenten voraussetzt. Die Möglichkeiten zur Korrektur des durch externe Effekte der Risikomanagementmaßnahmen bedingten Marktversagens unterscheiden sich ganz erheblich nach der Art der Agenten, die die entsprechenden Maßnahmen durchführen. Zur Internalisierung der externen Effekte des kollektiven Risikomanagements ist ausschließlich die dezentrale Kooperation im Rahmen internationaler Verhandlungen oder Organisationen möglich, wohingegen die externen Effekte individueller Maßnahmen - auf nationaler Ebene - durch staatliche Markteingriffe internalisiert werden können.<sup>74</sup> Die Internalisierungsansätze, die an der *Finanzierung* der Risikomanagementmaßnahmen ansetzen, sind prinzipiell unabhängig von der Verantwortung für die *Durchführung* der Maßnahmen, die sich an den komparativen Vorteilen von nationalen Veterinärbehörden oder individuellen Tierproduzenten ausrichten sollte.<sup>75</sup>

Einerseits ist die Implementierung der Strategie  $\Psi^*(y(t), t)$  das Ergebnis der Internalisierung. Sie minimiert die erwarteten Risikokosten  $\mathbb{E}[x]$  im Betrachtungszeitraum  $[t_0; T]$ . Andererseits wird durch das Ergebnis der Analyse geeigneter Internalisierungsansätze die Finanzierung der Risikokosten teilweise festgelegt. Die im Rahmen der dezentralen Kooperation zwischen nationalen Veterinärbehörden vereinbarten finanziellen Transfers und gegebenenfalls technischen und personellen Beiträge sowie die Absprachen zur zentralen Koordination des individuellen Risikomanagements bestimmen die auf das Staatsgebiet der Veterinärbehörde  $n$  entfallenden erwarteten Risikokosten  $\mathbb{E}[x_n]$ . Der wirtschaftspolitischen Gestaltung unterliegt dagegen die genaue Aufteilung von  $\mathbb{E}[x_n]$  auf die erwarteten Risikokosten  $\mathbb{E}[x_i]$  der innerhalb der Länder ansässigen Tierproduzenten in Form von Versicherungsprämien und Präventionskosten. Die optimale Verteilung der Finanzierungslast für die auf einen Staat entfallenden Risikokosten  $\mathbb{E}[x_n]$  ist Untersuchungsgegenstand dieses

<sup>73</sup>Vgl. Ungern-Sternberg [2002], S. 129 f.

<sup>74</sup>Vgl. Kirchgässner [2000], S. 13-15.

<sup>75</sup>Vgl. Jansson et al. [2005], S. 1.

Abschnitts.

Eindeutige Finanzierungswirkungen ergeben sich aus den eingesetzten Internalisierungsinstrumenten im Hinblick auf individuelle Präventionskosten. Tierproduzenten tragen grundsätzlich die Kosten der Einhaltung von allgemeinen Risikomanagementstandards und Notfallauflagen. Die internalisierende Prämienstruktur setzt zudem Anreize für weitergehende, betriebsindividuelle Präventionsstandards. Auch diese Kosten werden von den jeweiligen Tierproduzenten getragen. Zudem finanzieren die Tierproduzenten über ihre Versicherungsprämien die individuellen Reaktionskosten bei Seuchenausbrüchen, die vom zuständigen Pflichtversicherer entschädigt werden. Ungeklärt ist jedoch die Finanzierung der mit der Durchführung kollektiver Risikomanagementmaßnahmen verbundenen Kosten, die nicht unmittelbar bei den Tierproduzenten anfallen. Dabei geht es um die Kosten kollektiver Präventionsmaßnahmen sowie um die Kosten der Organisation und Durchführung von Reaktionsmaßnahmen.

Die nationalen Veterinärbehörden sind zwar Entscheidungsträger im Interdependent Security Problem des Risikomanagements hochinfektiöser Tierseuchen, aber keine Wirtschaftssubjekte, die die Möglichkeit zur Erzielung von Einkommen und zur Finanzierung von Risikokosten haben. Werden die Kosten kollektiver Risikomanagementmaßnahmen aus dem allgemeinen Steueraufkommen finanziert, entspricht dies einer Quersubventionierung des Tierproduktionssektors durch die Steuerzahler. Diese Subventionierung ist im Allgemeinen abzulehnen, denn sie dient nicht der Korrektur eines Marktversagens. Stattdessen birgt sie die Gefahr, dass eine ineffiziente, zu risikoreiche Produktionsstruktur geschaffen oder aufrecht erhalten wird, weil sie mit erhöhten Subventionen einher geht. Wenn Form und Ausmaß der Produktion von Tieren gesamtgesellschaftlich sinnvoll ist, sollten die damit verbundenen Kosten, inklusive der Risikokosten, durch den Tierproduktionssektor erwirtschaftet werden. Deshalb ist eine Finanzierung dieser Kosten durch Abgaben aus dem Sektor vorzuziehen, da sie keine intersektoralen Verzerrungen auslöst. Allerdings ist eine risiko- und verursachungsgerechte Erhebung von Abgaben sehr unwahrscheinlich. Wie bei dem im vorangegangenen Abschnitt diskutierten Internalisierungsansatz durch Steuern und Subventionen erscheint die erforderliche Differenzierung von Abgaben nicht umsetzbar. Die Abgabenfinanzierung der mit dem kollektiven Risikomanagement verbundenen Kosten bewirkt deshalb Umverteilungen innerhalb des Tierproduktionssektors, die wiederum zur Entstehung ineffizienter Produktionsstrukturen im Sektor beitragen.

Die Finanzierung kann jedoch auch über die internalisierenden Prämien des Pflichtversicherers gesichert werden. Diese Vorgehensweise weist gegenüber der Steuer- oder Abgabenfinanzierung zwei systematische Vorteile auf: Zum einen löst sie keine inter- und intrasektoralen Verzerrungen aus. Zum anderen verstärkt sie die von der internalisierenden Prämienstruktur ausgehenden Risikomanagementanreize, denn die Prämien werden in Abhängigkeit der Auswirkungen der Teilstrategien  $\Psi_i(y(t), t)$

auf den Erwartungswert der gesamten, inklusive der im Zuge der Organisation und Durchführung kollektiver Risikomanagementmaßnahmen anfallenden Risikokosten differenziert. Der öffentliche Monopol-Pflichtversicherer fungiert dann, je nach Zuschnitt, als eine nationale oder regionale Institution zur Finanzierung der Risikokosten hochinfektiöser Tierseuchen.

Die Optimalität der ausschließlichen Finanzierung von Risikokosten durch internalisierende Versicherungsprämien ist gewährleistet, wenn die Annahme der Minimierung der auf ihrem Staatsgebiet anfallenden, erwarteten Risikokosten durch eine nationale Veterinärbehörde zutreffend ist und international erfolgreich kooperiert wird. Rückt man von dieser Annahme ab und lässt *Staatsversagen* zu, kann die teilweise Subventionierung von Risikokosten ökonomisch gerechtfertigt werden. Es ist zum Beispiel denkbar, dass die Entscheidungsträger in den nationalen Veterinärbehörden keine risikokostenminimierenden Entscheidungen treffen. Wenn sie einen Informationsvorsprung hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen Risikomanagement und Risikokosten haben, könnte ihre Performance von der Öffentlichkeit primär durch das Ausbleiben oder die schnelle Eindämmung von Ausbrüchen hochinfektiöser Tierseuchen beurteilt werden, und nicht danach, ob eine risikokostenminimierende Teilstrategie kollektiver Maßnahmen implementiert wurde. Zudem besteht die Tendenz zu einer zu intensiven oder ineffizienten Durchführung kollektiver Maßnahmen, wenn Faktoren wie das Einkommen oder das Ansehen der in den nationalen Veterinärbehörden beschäftigten Bürokraten positiv mit der Menge an öffentlichen Gütern, die sie bereit stellen, korreliert sind.<sup>76</sup> Werden die Entscheidungen nationaler Veterinärbehörden ausschließlich von dem öffentlichen Monopol-Pflichtversicherer bzw. von den Prämien der Tierproduzenten finanziert, sind die Möglichkeiten zur Kontrolle und Vermeidung dieser ausgabenmaximierenden Verhaltensweisen begrenzt.

Eine wirksamere Kontrolle ist dagegen möglich, wenn ein Teil der Risikokosten aus öffentlichen Geldern finanziert wird. Dadurch konkurriert das veterinärmedizinische Budget mit alternativen Verwendungsmöglichkeiten, und die Entscheidungen nationaler Veterinärbehörden unterliegen in vollem Umfang der demokratischen Kontrolle bzw. dem Parteienwettbewerb. Die kollektive Finanzierung von Teilen der Risikokosten entfaltet darüber hinaus positive Effizianzanreize, wenn ein unmittelbarer Einfluss der Veterinärbehörde auf die Ausgabenhöhe besteht, zum Beispiel bei den Kosten der Organisation und Durchführung von Seuchenbekämpfungsmaßnahmen wie Schlachtungen und Absperrungen von Hochrisikogebieten. Allerdings stellen diese Beispiele mit der Realisation des Tierseuchenrisikos steigende Subventionen dar, was die Entstehung zu risikoreicher Produktionsstrukturen bewirken kann.

Öffentliche Finanzierung ist zudem bei komparativen Finanzierungsvorteilen des Staats vorteilhaft, zum Beispiel die staatliche Refinanzierung des Monopol-Pflichtversicherers für den Fall, dass die Kompensationszahlungen die Prämieinnahmen

---

<sup>76</sup>Vgl. Fritsch et al. [2005], S. 404-409.

und Reserven des Pflichtversicherers überschreiten. Dadurch entstünden zunächst weder effizienzmindernde Verzerrungen, noch Transaktionskosten, die zum Beispiel bei der Abgabe von Katastrophenlayern auf Rückversicherungsmärkten erheblich sein können. Erst nach Inanspruchnahme der staatlichen Refinanzierungsgarantie können Verzerrungen auftreten, da die Garantiemittel aus dem Steueraufkommen generiert werden müssen. Durch staatliche Rückversicherung des Monopol-Pflichtversicherers gegen eine Prämienzahlung in Höhe der erwarteten Refinanzierungsleistung kann jedoch auch dieser verzerrende Effekt vermieden werden.

Es zeigt sich, dass das Ausmaß des staatlichen Beitrags in der effizienten Finanzierung der Risikokosten hochinfektiöser Tierseuchen Ergebnis eines Tradeoffs ist: Die Subventionierung von Risikokosten kann die Effizienz des Risikomanagements erhöhen, weil die Entscheidungsträger in den nationalen Veterinarbehörden für die in Verbindung mit dem kollektiven Risikomanagement anfallenden Kosten verantwortlich sind. Mit steigender Subventionierung vernachlässigt der Tierproduktionssektor bzw. der Pflichtversicherer aber zunehmend Interdependenzen des individuellen Risikomanagements, da die entsprechenden Teile der Risikokosten nicht durch internalisierende Versicherungsprämien finanziert werden müssen. Die staatliche Finanzierung von Risikokosten sollte deshalb weitgehend unabhängig von der Realisation des Tierseuchenrisikos sein, so dass sie aus Sicht des Tierproduktionssektors einem allokatonsunschädlichen Pauschaltransfer entspricht. Dazu gehören zum Beispiel die Kosten des Aufbaus und Erhalts der veterinärmedizinischen Infrastruktur sowie die Kosten von Programmen zur Ausrottung endemischer Tierseuchen.

Das dominierende Instrument zur effizienten Finanzierung der Risikokosten  $\mathbb{E}[x_n]$  sind demnach die internalisierenden Versicherungsprämien regionaler Monopol-Pflichtversicherer. Die Internalisierungswirkung hat HOFMANN [2007] im Rahmen eines statischen Modells mit heterogenen Agenten und einer Schadenverhütungsvariable gezeigt. Auf den Kontext des Tierseuchen-Risikomanagements übertragen führt die Erhebung risikoadäquater, internalisierender Versicherungsprämien dazu, dass jeder genau den Erwartungswert der nicht-subventionierten Risikokosten finanziert, der sich in seinem Betrieb und in allen Kontaktbetrieben aufgrund seiner Produktionstätigkeit und den damit verbundenen Risiken ergibt. Dadurch werden die Kosten der durch die Tierproduktion hervorgerufenen Risiken sachgerecht ihren Verursachern zugeordnet, die ihre Teilstrategien so anpassen, dass die erwarteten Risikokosten minimiert werden.

Im Gegensatz zur Modellwelt ist die internalisierende Prämienstruktur dynamisch und mehrdimensional in Bezug auf die zu berücksichtigenden Risikofaktoren. Die Dynamik resultiert einerseits aus der Abhängigkeit der Prämienrelevanz verschiedener Risikomerkmale von dem epizootiologischen Zustand. Die Zunahme der Gefahr einer Einschleppung von H5N1 nach Europa impliziert beispielsweise, dass das Risikomerkmal einer geschlossenen Geflügelproduktion in den Gebieten Europas mit Zugvogelverkehr an Bedeutung gewonnen hat. Andererseits ändert sich die Prä-

mienrelevanz verschiedener Risikomerkmale auch aufgrund von substitutiven oder komplementären Beziehungen zwischen Maßnahmen der Teilstrategien  $\Psi_i^*(y(t), t)$ . Erhöhen die Tierproduzenten eines Gebietes zum Beispiel die Sicherheitsstandards in Bezug auf Tierimporte, verlieren die Biosicherheitsstandards zur Vermeidung von Kontakten innerhalb dieses Gebietes an Bedeutung. Eine exakte Abbildung des Einflusses der Produktionstätigkeit des Betriebs  $i$  auf das Tierseuchenrisiko in Abhängigkeit der Teilstrategie  $\Psi_i^*(y(t), t)$  erscheint angesichts dieser Dynamik und der dadurch regelmäßig wiederkehrenden Notwendigkeit von Prämienanpassungen äußerst aufwendig. Zur Wahrung der Verhältnismäßigkeit der Kosten der Ermittlung internalisierender Versicherungsprämien müssen stattdessen, wie in der Sachversicherung üblich, feste, zum Beispiel einjährige Vertragslaufzeiten vereinbart werden. Auch die Differenzierung muss aus diesem Grund auf eine begrenzte Anzahl auf Risikofaktoren eingeschränkt werden. Neben der Art bzw. dem Wert der Tiere, der Betriebsgröße, der Betriebsart und betrieblichen Biosicherheitsstandards kommen dafür das Produktionssystem, die Transportintensität der Produktion sowie lokale Faktoren in Frage, insbesondere die Produktionsintensität und die Präsenz endemischer Tierseuchen.

#### 4.4 Finanzierung der Risikokosten in der Europäischen Union

In Bezug auf die vorangegangene Analyse der Externalitätenproblematik stellt die Europäische Union in einer Hinsicht eine Besonderheit dar: Ihre Mitgliedstaaten haben einen Teil ihrer Souveränität zugunsten einer Zentralregierung abgegeben.<sup>77</sup> Daher sind in Europa zentrale Koordinationsansätze zur Abstimmung des kollektiven Risikomanagements durch die Veterinärbehörden der EU-Mitgliedstaaten anwendbar, wovon intensiv Gebrauch gemacht wird. Beispielsweise enthält die Richtlinie 91/496/EWG des Rates der Europäischen Union gesetzliche Vorschriften zu den Veterinärkontrollen, die bei Einfuhren von Tieren oder Tiererzeugnissen aus Drittstaaten in die Europäische Union durchgeführt werden müssen. Die Vorgabe hoher Biosicherheitsstandards zur Vermeidung der Einschleppung von Tierseuchen wie MKS in die Europäische Union dient der Internalisierung der externen Effekte regionaler und betrieblicher Präventionsmaßnahmen. Insbesondere seit der Verwirklichung eines gemeinsamen Binnenmarktes, der nicht mit dauerhaften Handelsrestriktionen an Staatsgrenzen innerhalb der Europäischen Union vereinbar ist, hat die Implementierung regionaler Präventionsmaßnahmen an den EU-Außengrenzen an Bedeutung gewonnen. Gesetzliche Vorschriften bestehen in der Europäischen Union auch zur Koordination kollektiver Reaktionsmaßnahmen, wie die Richtlinie 85/511/EWG zur Einführung von Maßnahmen der Gemeinschaft zur Bekämpfung der Maul- und Klauenseuche.

Der dominierende Ansatz zur EU-weiten Koordination des Risikomanagements

---

<sup>77</sup>Vgl. Siebert [2008], S. 10.

besteht jedoch in der Subventionierung der Kosten, die bei der Implementierung des Risikomanagements entstehen. Dabei spielt die Entscheidung 90/424/EWG des Rates der Europäischen Union über Ausgaben im Veterinärbereich eine Schlüsselrolle, die durch die Verordnung 349/2005 der Kommission spezifiziert wurde und die Subventionsregeln aus mehreren Richtlinien und Entscheidungen aus den 70er und 80er Jahren zum Teil vereinheitlicht. Die im Zuge der Durchführung von Reaktionsmaßnahmen anfallenden Reaktionskosten werden den EU-Mitgliedsländern im Allgemeinen zu 50% von der Europäischen Union erstattet, wenn sie als beihilfefähige bzw. erstattungsfähige Ausgaben eingestuft sind. Dazu zählen die Werte der Tiere, Eier, Milch, des Futters und der Gerätschaften, die vernichtet werden müssen, sowie die Kosten der Vernichtung dieser Güter, Ausgaben für Reinigung, Desinfektion und besondere Maßnahmen wie Impfungen.<sup>78</sup> Die *Entschädigung von Tierproduzenten* für ihre Reaktionskosten ist Voraussetzung der Subventionszahlungen an die Mitgliedsländer. Die Regulierung enthält darüber hinaus sogar massive Anreize für die Mitgliedsländer, Tierproduzenten möglichst umgehend nach der Realisation von Reaktionskosten zu entschädigen.<sup>79</sup> Auch Präventionsmaßnahmen werden teilweise von der Europäischen Union subventioniert, zum Beispiel Programme zur Überwachung und Ausrottung endemischer Tierseuchen wie KSP,<sup>80</sup> die Ausstattung und der Betrieb von Verbindungs- und Referenzlaboratorien und die Entwicklung eines Systems zur Erfassung von Tiertransporten.<sup>81</sup>

Der von den Tierproduzenten finanzierte Anteil der Risikokosten hängt maßgeblich von den institutionellen Reglements ab, nach denen die Kompensationszahlungen für die Reaktionskosten der Tierproduzenten in den Mitgliedsländern geleistet werden. Kompensationszahlungen werden manchmal ad hoc geleistet. In der Regel verfügt aber jedes Mitgliedsland über eine oder mehrere Institutionen, die diese Versicherungsfunktion für Tierproduzenten erfüllt.<sup>82</sup> Deren Finanzierungsgrundsätze unterscheiden sich jedoch stark. In einigen Ländern werden die Kompensationen gemeinsam durch die öffentliche Hand und den Tierproduktionssektor finanziert. In Deutschland übernehmen zum Beispiel die Tierseuchenkassen der Bundesländer die Entschädigung der Tierproduzenten. Sie erheben von den Tierbesitzern Beiträge, die letztlich von den Bundesländern festgelegt werden. Grundsätzlich werden die Ausgaben der Tierseuchenkassen, vor Anrechnung der Refinanzierung durch die Subventionen der EU, hälftig von den Bundesländern und den Tierproduzenten finanziert.<sup>83</sup> Das Beitragsniveau orientiert sich deshalb an den Ausgaben vergangener

---

<sup>78</sup>Es bestehen Ausnahmen von der 50 %-Regelung: Ausgaben im Zusammenhang mit der Bekämpfung der Maul- und Klauenseuche werden zu 60 % erstattet, Impfstoffe werden unter Umständen vollständig erstattet. Vgl. Entscheidung 90/424/EWG, Artikel 3 und 11.

<sup>79</sup>Vgl. Verordnung 349/2005, Artikel 9.

<sup>80</sup>Vgl. Richtlinie 80/217/EWG.

<sup>81</sup>Vgl. Entscheidung 90/424/EWG, Artikel 27, 28 und 37.

<sup>82</sup>Vgl. Alleweldt et al. [2006], S. 34 f.

<sup>83</sup>Vgl. Walsh [2005].

Jahre. Die Tierseuchenkassen sorgen damit für eine interpersonelle und eine intertemporale Glättung der Reaktionskosten für die Tierproduzenten. Von den Möglichkeiten zur Beitragsdifferenzierung wird im Allgemeinen wenig Gebrauch gemacht. Die Tierseuchenkasse Niedersachsen erhebt zum Beispiel für das Jahr 2010 einen Beitrag von 9,50 Euro pro Rind, 0,35 Euro pro Schwein und 0,0275 Euro pro Masthähnchen. Neben der Bestandsgröße wird lediglich die Freiheit des Betriebes von dem bovinen Herpesvirus als Risikomerkmal berücksichtigt, die den Jahresbeitrag für ein Rind auf 4,50 Euro reduziert.<sup>84</sup> In anderen EU-Mitgliedsländern wird die Entschädigung beim Ausbruch hochinfektöser Tierseuchen ausschließlich durch die öffentliche Hand finanziert, zum Beispiel in Schweden, Finnland, Dänemark und in Großbritannien.<sup>85</sup> In Spanien werden Kompensationszahlungen beim Ausbruch von Tierseuchen der ehemaligen Liste A der OIE auf Basis des nationalen Tiergesundheitsrechts unter Verwaltung der 17 spanischen Regionen geleistet. Vor Anrechnung der Refinanzierung durch die Subventionen der EU werden diese Zahlungen jeweils zur Hälfte von der nationalen und von den Provinzregierungen finanziert.<sup>86</sup>

Die umfangreiche Subventionierung von Risikokosten verursacht inter- und intrasektorale Verzerrungen, die Ineffizienzen in der Tierproduktion und im Management des Risikos hochinfektöser Tierseuchen hervorrufen.<sup>87</sup> Wir fassen diese negativen Auswirkungen der Finanzierung von Risikokosten in der Europäischen Union unter dem Begriff des *Subventionsproblems* zusammen. Intersektorale Verzerrungen entstehen durch die systematische Subventionierung des Tierproduktionssektors zu Lasten anderer Sektoren. Der Teil der Risikokosten, der durch die EU-Subventionen und die Beteiligung der EU-Mitgliedsländer an ihren Entschädigungsinstitutionen finanziert wird, stellt eine Umverteilung von den europäischen Steuerzahlern in den Tierproduktionssektor dar. Die Refinanzierung von Risikokosten durch EU-Subventionen und die institutionellen Arrangements zur Kompensation von Reaktionskosten in den EU-Mitgliedsländern bewirken, dass ein signifikanter Teil der Produktionskosten von Tieren und Tierprodukten, die Risikokosten hochinfektöser Tierseuchen, teilweise oder ganz von der Gesellschaft übernommen werden. Die Folge dieser Umverteilungen zugunsten des Tierproduktionssektors ist eine ineffiziente Allokation in der Produktion, die einen Verlust an gesamtwirtschaftlicher Wohlfahrt impliziert. Diese intersektoralen Verzerrungen könnten durch eine Finanzierung der gesamten Risikokosten aus dem Tierproduktionssektor vermieden werden.

Die Wohlfahrtsverluste in Folge der intersektoralen Verzerrungen wären akzeptabler, wenn durch die Subventionen die richtigen Anreize gesetzt werden. Dies ist jedoch aufgrund der konkreten Ausgestaltung des Subventionssystems nicht durchgehend der Fall. Die Subventionierung kollektiver Präventionsmaßnahmen zur Aus-

---

<sup>84</sup>Stand 13. Mai 2010. Die Beitragsangaben wurden dem Beitragsrechner der Tierseuchenkasse Niedersachsen unter [www.ndstsk.de](http://www.ndstsk.de) entnommen.

<sup>85</sup>Vgl. Weltbank [2006], S. 34.

<sup>86</sup>Vgl. Alleweldt et al. [2006], S. 52, Anhang 1.

<sup>87</sup>Vgl. Jansson et al. [2005], S. 1.

rottung endemischer Tierkrankheiten durch die Europäische Union kann ein sinnvoller Ansatz zur Internalisierung der positiven externen Effekte der Maßnahmen einzelner Mitgliedsländer zur Eindämmung endemischer Tierseuchen sein. Auch die Subventionierung von Reaktionsmaßnahmen in Form einer teilweisen Erstattung von Tierwerten, die auf behördliche Anordnung im Zuge der Seuchenbekämpfung in den Mitgliedsländern geschlachtet werden, ist vertretbar. Dadurch sinken die Grenzkosten der Stamping-Out Politik zur Seuchenbekämpfung für die Mitgliedsländer. Dies induziert eine Ausweitung von Not- und Präventivschlachtungen sowie von Restriktionen, was die Gefahr einer Seuchenausbreitung und damit das Einschleppungsrisiko für andere Länder verringert. Eine Internalisierung externer Effekte durch Subventionierung erfordert jedoch umso höhere Subventionssätze, je größer der externe im Vergleich zum internen Nutzen des Risikomanagers ist. Insofern ist es durchaus verständlich, dass zum Beispiel individuelle Präventionsmaßnahmen im Vergleich zum Stamping-Out weniger stark subventioniert werden. Dennoch verursachen auch sie positive externe Effekte. Wenn Tierproduzenten ihre Produktionssysteme umstellen, so dass die Transportintensität und Kontakthäufigkeit abnimmt, reduziert dies das lokale und regionale Risiko einer Einschleppung und Ausbreitung hochinfektiöser Tierseuchen. Die Vernachlässigung individueller Präventionsmaßnahmen in der von Subventionen dominierten Koordination des Risikomanagements bewirkt Substitutionseffekte in den Teilstrategien der Agenten: Die Intensität der relativ günstigeren Reaktionsmaßnahmen erhöht sich zu Lasten der relativ teurer gewordenen Präventionsmaßnahmen.

Besonders deutlich wird dies am Beispiel der Produktionsintensität. In manchen Teilen Europas ist eine zunehmende Spezialisierung und Clusterbildung in der Tierproduktion zu beobachten, die mit einer Senkung der Stückkosten (ohne Risikokosten) durch Skaleneffekte einhergeht, aber gleichzeitig das Risiko einer Seuchenausbreitung in diesen Gebieten stark erhöht.<sup>88</sup> Tierproduzenten profitieren von den günstigeren Produktionsbedingungen im Zuge dieser Intensivierung, während sie nur zum Teil oder gar nicht für die dadurch steigenden erwarteten Reaktionskosten aufkommen, weil diese stark subventioniert werden. Das verringert den Anreiz zur Schaffung risikoarmer Produktionsstrukturen, weil dies mit einer impliziten Senkung der vom Risiko abhängigen Subventionen verbunden ist. Ursache dieser intrasektoralen Verzerrungen ist die fehlgerichtete Subventionspolitik im Risikomanagement hochinfektiöser Tierseuchen in der Europäischen Union: Die Produktionsintensität bzw. das Aktivitätsniveau von Tierproduzenten wird gar nicht als Variable des Risikomanagements wahrgenommen. Die Subventionen sind dadurch aus Sicht eines Betriebes umso höher, je größer die Tierproduktion und ceteris paribus das Tierseuchenrisiko ist. Auch aus Sicht eines Mitgliedslandes sind die EU-Subventionen umso größer, je intensiver die Tierproduktion ist. Folge dieser Politik ist die Entstehung von Fehlanreizen zur Entwicklung zu intensiver und risikoreicher Produkti-

---

<sup>88</sup>Vgl. Moennig [2000], S. 96.

onsstrukturen auf individueller und kollektiver Ebene, was die Wahrscheinlichkeiten katastrophaler Epizootien erhöht.

Die Analyse zeigt, dass der gegenwärtige Subventionsansatz zur Internalisierung der externen Effekte des Risikomanagements problematisch ist und nicht mit dem Ziel der Implementierung effizienter Teilstrategien zum Management des Risikos hochinfektiöser Tierseuchen zu vereinbaren ist. Eine Korrektur der wesentlichen Mängel müsste die weitgehende Finanzierung der Risikokosten aus dem Tierproduktionssektor sicherstellen und die Subventionierung an den externen Effekten ausrichten, die durch konkrete Risikomanagementmaßnahmen hervorgerufen werden. Insbesondere müssten die bislang nicht anerkannten Risikomanagementmaßnahmen der Reduktion der Tierproduktionsintensität und der Schaffung risikoärmerer Produktionsstrukturen berücksichtigt werden. Zur Implementierung der effizienten Risikomanagementstrategie ist die Subventionierung des Risikomanagements insgesamt ein eher ungeeigneter Ansatz, da die notwendige Differenzierung nach betrieblichen und lokalen Faktoren schwer umzusetzen ist.

Das institutionelle Arrangement zur Finanzierung der Risikokosten hochinfektiöser Tierseuchen in der Europäischen Union ist aber dem in der theoretischen Analyse des vorangegangenen Abschnitts favorisierten Ansatz eines Monopol-Pflichtversicherers nicht unähnlich. Die deutschen Tierseuchenkassen, der niederländische Animal Health Fund und andere Versicherungsinstitutionen stellen schon heute öffentliche Pflichtversicherungen dar, die sich allerdings nicht aus risikogerechten, internalisierenden Prämien, sondern durch weitgehend pauschale Beiträge und teilweise ausschließlich aus der öffentlichen Hand finanzieren. Zum Beispiel werden Beiträge zum niederländischen Animal Health Fund nicht nach Regionen differenziert,<sup>89</sup> obwohl das Tierseuchenrisiko im intensiv bewirtschafteten Süden um ein Vielfaches höher als im Norden des Landes ist.<sup>90</sup> In Deutschland wird aufgrund der länderspezifischen Tierseuchenkassen zumindest eine regionale Risikokomponente berücksichtigt. Die Umstellung auf eine Finanzierung der Tierseuchenkassen durch internalisierende Versicherungsprämien ist möglich. Laut Tierseuchengesetz § 71 (1) können die Beiträge zu den Tierseuchenkassen sogar schon heute nach der Betriebsorganisation (sowie nach Tierarten, Alter, Gewicht, Nutzungsart und Betriebsgröße) differenziert werden, was rechtlich Möglichkeiten zur Implementierung einer internalisierenden Prämienstruktur schafft.

JANSSON et al. [2005] haben die Einführung einer EU-weiten Pflichtversicherung mit risikoadäquaten, allerdings nicht internalisierenden Versicherungsprämien gegen MKS unter einer stark vereinfachenden Annahme zur Infektionsdynamik eines MKS-Ausbruchs modelliert. Die im Vergleich zur derzeitigen Finanzierung<sup>91</sup> ent-

---

<sup>89</sup>Vgl. Alleweldt et al. [2006], S. 44.

<sup>90</sup>Vgl. Meuwissen et al. [2003].

<sup>91</sup>Aus Vereinfachungsgründen wurde angenommen, dass sich die Kompensationssysteme aller EU-Ländern ausschließlich durch Subventionen der Europäischen Union und der jeweiligen nationalen Regierung finanzieren. Vgl. Jansson et al. [2005], S. 1, 10.

fallende Subventionierung von Hochrisikogebieten durch Gebiete mit geringen Seuchenausbreitungsrisiken führt zu massiven Anpassungsreaktionen in der Produktionsstruktur in Gebieten mit extrem intensiver Tierproduktion. Die von der Pflicht zur Zahlung risikoadäquater Prämien ausgelöste Reallokation in der Tierproduktion induziert die Entwicklung risikoärmerer Produktionsstrukturen. Die dadurch entstehenden Wohlfahrtsgewinne beziffern JANSOON et al. [2005] in vier von fünf zugrunde gelegten epizootiologischen Szenarien auf 26 bis 38 Mio. Euro jährlich.

Die Umsetzung der Internalisierung externer Effekte des individuellen Risikomanagements durch einen Monopol-Pflichtversicherer birgt zwei wesentliche politische Hindernisse. Zum einen könnte der Übergang von bestenfalls bestandsgrößenabhängigen Beiträgen zu risikoadäquaten, internalisierenden Prämien Widerstand in Betrieben hervorrufen, deren Risikomanagement mit starken externen Effekte verbunden ist. Internalisierende Versicherungsprämien würden gerade in diesen Hochrisikobetrieben starke Anpassungen bzw. Prämien erhöhungen induzieren.<sup>92</sup> Dies ist aber zur Implementierung des effizienten Risikomanagements unvermeidlich. Jeglicher Staatseingriff zur Internalisierung externer Effekte übt starken Einfluss auf die Entscheidungen der Agenten aus, deren Aktivitäten erhebliche Externalitäten hervorrufen. Zum anderen impliziert die ausschließliche Finanzierung der Risikokosten hochinfektiöser Tierseuchen durch Versicherungsprämien einen erheblichen Subventionsabbau im Vergleich zum Status Quo. Allerdings besteht ein relativ breiter Konsens über den Abbau von Subventionen in der Landwirtschaft sowie über die Stärkung der Verantwortung von Tierproduzenten für das Tierseuchenrisiko.<sup>93</sup> Die Etablierung regionaler Monopol-Pflichtversicherer, die effizientes individuelles Risikomanagement durch internalisierende Versicherungsprämien induzieren, ist deshalb nicht nur ein theoretisch überzeugender, sondern auch ein praktisch umsetzbarer Ansatz zur Internalisierung der externen Effekte des individuellen Risikomanagements.

---

<sup>92</sup>Eine risikogerechte Prämiendifferenzierung könnte auch grundsätzlich abgelehnt werden, weil sie als diskriminierend aufgefasst wird. Vgl. Meuwissen et al. [2003]. Aus ökonomischer Sicht sind aber gerade einheitliche Beiträge bei heterogenen Risiken diskriminierend, da die erwarteten Barwerte der Kompensationszahlungen für gute oder durchschnittliche Risiken systematisch geringer als für Hochrisikobetriebe sind.

<sup>93</sup>Vgl. van Veen und de Haan [1995], S. 226.

## Kapitel 5

# Informationsprobleme der Versicherung des Tierseuchenrisikos

Die Analyse des Marktversagens aufgrund von externen Effekten hat gezeigt, dass der Einsatz von internationalen Organisationen, gesetzlichen Vorschriften und Pflichtversicherungen eine weitgehende Internalisierung der externen Effekte des Risikomanagements ermöglicht. Allerdings haben wir bislang Informationsprobleme vernachlässigt. Die Risikomanagementmaßnahmen, die Gegenstand von Verhandlungen oder staatlichen Eingriffen in den Markt sind, können durch die Verhandlungspartner oder die Behörden zumeist nur unvollkommen beobachtet und verifiziert werden.<sup>1</sup> Das bedeutet, Agenten können wechselseitig die Einhaltung effizienter Standards kontrollieren. Dabei fallen aber Kontrollkosten in unterschiedlicher Höhe an, die bei der Implementierung des effizienten Risikomanagements berücksichtigt werden müssen. Im Extremfall ist eine Überprüfung der Einhaltung von Internalisierungsvereinbarungen gar nicht möglich.

Durch Außenhandel verbundene Mitgliedsländer der OIE verfügen über gegenseitige Inspektionsrechte sowie über Rechte und Pflichten zur Information von Handelspartnern über risikorelevante Sachverhalte.<sup>2</sup> Kollektive Risikomanagementmaßnahmen wie die Funktionsfähigkeit nationaler Veterinärbehörden, die Ausstattung von Laboren und Impfbänken, die Wirksamkeit von Grenzkontrollen, die Qualität von Notfallplänen und die Fähigkeit zur Implementierung von Reaktionsmaßnahmen sind deshalb unter Aufwendung von Kosten kontrollierbar, wenn eine internationale Kooperation im Tierseuchen-Risikomanagement stattfindet. Auch eine Vielzahl von individuellen Risikomanagementmaßnahmen bzw. Risikofaktoren, die ein Pflichtversicherer zur Bestimmung einer internalisierenden Prämienstruktur verwenden kann, sind grundsätzlich kontrollierbar. Dazu gehören zum Beispiel die Betriebsgröße, die Art der Tiere in einem Betrieb, die lokale Tierproduktionsintensität, der vertikale Integrationsgrad eines Betriebes oder die Existenz endemischer Tierseuchen am Betriebsstandort. Die Implikationen einer unvollkommenen Beobachtbarkeit und Ve-

---

<sup>1</sup>Vgl. Hennessy [2007], S. 701.

<sup>2</sup>Vgl. Wilson und Thiermann [2003].

rifizierbarkeit des Risikomanagements werden in Abschnitt 5.1 auf Basis eines statischen, spieltheoretischen Modells analysiert, das die Interaktion eines kontrollierten mit einem kontrollierenden Agenten abbildet. Dabei zeigt sich, dass die Einschränkung der unvollkommenen Kontrolle besonders dann ernstzunehmende Konsequenzen für die Effizienz des Risikomanagements bzw. für die Höhe der erwarteten Risikokosten hat, wenn die Kontrollkosten oder die externen Effekte der kontrollierten Maßnahmen sehr hoch sind.

Generell gilt, dass Maßnahmen, die umfangreich sind oder einen investiven Charakter aufweisen, eher leicht zu kontrollieren sind.<sup>3</sup> Dagegen sind Maßnahmen, die das alltägliche Verhalten einzelner Personen betreffen, sehr schwer zu kontrollieren oder müssen praktischerweise als nicht kontrollierbar bezeichnet werden.<sup>4</sup> Wir sprechen dann von einer Situation mit *asymmetrischer* Information, die insbesondere auf manche individuelle Risikomanagementmaßnahmen zutrifft. Die Analyse asymmetrischer Information im Risikomanagement hochinfektiöser Tierseuchen ist Thema des Abschnitts 5.2. Im Mittelpunkt der Analyse steht ein repräsentativer Tierproduzent, der gegenüber der Veterinärbehörde bzw. seinem Monopol-Pflichtversicherer einen Informationsvorteil hinsichtlich der Durchführung individueller Risikomanagementmaßnahmen hat. Die Untersuchung zeigt, wie die bestmögliche Risikomanagementstrategie angesichts der Probleme asymmetrischer Information bei unbeobachtbaren individuellen Risikomanagementmaßnahmen implementiert werden kann. Dabei spielt die Entschädigung der Reaktionskosten von Tierseuchenausbrüchen eine entscheidende Rolle. In Abschnitt 5.3 wird dargestellt, dass die Entschädigungssysteme in den Mitgliedsländern der Europäischen Union suboptimal ausgestaltet sind.

## 5.1 Unvollkommene Beobachtbarkeit

Die Implikationen der aufgrund von Kontrollkosten unvollkommenen Beobachtbarkeit der meisten Risikomanagementmaßnahmen kann mit Hilfe eines *Kontrollspiels* zwischen individuellen Tierproduzenten, nationalen Veterinärbehörden und gegebenenfalls internationalen Organisationen spieltheoretisch untersucht werden.<sup>5</sup> Wir betrachten ein einfaches Kontrollspiel mit vollständiger Information und zwei risikoneutralen Spielern, deren Auszahlungen erwartete Nutzen darstellen.

Agent *A* ist ein individueller Tierproduzent oder eine nationale Veterinärbehörde. Er kann zum Zeitpunkt  $t$  entweder bestehende Vereinbarungen zur Internalisierung externer Effekte befolgen und das effiziente Risikomanagement  $\Psi_A^*(y(t), t)$  durchführen, oder gegen diese Vereinbarungen verstoßen.<sup>6</sup> Agent *B* ist eine internationale Organisation oder eine Pflichtversicherung. Er kann die implementierte Teilstrategie

---

<sup>3</sup>Vgl. Gramig [2005], S. 8 f.

<sup>4</sup>Vgl. Hennessy [2007], S. 701.

<sup>5</sup>Vgl. Fudenberg und Tirole [1991], S. 17 f. für eine Einführung in Kontrollspiele.

<sup>6</sup>Tsebelis [1990] enthält eine detailliertere Analyse eines ähnlichen Kontrollspiels, in dem unter anderem Varianten mit graduellen Verstößen und variablen Sanktionen sowie mit unvollständigen Informationen untersucht werden.

$\Psi_A(y(t), t)$  im Zeitpunkt  $t' > t$  kontrollieren, wobei Kontrollkosten anfallen, oder auf die Kontrolle verzichten.<sup>7</sup> Da Agent  $A$  zum Entscheidungszeitpunkt  $t$  nicht weiß, ob in  $t'$  eine Kontrolle stattfinden wird, lässt sich die Interaktion zwischen den Spielern als statisches Spiel auffassen.<sup>8</sup>

Aufgrund der Interdependenzen von Risiko und Risikomanagement entsprechen die aus Sicht von Agent  $A$  optimalen Intensitäten des Risikomanagements im Allgemeinen nicht der second-best Strategie  $\Psi_A^{**}(y(t), t)$ . Dies wäre nur dann der Fall, wenn sich Agent  $A$  bezüglich aller Maßnahmen unkooperativ verhält und davon ausgeht, dass alle übrigen Agenten ebenso gegen die Kooperations- bzw. Koordinationsabsprachen verstoßen. Im hier dargestellten Spiel sind diese Interdependenzen jedoch nicht vorhanden, da nur zwei Agenten betrachtet werden, die jeweils nur eine Kontrollentscheidung bzw. eine Risikomanagemententscheidung treffen. Damit reduzieren wir diese in der Praxis mehrdimensionalen Entscheidungen auf je eine diskrete Entscheidung.

Die Wahrscheinlichkeit, mit der sich Agent  $A$  kooperativ verhält und effizientes Risikomanagement betreibt, wird mit  $p_k$  bezeichnet. In diesem Fall erreicht er die first-best Auszahlung  $w_A^*$ . Agent  $A$  kann aber auch gegen die Internalisierungsabsprache verstoßen. Wird dieser Verstoß nicht entdeckt, erreicht er seine individuell optimale Auszahlung  $w_A^{**}$ ,  $w_A^{**} > w_A^*$ . Wird er dabei jedoch aufgrund einer Kontrolle des Gegenspielers entdeckt, erfolgt eine Sanktion, zum Beispiel der Entzug der Genehmigung zur Tierproduktion, verschärfte Auflagen für beobachtbare Biosicherheitsmaßnahmen, ein Verbot zum Export von Tieren und Tierprodukten oder weitere internationale Sanktionen. Das monetäre Äquivalent dieser Sanktion beträgt  $c^A$ , seine Auszahlung beträgt dann  $w_A^{**} - c^A$ . Rückwirkend betrachtet hätte sich Agent  $A$  in diesem Fall lieber an die Vereinbarung gehalten, denn es gilt  $w_A^* > w_A^{**} - c^A$  bzw.  $c^A > w_A^{**} - w_A^*$ .

Die Auszahlung von Agent  $B$  beträgt  $w_B^*$ , falls Agent  $A$  den geforderten Risikomanagementstandard einhält. Verstößt  $A$  jedoch unbemerkt gegen den effizienten Standard, verringert sich die Auszahlung von  $B$  um die externen Kosten  $c^{**} > w_A^{**} - w_A^*$  auf  $w_B^* - c^{**}$ , da das ineffiziente Risikomanagement von Agent  $A$  das Tierseuchenrisiko von Agent  $B$  erhöht. Führt  $B$  eine Kontrolle durch, fallen Kontrollkosten in Höhe von  $c^k > 0$  an. Ertappt er Agent  $A$  bei einem Verstoß, profitiert er von der mit der Sanktion einhergehenden Reduktion des Tierseuchenrisikos in Höhe des monetären Äquivalents  $c^B > 0$ . Die Wahrscheinlichkeit einer Kontrolle, der gegebenenfalls eine Sanktionierung folgt, wird mit  $q_k$  bezeichnet. Wenn Agent  $B$  eine Kontrolle durchführt, beträgt seine Auszahlung je nach Entscheidung von Agent  $A$  entweder  $w_B^* - c^k + c^B$  oder  $w_B^* - c^k$ . Rückwirkend betrachtet würde  $B$  bei einem

<sup>7</sup>Ein individueller Tierproduzent kommt als kontrollierender Agent nicht in Frage, da wir bilaterale und multilaterale Vereinbarungen zur Internalisierung der externen Effekte des individuellen Risikomanagements wegen der hohen Transaktionskosten zugunsten staatlicher Eingriffe ausgeschlossen haben.

<sup>8</sup>Vgl. Osborne und Rubinstein [1998], S. 14.

Verstoß von  $A$  kontrollieren und sanktionieren, denn es gilt  $w_B^* - c^k + c^B > w_B^* - c^{**}$  bzw.  $c^{**} > c^k - c^B$ . Tabelle 5.1 zeigt die Normalform dieses Kontrollspiels.

Tabelle 5.1: Kontrollspiel in Normalform

		Agent B	
		Kontrolle (ggf. Sanktion) $q_k$	keine Kontrolle $(1 - q_k)$
Agent A	Kooperation $p_k$	$(w_A^*; w_B^* - c^k)$	$(w_A^*; w_B^*)$
	keine Kooperation $(1 - p_k)$	$(w_A^{**} - c^A; w_B^* - c^k + c^B)$	$(w_A^{**}; w_B^* - c^{**})$

Unter den vorgestellten Annahmen existiert kein Gleichgewicht in reinen Strategien. Agent  $A$  randomisiert zwischen der effizienten und der individuell optimalen Intensität des Risikomanagements. Auch Agent  $B$  macht stochastisch von seiner Kontrollmöglichkeit Gebrauch. Dabei stellen die Spieler ihren jeweiligen Gegenspieler indifferent zwischen seinen Handlungsalternativen.<sup>9</sup>

Wir bezeichnen die Kooperationswahrscheinlichkeit von Agent  $A$  im Gleichgewicht mit  $p_k^*$ . Es gilt:

$$p_k^* = \frac{c^{**} + c^B - c^k}{c^{**} + c^B}$$

Es zeigt sich, dass die Kooperationswahrscheinlichkeit im Gleichgewicht umso höher ist, je größer die externen Effekte des Risikomanagements sind:

$$\frac{\delta p_k^*}{\delta c^{**}} = c^k \cdot (c^{**} + c^B)^{-2} > 0$$

Die Gleichgewichtsbedingung der Indifferenz des potentiellen Kontrolleurs sorgt also genau in den Fällen für eine weitgehende Einhaltung effizienter Standards, wenn die positiven externen Effekte des Risikomanagements hoch sind und die Einhaltung effizienter Standards damit besonders wichtig ist.

Die Kooperationswahrscheinlichkeit ist im Gleichgewicht umso geringer, je höher die Kontrollkosten sind:

$$\frac{\delta p_k^*}{\delta c^k} = -(c^{**} + c^B)^{-1} < 0$$

Nähern sich die Kontrollkosten dem Wert null, geht die Kooperationswahrscheinlichkeit im Gleichgewicht gegen eins:

$$\lim_{c^k \rightarrow 0} \frac{c^{**} + c^B - c^k}{c^{**} + c^B} = 1$$

<sup>9</sup>Vgl. Mas-Colell et. al. [1995], S. 250 f.

Sind die Kontrollkosten unverhältnismäßig hoch, das heißt es gilt entgegen obiger Annahme  $c^k > c^{**} + c^B$ , ist der Verzicht auf Kontrolle für Agent  $B$  in jedem Fall vorteilhaft. Das Kontrollspiel weist dann ein Gleichgewicht in reinen Strategien auf: Agent  $A$  wählt sein individuell optimales Risikomanagement, und Agent  $B$  kontrolliert nicht. Gleiches gilt, wenn eine ausreichende Sanktionierung des Agenten bei einem festgestellten Verstoß gegen das effiziente Risikomanagement nicht möglich ist, das heißt wenn entgegen obiger Annahme  $c^A < w_A^{**} - w_A^*$  gilt.

Wir bezeichnen die Wahrscheinlichkeit der Durchführung einer Kontrolle, die gegebenenfalls eine Sanktionierung nach sich zieht, im Gleichgewicht mit  $q_k^*$ . Es gilt:

$$q_k^* = \frac{w_A^{**} - w_A^*}{c^A}$$

Höhere Sanktionen reduzieren die Kontrollwahrscheinlichkeit und damit die Kontrollkosten, was gesamtwirtschaftlich positiv ist.<sup>10</sup>

$$\frac{\delta q_k^*}{\delta c^A} = -(w_A^{**} - w_A^*) \cdot (c^A)^{-2} < 0$$

Die Kooperationswahrscheinlichkeit ist dagegen unabhängig von der Sanktionshöhe, solange die Annahme zur Mindesthöhe der Sanktion erfüllt ist.

Die spieltheoretische Analyse von Risikomanagement und Kontrolle lässt positive Schlussfolgerungen zu. Es zeigt sich, dass effiziente Risikomanagementstandards bei unvollkommen beobachtbaren Risikomanagementmaßnahmen mit hohen externen Effekten weitgehend eingehalten werden, wenn die Kontrollkosten nicht zu hoch sind und eine ausreichende Sanktionierung bei Verstößen durchgesetzt werden kann. Die strategische Interaktion zwischen Risikomanagement- und Kontrollentscheidungen verändert sich darüber hinaus tendenziell in Richtung eines kooperativeren Verhaltens, wenn die Mehrmaligkeit der Entscheidungen berücksichtigt wird. Vielfach eignen sich unendlich wiederholte Spiele besser zur Vorhersage des strategischen Verhaltens, auch wenn die Entscheidungsträger schon allein aufgrund ihrer begrenzten Lebensdauer nicht von einer unendlichen Wiederholung des Spiels ausgehen können.<sup>11</sup> Im umfangreich analysierten Gefangenendilemma, das spieltheoretische Ähnlichkeiten zu Kontrollspielen aufweist, impliziert der Übergang von einer ein- oder mehrperiodigen zu einer unendlich wiederholten Betrachtung beispielsweise die Veränderung des (teilspielperfekten) Gleichgewichts von unkooperativem zu kooperativem Verhalten, wenn die Diskontrate für zukünftige Auszahlungen den Wert von 50% nicht überschreitet.<sup>12</sup> Anhand eines auf subjektiven Wahrscheinlichkeiten basierenden Gleichgewichtskonzepts kann kooperatives Verhalten im Gefangenendilemma schon bei einer begrenzten Anzahl an Perioden gezeigt werden.<sup>13</sup>

Gravierende Probleme treten also genau dann auf, wenn die mit der Wahrschein-

<sup>10</sup>Vgl. Polinsky und Shavell [2000], S. 70.

<sup>11</sup>Vgl. Osborne und Rubinstein, S. 134-136.

<sup>12</sup>Vgl. Mas-Colell et al. [1995], S. 400-405.

<sup>13</sup>Vgl. Wilson [1986].

lichkeit  $q_k^*$  gewichteten Kosten der Beobachtung und Verifizierung des Risikomanagements in Bezug auf Maßnahmen, die signifikante externe Effekte hervorrufen, unverhältnismäßig hoch sind. Wir können dann von einer *Situation asymmetrischer Information* sprechen. Es ist nicht zielführend, Risikomanagementintensitäten zum Gegenstand von Internalisierungsvereinbarungen zu machen, die nicht oder nur unter unverhältnismäßig hohen Kosten beobachtet und verifiziert werden können.<sup>14</sup> Die Implementierung einer effizienten Risikomanagementstrategie erfordert unter diesen Umständen die *Etablierung anreizkompatibler Mechanismen*. Diese zielen darauf ab, die individuell optimalen Intensitäten des Risikomanagements an die effizienten Intensitäten anzugleichen. Die Ausgestaltung dieser Mechanismen ist der Untersuchungsgegenstand des folgenden Abschnitts.

Als Alternative zur Etablierung anreizkompatibler Mechanismen ist die Durchführung des effizienten Risikomanagements durch internationale Organisationen bzw. durch staatliche Bereitstellung anzusehen, die schon in den Abschnitten 4.2.1 und 4.2.3 thematisiert wurde. Dabei sprachen Synergieeffekte und komparative Vorteile für eine staatliche Bereitstellung. Die unvollkommene Beobachtbarkeit des Risikomanagements impliziert weitere Vorteile staatlicher Bereitstellung: Zum einen entfallen Kontrollkosten. Zum anderen kann effizientes Risikomanagement garantiert werden. Unzureichende Möglichkeiten zur Sanktionierung nicht-kooperierender Agenten erklären zum Beispiel, dass neben finanziellen Zuwendungen auch technische und personelle Unterstützung nationaler Veterinärbehörden durch internationale Organisationen wie durch die OIE geleistet wird.

## 5.2 Asymmetrische Information

Die Analyse in Abschnitt 5.1 hat gezeigt, dass anreizkompatible Mechanismen zur Angleichung der aus Sicht eines Agenten optimalen Risikomanagementaktivität an das effiziente Risikomanagement genau dann erforderlich sind, wenn die betrachtete Risikomanagementmaßnahme zwei Voraussetzungen erfüllt. Einerseits sind die mit der Wahrscheinlichkeit  $q_k^*$  gewichteten Kontrollkosten unverhältnismäßig hoch, was über den Effekt der Sanktionshöhe auf die Kontrollwahrscheinlichkeit auch von den Sanktionsmöglichkeiten abhängig ist. Andererseits ist eine übergeordnete Bereitstellung durch eine internationale Organisation oder eine nationale Veterinärbehörde mit erheblichen Nachteilen verbunden. Maßnahmen, die die erstgenannte Voraussetzung erfüllen, sind praktisch nicht kontrahierbar. Aufgrund der zweiten Voraussetzung sind anreizkompatible Mechanismen ausschließlich für individuelle, betriebsbezogene Risikomanagementmaßnahmen notwendig. Wir gehen im Folgenden davon aus, dass auf internationaler Ebene erfolgreich kooperiert wird, so dass effiziente Teilstrategien  $\Psi_n^*(y(t), t)$  implementiert werden. Zudem gehen wir davon aus, dass die kontrahierbaren individuellen Risikomanagementmaßnahmen gemäß

---

<sup>14</sup>Vgl. Schweizer [1999], S. 320.

den effizienten Teilstrategien  $\Psi_i^*(y(t), t)$  durchgeführt werden. Es sind also gesetzliche Vorschriften in Kraft bzw. es besteht ein Monopol-Pflichtversicherer, der die externen Effekte der unter vertretbaren Kosten beobachtbaren individuellen Risikomanagementmaßnahmen internalisiert. Thema der nachfolgenden Analyse asymmetrischer Information sind ausschließlich die nicht kontrahierbaren, individuellen Risikomanagementmaßnahmen, also die praktisch nicht kontrollierbaren, risikorelevanten Verhaltensweisen von Tierproduzenten.

Zum einen untersuchen wir dabei die *frühzeitige Meldung von Seuchenverdachtsfällen*, die in der Regel durch Tierproduzenten an die zuständige Veterinärbehörde erfolgt.<sup>15</sup> Die Ausführungen in Abschnitt 2.3.2.2 verdeutlichen, dass die frühzeitige Meldung eine der bedeutendsten individuellen Reaktionsmaßnahmen beim Ausbruch einer hochinfektiösen Tierseuchen darstellt und für die effiziente Seuchenbekämpfung unabdingbar ist. Effizientes Risikomanagement hochinfektiöser Tierseuchen zeichnet sich deshalb dadurch aus, dass Tierproduzenten Krankheitssymptome in ihrer Herde zügig erkennen und sofort nach Entdeckung die zuständige nationale Veterinärbehörde informieren, so dass Seuchenbekämpfungsmaßnahmen gegebenenfalls schnellstmöglich eingeleitet werden.<sup>16</sup> Zum anderen betrachten wir *verhaltensbasierte Biosicherheitsmaßnahmen*, auf die das Attribut der Unbeobachtbarkeit unter verhältnismäßigen Kosten gleichermaßen zutrifft.

Die Intensitäten dieser Risikomanagementmaßnahmen sind nicht kontrahierbar. Die Analyse des individuellen Verhaltens von Tierproduzenten unter asymmetrischer Information zielt deshalb auf die Entwicklung anreizkompatibler Mechanismen ab, die dazu führen, dass die unbeobachtbaren individuellen Risikomanagementmaßnahmen - wenn möglich - in der effizienten Intensität durchgeführt werden. Zunächst werden in Abschnitt 5.2.1 die Grundlagen der Analyse eines anreizkompatiblen Mechanismus im Tierseuchenrisikomanagement gelegt. Danach betrachten wir die frühzeitige Meldung von Seuchenausbrüchen. Wir teilen diese Maßnahme in zwei getrennt voneinander zu analysierende Aktivitäten auf. In Abschnitt 5.2.2 untersuchen wir die Entscheidung eines Tierproduzenten, im Fall der Entdeckung von Krankheitssymptomen die zuständige Veterinärbehörde zu informieren. In Abschnitt 5.2.3 untersuchen wir die Frühzeitigkeit der Meldung. Daraufhin wenden wir uns in Abschnitt 5.2.4 den verhaltensbasierten Biosicherheitsmaßnahmen zu. Effiziente Risikomanagementstandards sowie der Grad der Unbeobachtbarkeit des Meldeverhaltens sind unter anderem von dem epizootiologischen Zustand abhängig. Deshalb analysieren wir individuelles Risikomanagementverhalten in den Abschnitten 5.2.2 bis 5.2.4 unter der Vorgabe, dass sich der offiziell bekannte epizootiologische Zustand durch Seuchenfreiheit auszeichnet.<sup>17</sup> In Abschnitt 5.2.5 betrachten wir das individuelle Risikomanagementverhalten unter asymmetrischer Information, wenn

---

<sup>15</sup>Vgl. Engel et al. [2005], S. 196.

<sup>16</sup>Vgl. Gramig et al. [2006], S. 44 und Court of Auditors [2005], S. 16.

<sup>17</sup>In den Abschnitten 5.2.2 und 5.2.3 wird damit das Verhalten des Tierproduzenten eines *primärfizierten* Betriebes untersucht.

der epizootiologische Zustand von einer Präsenz hochinfektiöser Krankheitserreger im Nutztierbestand gekennzeichnet ist. Schließlich werden in Abschnitt 5.2.6 Fragen zur Implementierung des in den vorangegangenen Abschnitten ermittelten anreizkompatiblen Mechanismus erörtert.

### 5.2.1 Grundlagen der Analyse

Aus den *Prinzipal-Agent Analysen* zur optimalen Versicherung unter moralischem Risiko ist bekannt, dass über die Ausgestaltung der Entschädigungsfunktion gezielt Anreize zur Durchführung unbeobachtbarer Risikomanagementmaßnahmen gesetzt werden können.<sup>18</sup> Dadurch wird eine Angleichung der Ziele des Prinzipals und des Agenten angestrebt.<sup>19</sup> Dabei wird von dem beobachtbaren Schaden als ex post verifizierbares Signal auf das unbeobachtbare Risikomanagementverhalten des Versicherungsnehmers geschlossen. Wir greifen in der Analyse des Risikomanagements hochinfektiöser Tierseuchen auf diese Methodik zurück und betrachten einen repräsentativen Tierproduzenten als Agent<sup>20</sup> sowie den zuständigen Monopol-Pflichtversicherer als Prinzipal. Dieser entschädigt die im Zuge der Seuchenbekämpfung anfallenden Reaktionskosten und vertritt damit die Interessen des Tierproduktionssektors.<sup>21</sup> Im Unterschied zu herkömmlichen Prinzipal-Agent Analysen des moralischen Risikos in Versicherungsbeziehungen, in denen die paretooptimale Ausgestaltung eines Versicherungsvertrages untersucht wird,<sup>22</sup> ist der Tierproduzent zur Versicherungsnachfrage verpflichtet. In technischer Hinsicht entfällt dadurch die Partizipationsbedingung des Agenten.

Der Schaden, also die individuellen Reaktionskosten nach Ausbruch einer hochinfektiösen Tierseuche, ist jedoch ein ungeeignetes Signal für das Risikomanagementverhalten eines Tierproduzenten, denn er wird in erster Linie durch die kollektive Seuchenbekämpfung hervorgerufen und weniger von individuellen Risikomanagementmaßnahmen beeinflusst. Wesentlich besser eignet sich dagegen die Präsenz hochinfektiöser Tierseuchen zum Zeitpunkt der Entdeckung bzw. Meldung eines Krankheitsausbruchs im Nutztierbestand des repräsentativen Tierproduzenten. Während der Grad der Durchseuchung des Bestands zum Meldezeitpunkt auf die Frühzeitigkeit der Seuchenmeldung schließen lässt, kann die Tatsache, dass überhaupt eine Seuche präsent ist, als Indiz für ineffiziente Biosicherheitsmaßnahmen aufgefasst werden. Insofern ist die Seuchenpräsenz ein geeignetes Signal für die unbeobachtbaren individuellen Risikomanagementmaßnahmen. Die Implementierung effizienter individueller Risikomanagementstandards mittels einer Entschädigung, die von der Durchseuchung des Tierbestands abhängt, setzt die Meldung des Ausbruchs einer hochinfektiösen Tierseuche voraus. Auch dies kann durch die Ausgestaltung

---

<sup>18</sup>Vgl. Ehrlich und Becker [1972], S. 636.

<sup>19</sup>Vgl. Pratt und Zeckhauser [1985], S. 14 f.

<sup>20</sup>Vgl. Spence und Zeckhauser [1971], S. 380.

<sup>21</sup>Vgl. Arrow [1985], S. 39.

<sup>22</sup>Vgl. Pratt und Zeckhauser [1985], S. 2 und Schmidt [1995], S. 7.

der Entschädigungsfunktion sicher gestellt werden.

Nach Eingang einer Seuchenverdachtsmeldung beurteilt ein von der Veterinärbehörde beauftragter Tierarzt die zum Testzeitpunkt bestehende Durchseuchung der Herde anhand von sichtbaren Krankheitssymptomen. Im Fall von positiven klinischen Untersuchungsergebnissen werden zudem Labordiagnosen durchgeführt.<sup>23</sup> Dabei wird die so genannte Seroprävalenz durch eine Überprüfung des Vorkommens von Krankheitserregern oder Antikörpern in den Tieren festgestellt. Eine anreizkompatible Entschädigung kann aber ausschließlich auf die auf Basis sichtbarer Krankheitssymptome gemessene Seuchenpräsenz Bezug nehmen, sofern die Durchführung routinemäßiger serologischer Tests durch Tierproduzenten nicht Bestandteil des effizienten Risikomanagements ist. Als Signal kommt weiterhin nur eine zur Herdengröße relative Maßzahl in Betracht, da die innerhalb einer Herde, unmittelbar nach Seucheneinschleppung stattfindende Infektionsdynamik gemäß (2.5) nahezu proportional zur Herdengröße ist. Als Signal für das unbeobachtbare Risikomanagementverhalten des repräsentativen Tierproduzenten verwenden wir deshalb die *Prävalenzquote* zum Zeitpunkt der Meldung des Seuchenausbruchs, mit der wir den Anteil sichtbar erkrankter Tiere im Bestand des betrachteten Tierproduzenten bezeichnen. Je nach Länge des Zeitintervalls zwischen Melde- und Testzeitpunkt, die insbesondere von der veterinärmedizinischen Infrastruktur eines Landes abhängt, muss das Ergebnis klinischer Tests um den Krankheitsfortschritt in diesem Zeitraum bereinigt werden.

Der Rückschluss von der zum Zeitpunkt der Meldung vorliegenden Prävalenzquote auf die Einhaltung effizienter Standards bei der frühzeitigen Meldung von Seuchenausbrüchen und bei den verhaltensbasierten Biosicherheitsmaßnahmen ist erregerspezifisch. Beispielsweise hängen die Symptome einer KSP-Erkrankung stark von der Virulenz des ursächlichen Erregers ab.<sup>24</sup> Daher ist es möglich, dass die Feststellung einer bestimmten Prävalenzquote bei einem hochvirulenten Erreger auf die frühzeitige Meldung des Krankheitsausbruchs schließen lässt, wohingegen bei einem niedervirulenten Erreger der Rückschluss auf eine zu späte Meldung angebracht ist. Auch Tierarten, das Alter oder Rassen infizierter Herden können die klinische Symptomatik von Seuchenausbrüchen beeinflussen.<sup>25</sup> Teilweise ist eine Verwechslung von Krankheitssymptomen unterschiedlicher Tierkrankheiten denkbar, wie etwa bei Krankheitssymptomen von an MKS oder an der vesikulären Schweinekrankheit erkrankten Schweinen.<sup>26</sup> Falls Verwechslungen von Symptomen hochinfektiöser Tierkrankheiten mit Krankheiten nahe liegend sind, für die keine Meldepflicht besteht, sind ceteris paribus höhere Prävalenzquoten mit der frühzeitigen Meldung vereinbar. In dieser Hinsicht sind auch regionale Unterschiede zu berücksichtigen. Eine Verwechslung von Symptomen einer hochinfektiösen Tierseuche mit einer harmlosen,

---

<sup>23</sup>Vgl. Engel et al. [2005], S. 196.

<sup>24</sup>Vgl. Moennig [2000], S. 94.

<sup>25</sup>Vgl. Moennig [2000], S. 94, Davies [2002], S. 197 und Kitching [2005], S. 135.

<sup>26</sup>Vgl. Mahy [2005], S. 6.

nicht meldepflichtigen Tierkrankheit ist zum Beispiel nur in Regionen nahe liegend, in denen diese nicht meldepflichtige Krankheit überhaupt auftritt. Schließlich ist das Auftreten einer Tierseuche als Signal für ineffiziente verhaltensbasierte Biosicherheit im Rahmen einer anreizkompatiblen Entschädigung danach zu bewerten, wie hoch die Infektionswahrscheinlichkeit unter der Anwendung effizienter Biosicherheitsstandards ist. Dies kann zum Beispiel davon abhängig sein, ob es sich um eine endemische oder um eine exotische Tierseuche handelt. Auch betriebsspezifische Faktoren wie der Integrationsgrad einer Tierproduktion und damit dessen Transportintensität spielen dabei eine Rolle.

Diese vielfältigen Einflussfaktoren machen eine Einschränkung der Analyse der anreizkompatiblen Entschädigung notwendig. Zum einen ist der repräsentative Tierproduzent durch die Region seines Standorts, die Produktionscharakteristika, die Tierart und gegebenenfalls die Rasse und das Alter seiner Tiere spezifiziert. Dieser Tierproduzent ist repräsentativ für alle in diesen Hinsichten ähnlichen Tierproduzenten der betreffenden Region. Zum anderen bezieht sich die Analyse auf nur einen Krankheitserreger  $j$ . Dieser ist durch Faktoren wie die Endemität, die Virulenz, die klinische Symptomatik oder die Infektionsrate im durch Tierart, Region und gegebenenfalls Rasse sowie Alter gekennzeichneten Nutztierbestand des repräsentativen Tierproduzenten spezifiziert. Die genaue Ermittlung der anreizkompatiblen Entschädigungsfunktion erfordert deshalb eine Vielzahl von Modellen für alle hochinfektiösen Tierseuchen und Tierproduzenten, die sich im Hinblick auf diese Eigenschaften unterscheiden.<sup>27</sup> Allerdings wird auf eine Spezifikation von Modellparametern weitestgehend verzichtet, so dass die erzielten Ergebnisse allgemein gültig sind.

Da die Entschädigungsfunktion die entscheidende Gestaltungsvariable zur Implementierung eines effizienten Risikomanagements  $\Psi_i^*(y(t), t)$  ist, rücken wir von der in Abschnitt 3.2.3 getroffenen Annahme der Vollversicherung des Tierseuchenrisikos ab. Grundsätzlich müssten dann Risikoprämien in der epizootiologischen Risikokostenmodellierung berücksichtigt werden. Dies impliziert, dass die die erwarteten Risikokosten minimierende Risikomanagementstrategie  $\Psi^*(y(t), t)$  suboptimal ist. Es zeigt sich allerdings, dass die Vollversicherung des Tierseuchenrisikos für den überwiegenden Teil der von Reaktionskosten betroffenen Tierproduzenten effizient ist. Die in der epizootiologischen Risikokostenmodellierung vernachlässigten Risikoprämien sind deshalb sehr klein und können in der globalen Steuerung des Risikomanagements hochinfektiöser Tierseuchen vernachlässigt werden.

In der Modellierung der anreizkompatiblen Entschädigung verwenden wir das Symbol  $y$  für die Prävalenzquote der betrachteten Tierseuche im Nutztierbestand des repräsentativen Tierproduzenten zum Zeitpunkt der Entdeckung von Krankheitssymptomen. Jede Ausprägung  $y$  der Zufallsvariable  $Y$  ist aufgrund der Einschränkung auf einen Krankheitserreger  $j$  eine reelle Zahl aus dem Intervall  $[0; 1]$ .<sup>28</sup>

<sup>27</sup>Vgl. Shavell [1979], S. 542, der dies im Kontext eines allgemeinen Modells zum moralischen Risiko in der Versicherung anmerkt.

<sup>28</sup>Da sich die Modellierung auf eine Tierseuche beschränkt, wird auf die Angabe

Die Analyse zeichnet sich durch einen statischen Modellrahmen aus, so dass eine explizite Abbildung der epizootiologischen Dynamik unterbleibt und die Zeitvariable  $t$  nicht mehr auftaucht.

### 5.2.2 Meldung einer Primärinfektion

Effizientes Management des Risikos hochinfektiöser Tierseuchen beinhaltet die sofortige Verdachtsmeldung nach der Entdeckung von Symptomen, die auf einen Ausbruch der untersuchten hochinfektiösen Tierseuche  $j$  hindeuten. Der Nachweis eines Verstoßes gegen das effiziente Meldeverhalten erfordert die Durchführung einer unangekündigten Kontrolle der Herdengesundheit zu einem Zeitpunkt, in dem eine Infektion erkennbar vorliegt. Angesichts äußerst geringer betrieblicher Einschleppungswahrscheinlichkeiten hochinfektiöser Tierseuchen liegt die Wahrscheinlichkeit, einen Verstoß gegen die Meldepflicht in einem primärinfizierten Betrieb nachzuweisen, nahe bei null. Zudem ist angesichts individueller Vermögenbeschränkungen von begrenzten Sanktionsmöglichkeiten auszugehen. Die Kontrollkosten sind aus diesen Gründen unverhältnismäßig hoch. Durch gesetzliche Vorschriften oder durch die internalisierende Prämienstruktur eines Monopol-Pflichtversicherers kann die Einhaltung der Meldepflicht deshalb nicht sichergestellt werden. Zum *Zeitpunkt der Entdeckung* von Symptomen besteht demnach eine Informationsasymmetrie zwischen dem Tierproduzenten und der nationalen Veterinärbehörde.

Erstattet der Tierproduzent eine Meldung, veranlasst die Veterinärbehörde nach Bestätigung eines Seuchenausbruchs die Einleitung von Seuchenbekämpfungsmaßnahmen. Die im Einzelfall angewendete Seuchenbekämpfungsstrategie, etwa der Umfang von Präventivschlachtungen oder das Ausmaß von Transportverboten, richtet sich nach den Eigenschaften des Krankheitserregers, seinen Übertragungswegen, lokalen und klimatischen Bedingungen sowie der Ausbreitung bei Entdeckung des Seuchenausbruchs. Die Konsequenzen des Ausbruchs einer hochinfektiösen Tierseuche unterscheiden sich für den primärinfizierten Betrieb kaum: Nach Bestätigung des Verdachts wird die gesamte Herde notgeschlachtet und es werden Auflagen zur Reinigung und Desinfektion der Betriebsstätten und eventuell zur Vernichtung von Futter und anderen Materialien in Kraft gesetzt. Anschließend verhängt die Veterinärbehörde ein temporäres Wiederbelegungsverbot, bis die Seuchenbekämpfung in dem betroffenen Gebiet erfolgreich abgeschlossen ist.<sup>29</sup>

Aufgrund der rigorosen Maßnahmen zur Bekämpfung des Ausbruchs einer hochinfektiösen Tierseuche fallen beim Tierproduzenten in Folge der Meldung eines Seuchenausbruchs immense Reaktionskosten an. Der Tierproduzent kann die Meldung des Seuchenverdachts jedoch auch unterlassen und stattdessen zum Beispiel infizierte Tiergruppen isolieren und beseitigen. Je nach Art und Eigenschaften von Krankheitserregern, Tieren, Betrieb und weiteren Faktoren kann durch diese bei einem Index  $j$  zur Kennzeichnung der betrachteten Seuche verzichtet.

<sup>29</sup>Vgl. Niemi et al. [2004], S. 186.

trieblichen Sofortmaßnahmen eine weitere Durchseuchung der Herde mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit unterbunden werden.<sup>30</sup> Gelingt die Seucheneindämmung ohne Einschaltung der Veterinärbehörde, beschränken sich die Reaktionskosten im Wesentlichen auf den Verlust der beseitigten Tiere und die Aufwendungen bei der Durchführung der betrieblichen Sofortmaßnahmen. Scheitert die Seucheneindämmung ohne Unterstützung durch die Veterinärbehörde, findet ein weiterer Anstieg der Prävalenzquote im primärinfizierten Betrieb statt. Es ist davon auszugehen, dass ab einer bestimmten Seuchenprävalenz nicht mehr von einer Unbeobachtbarkeit der Nicht-Meldung ausgegangen werden kann, da das Verheimlichen eines Seuchenausbruchs vor Nachbarn, Lieferanten, Schlachthöfen oder Kunden zunehmend schwieriger wird. Folglich werden die Meldung des Ausbruchs und die hohen Reaktionskosten für den Tierproduzenten durch die offizielle Seuchenbekämpfung unvermeidlich. Die im primärinfizierten Betrieb durchgeführten Notfallmaßnahmen verändern sich aber prinzipiell nicht in Abhängigkeit von der Prävalenzquote bei Meldung des Seuchenverdachts: Nach wie vor kommt es zur Notschlachtung der gesamten Herde und zur Betriebsunterbrechung, bis die Seuchenfreiheit des betroffenen Gebiets wieder hergestellt ist, so dass die individuellen Reaktionskosten bei verspäteter Meldung mit den Kosten bei sofortiger Meldung durchaus vergleichbar sind.

Diese vereinfachte Darstellung der Entscheidungssituation des Tierproduzenten eines primärinfizierten Betriebs impliziert, dass die Nicht-Meldung eines Seuchenausbruchs eine dominante Strategie ist, wenn die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Seucheneindämmung innerhalb des Betriebs groß genug ist. GRAMIG [2005, S. 6] bezeichnet den Anreiz, die Meldung von Seuchenverdachtsfällen zu unterlassen, als *ex post Moral Hazard Problem*. Gesamtwirtschaftlich kann die entsprechende Verzögerung bei der Seuchenbekämpfung gravierende Konsequenzen haben und den Unterschied zwischen einem lokalen Seuchenausbruch und einer katastrophalen Epizootie bedeuten.<sup>31</sup> Das aufgrund der verzögerten Meldung gestiegene Risiko einer Epizootie betrifft überwiegend andere Tierproduzenten und stellt einen negativen externen Effekt des Unterlassens einer sofortigen Seuchenmeldung dar.

Ziel der folgenden Analyse der Meldeentscheidung im Fall einer Primärinfektion ist es, eine *Meldebedingung* zu formulieren, deren Einhaltung die sofortige Meldung eines Seuchenverdachts durch den Tierproduzenten garantiert. Es lässt sich zeigen, dass die Entschädigung individueller Reaktionskosten in ausreichender Höhe eine Übereinstimmung zwischen dem individuell optimalen Meldeverhalten und dem first-best effizienten Meldeverhalten bewirkt. Wir bezeichnen die Risikomanagementmaßnahme der sofortigen Meldung von Seuchenverdachtsfällen mit dem Symbol  $\psi_m$ . Als diskrete Maßnahme kann  $\psi_m$  nur die Werte  $\{0; 1\}$  annehmen.  $\psi_m^1$  steht für die sofortige Meldung nach der Entdeckung von Krankheitsymptomen,  $\psi_m^0$

<sup>30</sup>Diese Wahrscheinlichkeit kann durch experimentelle Untersuchungen abgeschätzt werden. Vgl. zum Beispiel Zhang et al. [2008] zu einem Experiment zur Übertragbarkeit des MKS-Erregertyps Asia-1 zwischen Rindern, Schafen und Schweinen.

<sup>31</sup>Vgl. Gramig et al. [2006], S. 44 f.

steht für die Unterlassung der sofortigen Meldung. Das effiziente Meldeverhalten  $\psi_m^*$  im Zustand  $y > 0$  beinhaltet die Meldung des Seuchenverdachts an die zuständige Veterinärbehörde, das heißt  $\psi_m^* = \psi_m^1$  falls  $y > 0$ .

Die Entscheidung über eine sofortige Meldung stellt sich in Folge einer konkreten Realisation  $\bar{y}$  der Zufallsvariablen  $Y$ , auf deren Basis der Tierproduzent einen Seuchenverdacht hegt. Aufgrund der Möglichkeit der Verwechslung von Symptomen unterschiedlicher Krankheiten oder der fehlerhaften Diagnose vermeintlicher Krankheitssymptome entwickelt der Tierproduzent eine Einschätzung  $\hat{y} > 0$ . Diese Einschätzung induziert eine bedingte Verteilung  $F(\bar{y} | \hat{y})$  der Wahrscheinlichkeit für die tatsächliche Prävalenzquote  $\bar{y}$  der betrachteten Tierseuche, die unter anderem von der Eindeutigkeit der Symptomatik der betrachteten Tierseuche beeinflusst wird.

Die Konsequenzen der getroffenen Meldeentscheidung für den betrachteten Tierproduzenten drücken sich in seinen Reaktionskosten aus, die zunächst als Zufallsvariable  $\tilde{X}^R$  modelliert werden und in Abhängigkeit von  $\psi_m$  stehen. Wir bezeichnen die Zufallsvariable der individuellen Reaktionskosten bei sofortiger Meldung des Seuchenverdachts mit  $\tilde{X}^R(\bar{y}; \psi_m^1)$ . Die Reaktionskosten bei sofortiger Meldung sind nicht von der Einschätzung  $\hat{y}$  abhängig, da Reaktionsmaßnahmen erst nach Bestätigung des Seuchenausbruchs bzw. nach Ermittlung der Prävalenzquote  $\bar{y}$  eingeleitet werden.<sup>32</sup> Die von der Veterinärbehörde durchgeführten Seuchenbekämpfungsmaßnahmen sind zunächst unabhängig von der Ausprägung von  $\bar{y}$ , sofern  $\bar{y} > 0$  ist. Es ist aber plausibel anzunehmen, dass eine höhere Durchseuchung der Herde mit einer stärkeren Seuchenverbreitung bei Entdeckung der Krankheitssymptome einhergeht, was tendenziell eine länger andauernde Seuchenbekämpfung in der Region des Tierproduzenten und damit zum Beispiel steigende Betriebsunterbrechungskosten impliziert. Zudem besteht Unsicherheit hinsichtlich der Art von Restriktionen oder Auflagen.  $\tilde{X}^R(\bar{y}; \psi_m^1)$  weist somit bei  $\bar{y} > 0$  eine relativ kleine Streuung und relativ hohe Realisationen auf. Für  $\bar{y} = 0$  gilt  $\tilde{X}^R(\bar{y}; \psi_m^1) = 0$ .<sup>33</sup>

Wir bezeichnen die Zufallsvariable der individuellen Reaktionskosten bei Unterlassen der sofortigen Meldung des Seuchenverdachts mit  $\tilde{X}^R(\hat{y}; \psi_m^0)$ . Die durch die Verteilung  $F(\bar{y} | \hat{y})$  abgebildete Unsicherheit darüber, ob, welche und wie viele Tiere an welcher Tierseuche erkrankt sind, und wie die weitere Entwicklung des (möglichen) Seuchenausbruchs ohne sofortige Meldung abläuft, impliziert eine starke Streuung von  $\tilde{X}^R(\hat{y}; \psi_m^0)$ . Es bestehen verschiedene Handlungsmöglichkeiten zur Begrenzung individueller Reaktionskosten im Rahmen der Nicht-Meldung des Verdachts, zum Beispiel hinsichtlich der Qualität der Quarantäne isolierter Tiere oder

<sup>32</sup>Aus diesem Grund muss die Möglichkeit von falschen Angaben bei der Meldung nicht untersucht werden. Wenn sich der Tierproduzent für die Meldung entscheidet, ist die wahrheitsgemäße Berichterstattung über die Prävalenzquote eine dominante Strategie. Vgl. Gramig et al. [2005], S. 6.

<sup>33</sup>Wir vernachlässigen die unmittelbar mit der Erstattung einer Seuchenverdachtsmeldung einhergehenden Kosten wie den Zeitaufwand, der dem Tierproduzenten durch die darauf folgende Inspektion der Veterinärbehörde entsteht.

der Größe der isolierten Tiergruppe. Zudem besteht ein Anreiz zum Verkauf von nicht erkrankten Tieren in Antizipation der Gefahr zukünftiger Restriktionen.<sup>34</sup> Die Zufallsvariable  $\tilde{X}^R(\hat{y}; \psi_m^0)$  unterstellt demnach individuell optimale Reaktionsmaßnahmen in Abhängigkeit der Beobachtung  $\hat{y}$ , die aber hier nicht explizit analysiert werden.

Ist der Seuchenverdacht unbegründet, das heißt gilt  $\bar{y} = 0$  bei der Einschätzung  $\hat{y} > 0$ , realisieren sich bei Nicht-Meldung des Verdachts zumindest die Kosten der Durchführung betrieblicher Sofortmaßnahmen, zum Beispiel der Arbeitsaufwand zur Isolierung einer Tiergruppe vom Rest des Bestands. Liegt tatsächlich ein Seuchenausbruch vor, das heißt gilt  $\bar{y} > 0$  bei der Einschätzung  $\hat{y} > 0$ , sind ganz unterschiedliche Realisationen an individuellen Reaktionskosten möglich. Relativ geringe Reaktionskosten entstehen, wenn der Seuchenausbruch frühzeitig erkannt wird, nur ein kleiner Teil des gesamten Tierbestandes infiziert ist und die Quarantäne erfolgreich ist. Allerdings ist es möglich, eine gesunde Herde Wochen nach einem erfolgreich vertuschten Seuchenausbruch durch Präventivschlachtungen zu verlieren, weil ein Seuchenausbruch in einer Herde bekannt wurde, zu der durch Backward Tracing ein Kontakt ermittelt wird. Die erfolgreiche betriebliche Eindämmung des Ausbruchs einer hochinfektösen Tierseuche ohne Verständigung der Veterinärbehörde ist demnach keine Garantie dafür, von den rigorosen kollektiven Seuchenbekämpfungsmaßnahmen verschont zu bleiben. Scheitert die Eindämmung des Seuchenausbruchs ohne sofortige Meldung, kann die Meldung des Seuchenausbruchs wie oben beschrieben zu einem späteren Zeitpunkt unvermeidlich werden, was sehr hohe Realisationen von  $\tilde{X}^R(\hat{y}; \psi_m^0)$  hervorruft.

Die Unterscheidung zwischen der bei Entdeckung von Krankheitsymptomen tatsächlich vorliegenden Prävalenzquote  $\bar{y}$  und der Einschätzung  $\hat{y}$  bringt eine für die Ableitung einer Meldebedingung unnötige Komplexität ins Spiel. Wir haben die Prävalenzquote auf Basis klinischer Symptome definiert, also als Anteil sichtbar erkrankter Tiere. Sie kann deshalb durch Tierproduzenten relativ treffsicher abgeschätzt werden. Möglich ist lediglich eine falsche Zuordnung von der beobachteten Symptomatik zu den ursächlichen Krankheitsregern. Nach Entwicklung der Einschätzung  $\hat{y} > 0$  sind demnach drei Fälle hinsichtlich der Beziehung von  $\hat{y}$  und der wahren Prävalenzquote  $\bar{y}$  möglich:

- Fall 1 - Die Symptomatik ist nicht auf den Ausbruch einer hochinfektösen Tierseuche zurückzuführen
- Fall 2 - Ursächlich für die Symptomatik ist nicht der betrachtete Krankheitserreger  $j$ , sondern eine andere hochinfektöse Tierseuche  $\bar{j}$
- Fall 3 - Die Einschätzung des Tierproduzenten ist wahr

Die sofortige Meldung eines Seuchenverdachts ist in Fall 1 vorteilhaft. Massive Seuchenbekämpfungsmaßnahmen wie die Notschlachtung infizierter Herden werden nur

---

<sup>34</sup>Vgl. Niemi et al. [2004], S. 186.

beim Ausbruch hochinfektiöser Tierseuchen eingeleitet. Sind Krankheitssymptome entgegen der Einschätzung des Tierproduzenten auf eine harmlose Tierkrankheit zurückzuführen, erhält der Tierproduzent nach Durchführung der klinischen und gegebenenfalls serologischen Tests durch die Veterinärbehörde eine Entwarnung. Die unmittelbar durch die Meldung des vermeintlichen Seuchenausbruchs entstehenden Kosten sind daher in jedem Fall kleiner als die Kosten betrieblicher Reaktionsmaßnahmen. Fall 2 muss nicht explizit untersucht werden, denn trotz der Einschränkung der Analyse auf eine hochinfektiöse Tierseuche  $j$  formulieren wir eine Meldebedingung, welche die sofortige Meldung für den Fall des Ausbruchs jeder hochinfektiösen Tierseuche  $j \in [1, \dots, J]$  garantiert. Folglich können wir uns zur Ableitung einer Meldebedingung auf Fall 3 beschränken, in dem der Tierproduzent eine adäquate Einschätzung  $\hat{y} = \bar{y}$  trifft und das Risiko zufälliger Reaktionskosten von  $\tilde{X}^R(\bar{y}; \psi_m^1)$  bei Meldung bzw.  $\tilde{X}^R(\bar{y}; \psi_m^0)$  bei Nicht-Meldung trägt. Eine Bedingung, die die sofortige Meldung eines Seuchenausbruchs bei Fall 3 sicherstellt, garantiert die sofortige Meldung von Seuchenverdachtsfällen im Allgemeinen.

Der Tierproduzent verfügt in Fall 3 über die private Information  $\bar{y} > 0$ .<sup>35</sup> Diese Problematik kann nach ARROW [1985, S. 39 f.] als *Hidden Information*, als eine Situation mit unvollständiger Information, charakterisiert werden. Wir führen eine Entschädigung  $E(\cdot)$  von individuellen Reaktionskosten ein, um die oben beschriebene Dominanzbeziehung zwischen den Strategien Meldung und Nicht-Meldung von Seuchenverdachtsfällen umzukehren und eine sofortige Meldung von Seuchenverdachtsfällen sicherzustellen. Prinzipiell zielt dieser Ansatz darauf ab, einen so großen Teil der durch Notschlachtungen und Restriktionen entstehenden Reaktionskosten bei Meldung zu entschädigen, so dass der verbleibende Selbstbehalt des Tierproduzenten sehr klein wird und die sofortige Meldung des Seuchenausbruchs eine dominante Strategie darstellt.

Ein naheliegender Ansatz zur Formulierung einer allgemeinen, von den Präferenzen des Tierproduzenten unabhängigen Meldebedingung ist deshalb die Herstellung einer umgekehrten stochastischen Dominanz des Selbstbehalts bei sofortiger Meldung durch den Selbstbehalt bei Nicht-Meldung oder verspäteter Meldung des Seuchenausbruchs über die Entschädigung individueller Reaktionskosten. Bei Meldung eines Seuchenausbruchs ist aber nicht erkennbar, ob die Meldung sofort nach der Entdeckung von Krankheitssymptomen oder erst verspätet abgegeben wurde. Deshalb hängt nicht nur der Selbstbehalt bei sofortiger Meldung, sondern auch der Selbstbehalt bei Unterlassen der sofortigen Meldung von der Entschädigung ab, wenn die betriebliche Seucheneindämmung scheitert und der Tierproduzent verspätet meldet. Die Formulierung einer auf dem Konzept der Wahrscheinlichkeitsdominanz basierenden Meldebedingung erfordert deshalb eine Modellierung der Seuchenausbreitungsdynamik. Allerdings wäre eine aus einer dynamischen Analyse abgeleitete Meldebedingung für die weitere Untersuchung der anreizkompatiblen Entschädigung im

<sup>35</sup>Vgl. Gramig et al. [2005], S. 5.

Rahmen statischer Modelle unbrauchbar.

Aus diesem Grund basieren die folgenden Überlegungen zur Ableitung einer Meldebedingung auf dem Konzept der Zustandsdominanz: Die Entschädigung soll sicherstellen, dass der Selbstbehalt bei sofortiger Meldung des Seuchenausbruchs stets geringer ist als bei Nicht-Meldung oder verspäteter Meldung, unabhängig von dem in Zukunft eintretenden Szenario der Seuchenausbreitung. Die Nicht-Meldung oder die verspätete Meldung eines Seuchenausbruchs ist deshalb attraktiv, weil sich relativ geringe Reaktionskosten realisieren, wenn die betriebliche Seucheneindämmung erfolgreich ist. Anderenfalls sind die individuellen Reaktionskosten nicht oder zumindest nicht wesentlich höher als bei sofortiger Meldung. Es ist deshalb nicht notwendig, alle möglichen Seuchenausbreitungsszenarien und die dazugehörigen Ausprägungen der Zufallsvariablen  $\tilde{X}^R(\bar{y}; \psi_m^1)$  und  $\tilde{X}^R(\bar{y}; \psi_m^0)$  zu untersuchen. Stattdessen reicht es aus, sich auf das Szenario einer erfolgreichen betrieblichen Seucheneindämmung bei Nicht-Meldung zu beschränken. Wird die Entschädigung so bemessen, dass der Selbstbehalt des Tierproduzenten bei Nicht-Meldung und erfolgreicher betrieblicher Seucheneindämmung mindestens so hoch ist wie bei sofortiger Meldung des Seuchenverdachts, so ist die sofortige Meldung eine strikt dominante Strategie, also unabhängig von der weiteren epizootiologischen Entwicklung vorteilhaft.

Entschädigungszahlungen können nur von ex post beobachtbaren Größen bzw. von sich ex post realisierenden Zufallsvariablen abhängig gemacht werden. Für die Realisation der Zufallsvariablen  $\tilde{X}^R(\bar{y}; \psi_m^0)$  ist diese Voraussetzung nicht erfüllt. Da wir uns aber auf das Szenario einer erfolgreichen betrieblichen Seucheneindämmung beschränken, können wir die individuellen Reaktionskosten bei Nicht-Meldung und erfolgreicher betrieblicher Seucheneindämmung in Abhängigkeit der Prävalenzquote abschätzen. Erkrankte Tiere sind je nach den Eigenschaften des Krankheitserreger  $j$  verloren oder zumindest im Wert gemindert. Ein Verkauf von sichtbar an einer hochinfektiösen Tierseuche erkrankten Tieren ist ausgeschlossen. Ist die Prävalenzquote bei Entdeckung gering, empfiehlt sich sogar eine schnellstmögliche Beseitigung der erkrankten Tiere, um den Ausstoß an Krankheitserregern zu stoppen und die Gefahr einer weiteren Durchseuchung der Herde zu verringern. Die unter dem Szenario einer erfolgreichen betrieblichen Seucheneindämmung anfallenden Reaktionskosten ohne Meldung sind damit eindeutig von der Prävalenzquote bei Entdeckung des Seuchenausbruchs abhängig und nach sofortiger Meldung des Seuchenausbruchs und Ermittlung der Prävalenzquote ex post bestimmbar. Wir bezeichnen diese mit der Funktion  $x^R(\bar{y}; \psi_m^0)$ . Die sofortige Meldung des Seuchenausbruchs ist genau dann eine strikt dominante Strategie, wenn der Selbstbehalt bei sofortiger Meldung, also die Realisation  $\tilde{x}^R(\bar{y}; \psi_m^1)$  der Zufallsvariable  $\tilde{X}^R(\bar{y}; \psi_m^1)$  abzüglich der Entschädigung  $E(\cdot)$ , die individuellen Reaktionskosten bei Nicht-Meldung des Seuchenausbruchs und erfolgreicher betrieblicher Seucheneindämmung  $x^R(\bar{y}; \psi_m^0)$  nicht überschreitet.

Die Realisation  $\tilde{x}^R(\bar{y}; \psi_m^1)$  kann ex post beobachtet werden, sie ist beispielsweise von der Dauer der Restriktionen und der Art der Auflagen zur Seuchenbekämpfung

fung abhängig. Auf Basis der ex post bestimmbaren Größe  $\tilde{x}^R(\bar{y}; \psi_m^1)$  und  $x^R(\bar{y}; \psi_m^0)$  können wir eine Bedingung in Form einer Mindestschädigung formulieren. Die sofortige Meldung eines Seuchenausbruchs bei Entdeckung der Prävalenzquote  $\bar{y}$  ist eine strikt dominante Strategie, wenn gilt:

$$\tilde{x}^R(\bar{y}; \psi_m^1) - E(\cdot) \leq x^R(\bar{y}; \psi_m^0)$$

$$\iff E(\cdot) = E(\tilde{x}^R(\bar{y}; \psi_m^1); x^R(\bar{y}; \psi_m^0)) \geq \tilde{x}^R(\bar{y}; \psi_m^1) - x^R(\bar{y}; \psi_m^0) \quad (5.1)$$

Die Bedingung (5.1) stellt die sofortige Meldung eines Seuchenausbruchs bei Entdeckung der Prävalenzquote  $\bar{y}$  der hochinfektiösen Tierseuche  $j$  sicher. Wie oben dargelegt induziert sie auch die sofortige Meldung eines Seuchenverdachts durch den Tierproduzenten, wenn wir berücksichtigen, dass die Entdeckung von Krankheitssymptomen aufgrund der Diagnoseunsicherheit lediglich eine Einschätzung  $\hat{y}$  darstellt, die aus Sicht des Tierproduzenten auf den Ausbruch der hochinfektiösen Tierseuche  $\bar{j}$  oder auf den Ausbruch einer harmlosen Tierkrankheit zurückzuführen sein kann.

Die Meldebedingung (5.1) setzt keine spezifische Prävalenzquote  $\bar{y}$  bei der Entdeckung von Krankheitssymptomen voraus, sie gilt allgemein für  $y > 0$  bzw.  $\hat{y} > 0$ . Eine plausible Annahme für die Abhängigkeit der Reaktionskosten bei Nicht-Meldung und erfolgreicher betrieblicher Eindämmung des Seuchenausbruchs ist  $\frac{\delta x^R(y; \psi_m^0)}{\delta y} > 0$  für  $0 < y < 1$ . Angesichts der Einschränkung auf den oben genannten Fall 3 gilt zudem  $x^R(0; \psi_m^0) = 0$ . Die Annahme eines positiven Zusammenhangs zur Prävalenzquote bei Entdeckung von Krankheitssymptomen ist prinzipiell auch für den Schwerpunkt der Verteilung von  $\tilde{X}^R(y; \psi_m^1)$  sinnvoll, da Seuchenbekämpfungsrestriktionen in der Region tendenziell umso länger in Kraft bleiben müssen, je länger eine unkontrollierte Seuchenausbreitung stattgefunden hat. Allerdings ist nur ein sehr kleiner Teil der Reaktionskosten bei Meldung im primärinfizierten Betrieb prävalenzquotenabhängig. Der weitaus größte Teil entsteht durch prävalenzquotenunabhängige kollektive Seuchenbekämpfungsmaßnahmen, insbesondere durch die Notschlachtung der gesamten Herde und durch Notfallauflagen, zum Beispiel die Vernichtung von Tierfutter oder die Reinigung und Desinfektion von Betriebsstätten, weshalb von einer sehr geringen Streuung der Zufallsvariablen  $\tilde{X}^R(y; \psi_m^1)$  bei  $y > 0$  auszugehen ist.

Für die weitere Analyse der anreizkompatiblen Entschädigung von Reaktionskosten im primärinfizierten Betrieb ist die zufallsabhängige Modellierung der Reaktionskosten  $\tilde{X}^R(\bar{y}; \psi_m^1)$  ungünstig. Als stochastisches Signal für die Intensität des unbeobachtbaren Risikomanagements wird, wie in Abschnitt 5.2.1 dargelegt, die Prävalenzquote verwendet. Die Aufnahme einer weiteren Stochastik würde das Modell stark verkomplizieren, ohne zusätzliche Erkenntnisse über die anreizkompatible Entschädigungsform zu generieren, die ausschließlich prävalenzquotenabhängig

ist. Vor diesem Hintergrund und angesichts der ohnehin geringen Streuung von  $\tilde{X}^R(y; \psi_m^1)$  ist es vertretbar, die Reaktionskosten bei sofortiger Meldung des Seuchenausbruchs im primärinfizierten Betrieb durch die Funktion  $x^R(y; \psi_m^1)$  zu ersetzen, für die  $x^R(0; \psi_m^1) = 0$  und  $x^R(y; \psi_m^1) > 0$  für  $y > 0$  gilt.  $x^R(y; \psi_m^1)$  ist vollkommen unelastisch gegenüber einer Veränderung der Prävalenzquote bei Entdeckung des Seuchenausbruchs. Zwar hat  $y$  einen starken Einfluss auf die weitere, lokale oder auch regionale Seuchenausbreitung. Dies betrifft aber nicht den primärinfizierten Betrieb. Folglich gilt  $\frac{\delta x^R(y; \psi_m^1)}{\delta y} = 0$  für  $y > 0$ . Offensichtlich ist  $x^R(y; \psi_m^0) \leq x^R(y; \psi_m^1)$  für alle  $y$ , da die offizielle Seuchenbekämpfung wesentlich umfangreicher ist und unter anderem die Notschlachtung und damit den Totalverlust der gesamten Herde beinhaltet. Lediglich bei sehr hohen Prävalenzquoten nähern sich die Reaktionskosten bei Nicht-Meldung  $x^R(y; \psi_m^0)$  den Kosten  $x^R(y; \psi_m^1)$  bei Meldung an, denn die Verluste bei betrieblicher Seucheneindämmung ohne Verständigung der Veterinärbehörde entsprechen nahezu einem Totalverlust der Herde.

Unter diesen Vereinfachungen verändert sich die Bedingung, die eine sofortige Meldung von Seuchenverdachtsfällen sicherstellt, zu (5.2):

$$E(y) \geq x^R(y; \psi_m^1) - x^R(y; \psi_m^0) := E^m(y) \quad (5.2)$$

Wir bezeichnen (5.2) im Folgenden als *Meldebedingung*,  $E^m(y)$  steht für die Mindestentschädigung zur Einhaltung der Meldebedingung.<sup>36</sup> Die sofortige Meldung eines Seuchenverdachts wird also genau dann sichergestellt, wenn mindestens die durch die kollektive Seuchenbekämpfung *zusätzlich* entstehenden Reaktionskosten kompensiert werden.<sup>37</sup> Eine unzureichende Entschädigung  $E(y) < E^m(y)$  birgt dagegen die Gefahr eines ineffizienten Risikomanagements, da sich der Tierproduzent gegen die sofortige Meldung des Seuchenverdachts entscheiden könnte.<sup>38</sup> Andererseits gilt, dass Tierproduzenten den Ausbruch einer hochinfektiösen Tierseuche sofort nach Entdeckung an die zuständige Veterinärbehörde melden, wenn ihre Reaktionskosten mindestens in Höhe von  $E^m(y)$  entschädigt werden. Das individuell optimale Meldeverhalten entspricht dann dem effizienten Meldeverhalten, das heißt  $\psi_m^{**} = \psi_m^* = \psi_m^1$  falls  $y > 0$  und  $E(y) \geq E^m(y)$ . Angesichts der Bedeutung der sofortigen Meldung von Seuchenverdachtsfällen an die zuständige Veterinärbehörde ist die Entschädigung von individuellen Reaktionskosten unter Einhaltung von (5.2) eine unabdingbare Voraussetzung für die Implementierung der effizienten Ri-

<sup>36</sup>Da die Einhaltung von (5.2) die sofortige Meldung von Seuchenverdachtsfällen garantiert und ein deterministischem Zusammenhang zwischen  $y$  und  $x^R(y; \psi_m^1)$  bzw.  $x^R(y; \psi_m^0)$  besteht, ist die Prävalenzquote  $y$  bei Entdeckung des Seuchenausbruchs die einzige unabhängige Variable der Entschädigungsfunktion in der Meldebedingung.

<sup>37</sup>Vgl. Gramig et al. [2005], S. 6.

<sup>38</sup>Dieses Ergebnis der Analyse des Meldeverhaltens wird durch empirische Untersuchungen von Epizootien in verschiedenen Ländern gestützt. Vgl. Yee et al. [2008], S. 334 und Hennessy [2007], S. 699.

sikomanagementstrategie  $\Psi^*(y(t), t)$ .<sup>39</sup> Die Entschädigung der individuellen Reaktionskosten unter Einhaltung von (5.2) stellt einen Revelationsmechanismus dar, der bei  $y > 0$  eine wahrheitsgemäße Berichterstattung des Tierproduzenten über den Gesundheitszustand seiner Herde in dominanten Strategien gewährleistet.<sup>40</sup>

Die Ableitung der Meldebedingung (5.2) basiert auf dem Konzept der Zustandsdominanz. Dadurch konnte die Analyse auf das Szenario einer erfolgreichen betrieblichen Seucheneindämmung bei Nicht-Meldung mit den Reaktionskosten  $x^R(y; \psi_m^0)$  beschränkt werden. Dies stellt eine erhebliche Vereinfachung der Entscheidungssituation eines Tierproduzenten bei Entdeckung einer Prävalenzquote  $y > 0$  dar, denn das Unterlassen einer sofortigen Meldung impliziert die Realisation individueller Reaktionskosten aus der Zufallsvariable  $\tilde{X}^R(y; \psi_m^0)$  sowie einen Selbstbehalt, der - zum Beispiel bei verspäteter Meldung - wiederum von der Entschädigungsfunktion abhängig ist. Die Bedingung (5.2) bemisst die Mindestentschädigung so, dass die sofortige Meldung selbst bei Realisation des Minimums des Trägers von  $\tilde{X}^R(y; \psi_m^0)$  ex post nicht nachteilig ist. Das heißt, die sofortige Meldung würde durch eine im Vergleich zu (5.2) weniger restriktive, marginale Meldebedingung sichergestellt werden, die jedoch die dynamische Analyse der Seuchenausbreitung in Abhängigkeit von  $y$  erfordert und im Rahmen der weiteren statischen Analyse der anreizkompatiblen Entschädigung unbrauchbar wäre. Wir halten daher an der Meldebedingung (5.2) fest. Vor dem Hintergrund der herausragenden Bedeutung einer sofortigen Meldung von Seuchenverdachtsfällen ist diese im Rahmen der anreizkompatiblen Entschädigung von individuellen Reaktionskosten unbedingt einzuhalten.

Die Meldebedingung kann zum Beispiel durch eine Versicherungspflicht mit Leistungsregulierung, durch staatlich garantierte Entschädigungsansprüche oder durch den in Kapitel 4 eingeführten Monopol-Pflichtversicherer erfüllt werden. Entschädigungszahlungen durch den Pflichtversicherer können problemlos an die Meldung des Seuchenausbruchs an die Veterinärbehörde gebunden werden, da aufgrund der Zielkongruenz zwischen Veterinärbehörde und Pflichtversicherer von einem reibungslosen Informationsaustausch zwischen diesen Institutionen ausgegangen werden kann.<sup>41</sup> In Anbetracht der hervorragenden Eignung des Monopol-Pflichtversicherers zur Internalisierung der externen Effekte des beobachtbaren individuellen Risikomanagements stellt die letzte Option das effiziente institutionelle Arrangement zur Implementierung des optimalen Risikomanagements hochinfektiöser Tierseuchen dar. Ungeeignet sind dagegen ad hoc Entschädigungszahlungen, die erst nach Seuchenausbruch spezifiziert werden, denn von ihnen gehen schwächere Anreizwirkungen zum Zeitpunkt der Entdeckung einer Primärinfektion aus.

Die Analyse der Meldung von Seuchenverdachtsfällen zeigt, dass der Anreiz zur

<sup>39</sup>Vgl. Khol et al. [2007], S. 306.

<sup>40</sup>Vgl. Mas-Colell et al. [1995], S. 866-871.

<sup>41</sup>Gemäß der zu Beginn von Kapitel 4 angegebenen Definition der nationalen Veterinärbehörde ist ein Monopol-Pflichtversicherer sogar Bestandteil dieser Behörde. Aufgrund der unterschiedlichen Funktionen beider Institutionen unterscheiden wir aber weiterhin zwischen diesen.

Meldung von Seuchenverdachtsfällen durch Tierproduzenten umso höher ist, je umfassender die Tierproduzenten für die entstehenden Reaktionskosten entschädigt werden.<sup>42</sup> Der Monopol-Pflichtversicherer kann die Meldung von Seuchenverdachtsfällen sogar sicher stellen, wenn er die Reaktionskosten unter Einhaltung der Bedingung (5.2) kompensiert. Dieses Ergebnis der Analyse der Meldeentscheidung ist bemerkenswert, denn es besagt, dass der Anreiz zur Durchführung einer unbeobachtbaren Schadenverhütungsmaßnahme mit zunehmender Kompensation im Schadenfall steigt. Es widerspricht damit den herkömmlichen Ergebnissen der Analyse des moralischen Risikos im Hinblick auf Schadenverhütungsentscheidungen von Versicherungsnehmern, die im Fall von schadenhöhenreduzierenden Maßnahmen durchweg einen negativen Zusammenhang zwischen Entschädigungsintensität und Anreizen zum Risikomanagement zeigen.<sup>43</sup> Ursache dieses überraschenden Ergebnisses sind die internen, schadenerhöhenden Effekte, die eine Meldung von Seuchenausbrüchen aufgrund der darauf folgenden Reaktionsmaßnahmen hervorruft.

### 5.2.3 Frühzeitige Entdeckung einer Primärinfektion

Effizientes Meldeverhalten zeichnet sich nicht allein dadurch aus, dass Tierproduzenten Seuchenverdachtsfälle sofort nach ihrer Entdeckung an die zuständige Veterinärbehörde melden, sondern auch durch eine relativ *frühzeitige Entdeckung von Krankheitssymptomen*. Die frühzeitige Entdeckung von Symptomen wird zum einen durch die Fähigkeit bzw. den Kenntnisstand von Tierproduzenten zur Seuchenfrüherkennung beeinflusst. Die Verbesserung der Kenntnisse zur Seuchenfrüherkennung, zum Beispiel Aus- und Fortbildungsmaßnahmen, sind beobachtbar. Die externen Effekte des Kenntnisstandes eines Tierproduzenten zur Seuchenfrüherkennung können daher problemlos über gesetzliche Vorschriften oder über Versicherungsprämien internalisiert werden. Von Bedeutung ist aber auch die Regelmäßigkeit, mit der ein Tierproduzent den Gesundheitszustand seiner Herde im Rahmen von routinemäßigen Gesundheitsprüfungen überprüft, sowie die Aufmerksamkeit und Sorgfalt, die er dabei an den Tag legt.<sup>44</sup> Wir subsumieren diese individuellen Risikomanagementmaßnahmen unter der Maßnahme *Prüfsorgfalt*  $\psi_p$  und gehen davon aus, dass die Intensität der Prüfsorgfalt im Intervall  $]0; \infty[$  stetig variierbar ist.

Aufgrund der erheblichen positiven externen Effekte ist die Intensität der effizienten Prüfsorgfalt  $\psi_p^*$  größer als die second-best Prüfsorgfalt  $\psi_p^{**}$ . Untersuchungen vergangener Epizootien hochinfektöser Tierseuchen zeigen, dass der Seuchenausbruch in infizierten Betrieben vor Feststellung einer Primärinfektion teilweise über viele Wochen unentdeckt bleibt, was die Wahrscheinlichkeit einer regionalen Ausbreitung des Krankheitserregers und katastrophaler ökonomischer Konsequenzen der

<sup>42</sup>Auch empirisch kann ein positiver Zusammenhang zwischen Entschädigung und Meldung von Seuchenverdachtsfällen nachgewiesen werden. Vgl. Hennessy [2007], S. 699.

<sup>43</sup>Vgl. zum Beispiel Spence und Zeckhauser [1971], S. 383.

<sup>44</sup>Vgl. McLaws et al. [2007], S. 20.

Epizootie stark erhöht.<sup>45</sup> Die Entdeckung eines Verstoßes gegen einen vorgegebenen Prüfsorgfaltsstandard erfordert nicht nur eine (sehr unwahrscheinliche) Kontrolle genau zu dem Zeitpunkt, an dem Erkrankungen in einem primärinfizierten Betrieb vorliegen. Darüber hinaus müsste noch verifiziert werden, dass die Erkrankungen bei Einhaltung des erforderlichen Prüfsorgfaltsstandards zu erkennen und damit zu melden gewesen wären. Auch dieser zweite Aspekt ist problematisch, denn es kann nicht von einem deterministischen Zusammenhang zwischen Prüfsorgfalt und Seuchenprävalenz ausgegangen werden. Ein eindeutiger Rückschluss von der Prävalenz bei Meldung bzw. Entdeckung eines Seuchenverdachts auf die Prüfsorgfalt ist im Allgemeinen nicht möglich. Die Verifizierbarkeit eines aufgrund von einer hohen Seuchenprävalenz vermuteten Verstoßes gegen den effizienten Prüfsorgfaltsstandard ist damit in doppelter Hinsicht problematisch. Wir betrachten die Prüfsorgfalt deshalb als eine nicht unter verhältnismäßigen Kosten beobachtbare und damit nicht ex ante kontrahierbare Größe, so dass die in Kapitel 4 diskutierten Internalisierungsansätze nicht anwendbar sind.

Im Vergleich zum Hidden Information Problem, das durch die Zahlung einer Mindestentschädigung  $E^m(y)$  gelöst werden kann, liegt nun eine Informationsasymmetrie in Form von *Hidden Action* in Bezug auf die Wahl des Prüfsorgfaltsstandards  $\psi_p$  vor.<sup>46</sup> Die Ergebnisse visueller und serologischer Tests, die nach Meldung eines Verdachts über den Ausbruch einer hochinfektiösen Tierseuche von der Veterinärbehörde durchgeführt werden, spielen eine entscheidende Rolle bei der Lösung des Hidden Action Problems: Die nach Meldung verifizierte Seuchenprävalenz  $y$  stellt ein Signal für den vom Tierproduzenten angewendeten Prüfsorgfaltsstandard  $\psi_p^{**}$  dar, da höhere Prüfsorgfaltsstandards tendenziell mit einer geringeren Seuchenprävalenz bei Entdeckung von Krankheitssymptomen verbunden sind. Folglich kann ein anreizkompatibler Mechanismus zur Steuerung der Prüfsorgfalt unter Verwendung der Seuchenprävalenz  $y$  zum Zeitpunkt der Entdeckung bzw. Meldung eines Seuchenverdachts eingesetzt werden, der Anreize zur Erhöhung des individuell optimalen Standards  $\psi_p^{**}$  setzt.<sup>47</sup> Im Hinblick auf die Implementierung des effizienten Risikomanagements  $\Psi^*(y(t), t)$  muss die sofortige Meldung eines Seuchenverdachts nach der Entdeckung von Krankheitssymptomen stets gewährleistet sein. Die Bedingung (5.2) ist deshalb eine Nebenbedingung in der weiteren Analyse.

Die effiziente Prüfsorgfalt  $\psi_p^*$  ist eine bekannte Größe, die im Rahmen der Optimierung im epizootiologischen Risikokostenmodell ermittelt werden kann. Dabei werden unterschiedliche Risikomanagementstrategien mit verschiedenen Prüfsorgfaltsstandards unter Berücksichtigung der Prüfsorgfaltskosten verglichen, die wiederum unterschiedliche  $HRP_1$ -Verteilungen implizieren und zu verschiedenen Risikokostenverteilungen führen.<sup>48</sup> Der effiziente Standard  $\psi_p^*$  ist damit in Bezug auf die

<sup>45</sup>Vgl. Stegemann et al. [2000], S. 186 und DEFRA [2002], S. 2.

<sup>46</sup>Vgl. Arrow [1985], S. 38.

<sup>47</sup>Vgl. Harris und Raviv [1979], S. 233.

<sup>48</sup>Vgl. Abschnitt 3.3.3.4.

Analyse des Hidden Action Problems exogen gegeben. In der folgenden Modellierung wird gezeigt, wie der Monopol-Pflichtversicherer unter Beachtung von (5.2) Prüfsorgfaltsanreize effizient setzen kann, so dass sich der individuell optimale Standard  $\psi_p^{**}$  erhöht. Der in der epizootologischen Risikokostenmodellierung spezifizierte, effiziente Standard  $\psi_p^*$  gibt dann vor, in welchem Umfang diese Anreize notwendig sind, um die Wahl des effizienten Standards  $\psi_p^{**} = \psi_p^*$  zu induzieren.

In den folgenden Abschnitten wird die anreizkompatible Lösung des Hidden Action Problems untersucht. Zunächst wird dazu der Begriff der Seuchenprävalenz präzisiert und ein plausibler stochastischer Zusammenhang zwischen Seuchenprävalenz und Prüfsorgfalt dargelegt (Abschnitt 5.2.3.1). In Abschnitt 5.2.3.2 werden die Wahl des second-best Standards  $\psi_p^{**}$  sowie ein anreizkompatibler Ansatz zur Erhöhung dieses Standards dargestellt. Es handelt sich dabei um eine über die Mindestentschädigung hinaus gehende Zusatzentschädigung, deren optimale Ausgestaltung in Abschnitt 5.2.3.3 untersucht wird. In Abschnitt 5.2.3.4 werden die wichtigsten Ergebnisse zusammen gefasst und Anmerkungen zu praktischer Umsetzung der anreizkompatiblen Entschädigung gemacht.

### 5.2.3.1 Seuchenprävalenz und Prüfsorgfalt

Der Zusammenhang zwischen Prüfsorgfalt und Prävalenzquote zum Entdeckungzeitpunkt ist stochastisch und wird durch die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion  $f(y, \psi_p)$  beschrieben, die stetig und (mindestens) zweimal in  $\psi_p$  sowie einmal in  $y$  differenzierbar sei.<sup>49</sup> Ihre Verteilungsfunktion  $F(y, \psi_p)$  gibt an, wie hoch die Wahrscheinlichkeit für eine Prävalenzquote  $y$  in Abhängigkeit des angewendeten Prüfsorgfaltsstandards  $\psi_p$  ist. Wir nehmen an, dass die Prüfsorgfalt  $\psi_p$  die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Prävalenzquote im Sinne einer *umgekehrten stochastischen Dominanz erster Ordnung* beeinflusst.<sup>50</sup> Das heißt für beliebige  $\psi_p^* > \psi_p^{**}$  und eine nicht-fallende Funktion  $h : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$  gilt  $\int h(y)dF(y, \psi_p^*) \leq \int h(y)dF(y, \psi_p^{**})$ , was  $F(y, \psi_p^*) \geq F(y, \psi_p^{**})$  für alle  $y$  impliziert.<sup>51</sup> Wir gehen zudem von einer regelmäßigen Wirkung der Prüfsorgfalt aus. Daher gilt  $F(y, \psi_p^*) > F(y, \psi_p^{**})$  für alle  $y \in ]0; 1[$ .<sup>52</sup>

In Abbildung 5.1 sind Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen unter Einhaltung des first-best und des individuell optimalen Prüfsorgfaltsstandards skizziert, die obigen Annahmen über den Einfluss der Prüfsorgfalt auf die Prävalenzquote entsprechen. Zudem weisen die skizzierten Dichtefunktionen die Eigenschaften der Eingipfeligkeit sowie der Rechtsschiefe auf, die für den vorliegenden Kontext plausibel sind.

Inhaltlich ist die Annahme einer regelmäßigen Wirkung der Prüfsorgfalt einleuch-

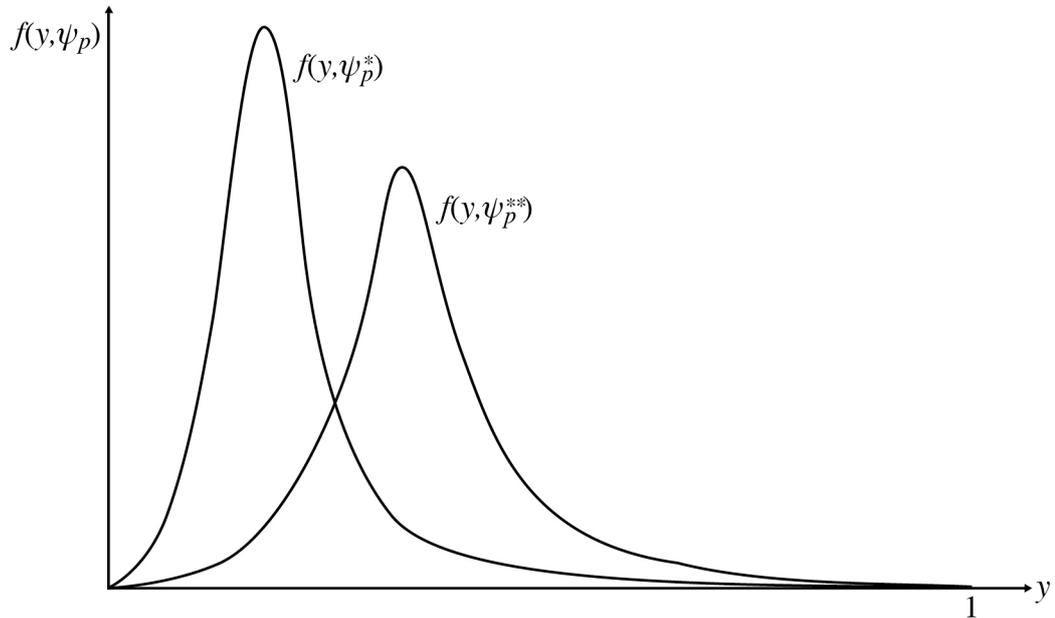
<sup>49</sup>Vgl. Holmström [1979], S. 77. Angesichts des diskreten Merkmals "sichtbar erkrankt" und endlicher Herdengrößen ist die Prävalenzquote eigentlich diskret verteilt. Die Annahme einer stetigen Verteilung ist jedoch vorzuziehen, denn sie hat keinerlei Auswirkungen auf die Implikationen der Analyse des Entscheidungsverhaltens und ermöglicht eine starke Vereinfachung der formalen Darstellung.

<sup>50</sup>Vgl. Mirrlees [1999], S. 6 f. zu diesem Ansatz der Modellierung.

<sup>51</sup>Mas-Colell et al. [1995], S. 195.

<sup>52</sup>Vgl. Mirrlees [1999], S. 7.

Abbildung 5.1: Skizzierte Prävalenzquoten-Dichtefunktionen



tend, denn sie besagt, dass die Wahrscheinlichkeit, zum Zeitpunkt der Entdeckung eines Seuchenausbruchs eine Prävalenzquote  $y \leq \bar{y} \in ]0; 1[$  vorzufinden, umso größer ist, je höher der angewendete Prüfsorgfaltsstandard ist. Allerdings soll unabhängig von dem angewendeten Prüfungssorgfaltsstandard keine Prävalenzquote  $y \in [0; 1]$  ausgeschlossen werden können, was die ex post Verifizierbarkeit der Prüfungssorgfalt ausschließt. Diese Annahme mag aus veterinärmedizinischer Sicht unzutreffend erscheinen, für die modelltheoretische Analyse des Hidden Action Problems ist sie jedoch zweckmäßig. Wären bestimmte Prävalenzquoten  $y \in [\bar{y}; 1]$  bei  $\psi_p = \psi_p^*$  ausgeschlossen, könnte die Implementierung des effizienten Prüfsorgfaltsstandards in einer isolierten Betrachtung des Hidden Action Problems durch eine prohibitiv hohe Bestrafung im Fall von  $y \in [\bar{y}; 1]$  sichergestellt werden.<sup>53</sup> Dieses Arrangement zur Lösung des Hidden Action Problems erfordert einerseits die uneingeschränkte Wirksamkeit prohibitiv hoher Strafen. Ist dies jedoch aufgrund von individuellen Vermögensbeschränkungen nicht der Fall, kann eine Unterschreitung des Prüfsorgfaltsstandards  $\psi_p^*$  individuell optimal sein.<sup>54</sup> Andererseits wäre die Meldebedingung nicht erfüllt, wenn sich eine Prävalenzquote  $y \in [\bar{y}; 1]$  realisiert. Die Annahme eines vom gewählten Prüfsorgfaltsstandard unabhängigen Trägers der Verteilung  $F(y, \psi_p)$  ermöglicht die Lösung des Hidden Action Problems, wobei eine Beeinträchtigung durch das Hidden Information Problem nicht zu befürchten ist, solange (5.2) eingehalten wird.

<sup>53</sup>Vgl. Harris und Raviv [1979], S. 248-251.

<sup>54</sup>Vgl. Shavell [1986].

### 5.2.3.2 Anreize zur Erhöhung der Prüfsorgfalt

Wir setzen im Folgenden voraus, dass der Monopol-Pflichtversicherer eine Mindestschädigung in Höhe von  $E^m(y)$  gemäß (5.2) leistet, so dass eine sofortige Meldung von Seuchenverdachtsfällen sichergestellt ist und der Selbstbehalt des Tierproduzenten an den Reaktionskosten genau  $x^R(y; \psi_m^0)$  beträgt. Der Nutzen des Tierproduzenten sei durch die Nutzenfunktion  $u(w, \psi_p)$  darstellbar, wobei  $w$  für das Vermögen und  $\psi_p$  für die Intensität der Prüfsorgfalt steht. Die Nutzenfunktion sei separierbar, das heißt  $u(w, \psi_p) = u^w(w) - u^p(\psi_p)$ .<sup>55</sup> Die Komponenten  $u^w$  und  $u^p$  seien stetig und zweifach differenzierbar, wobei gilt:  $u_w^w > 0$ ,  $u_{ww}^w < 0$ ,  $u_{\psi_p}^p > 0$  und  $u_{\psi_p \psi_p}^p > 0$ .<sup>56</sup> Für den Disnutzen der Prüfsorgfalt gilt außerdem  $\lim_{\psi_p \rightarrow 0} u_{\psi_p}^p = 0$  und  $\lim_{\psi_p \rightarrow \infty} u^p = \infty$ . Die exogen gegebene Wahrscheinlichkeit für die Seuchenfreiheit bezeichnen wir mit  $p^0 \in ]0; 1[$ . Das Vermögen bei Seuchenfreiheit beträgt  $w_0$ . In  $w_0$  sind schon alle Kosten und Erträge der Tierproduktion berücksichtigt, unter anderem die Präventionskosten sowie die Prämienzahlungen zur Pflichtversicherung. Werden die Reaktionskosten in Höhe von  $E^m(y)$  kompensiert, entspricht der Erwartungsnutzen des Tierproduzenten dem Ausdruck (5.3):

$$\mathbb{E}[u] = p^0 \cdot u^w(w_0) + (1 - p^0) \cdot \int_0^1 u^w(w_0 - x^R(y; \psi_m^0)) \cdot f(y, \psi_p) dy - u^p(\psi_p) \quad (5.3)$$

Die Annahme der umgekehrten stochastischen Dominanz erster Ordnung hinsichtlich der regelmäßig wirkenden Prüfsorgfalt impliziert eine in  $\psi_p$  wachsende Verteilungsfunktion im Inneren ihres Trägers, das heißt  $F_{\psi_p}(y, \psi_p) > 0$  für alle  $y \in ]0; 1[$ . Ökonomisch plausibel ist es, von abnehmenden stochastischen Grenzerträgen der Prüfsorgfalt auszugehen: Für ein beliebiges  $y \in ]0; 1[$  erreicht man bei Erhöhung der Prüfsorgfalt positive, aber abnehmende Zuwächse im Wert der Verteilungsfunktion. Wir nehmen daher an, dass  $F_{\psi_p \psi_p}(y, \psi_p) < 0$  für alle  $y \in ]0; 1[$  gilt. Die Bedingung abnehmender stochastischer Grenzerträge der Prüfsorgfalt ist hinreichend für die Konkavität des Integrals in (5.3) in  $\psi_p$ .<sup>57</sup> Zusammen mit den Annahmen zum Verlauf von  $u^p$  ergibt sich eine eindeutige, innere Lösung  $\psi_p^{**}$  der Maximierung des Ausdrucks (5.3) nach  $\psi_p$ . Dies ermöglicht die implizite Bestimmung des second-

<sup>55</sup>Vgl. Grossman und Hart [1983], S. 10 f. Die separierbare Nutzenfunktion vereinfacht die Modellierung und vermeidet das technische Problem einer stochastischen optimalen Lösung. Vgl. Winter [2000], S. 160. Aufgrund dieser Vorteile werden die Interpretationsschwierigkeiten in Kauf genommen, die angesichts der Existenz monetärer Äquivalente für den Disnutzen der Prüfsorgfalt bestehen, welche im Term  $u^w(w)$  erfasst werden müssten. Vgl. Bender [2002], S. 98 f.

<sup>56</sup>Tiefgestellte abhängige Variablen von Funktionen kennzeichnen die Ableitung der Funktion nach dieser Variablen, das heißt  $u_w^w$  ist die erste und  $u_{ww}^w$  die zweite Ableitung des Vermögensnutzens des betrachteten Tierproduzenten nach dem Vermögen.

<sup>57</sup>Vgl. Teil I von Anhang B.1.

best Prüfsorgfaltsstandards  $\psi_p^{**}$  anhand der durch Ableitung von (5.3) nach  $\psi_p$  und Nullsetzen gewonnenen Bedingung erster Ordnung (5.4):

$$(1 - p^0) \cdot \int_0^1 u^w(w_0 - x^R(y; \psi_m^0)) \cdot f_{\psi_p}(y, \psi_p^{**}) dy = u_{\psi_p}^p(\psi_p^{**}) \quad (5.4)$$

Bedingung (5.4) beschreibt das individuelle Entscheidungsverhalten, wenn die individuellen Reaktionskosten in Höhe der Mindestentschädigung kompensiert werden, so dass die Meldebedingung erfüllt ist. Die individuell optimale Prüfsorgfalt  $\psi_p^{**}$  wird genau so angepasst, dass der Grenznutzen der Erhöhung der Prüfsorgfalt den Grenzkosten entspricht.

Die Frühzeitigkeit der Entdeckung von Seuchenausbrüchen ruft massive positive externe Effekte hervor, wenn die Meldebedingung eingehalten wird. Die individuell optimale Prüfsorgfalt  $\psi_p^{**}$  ist deshalb zu gering. Effizientes Risikomanagement erfordert daher Anreize für individuelle Tierproduzenten zur Erhöhung der Prüfsorgfalt, so dass der effiziente Standard  $\psi_p^*$  erreicht oder wenigstens angenähert wird. Die individuell optimale Prüfsorgfalt zeichnet sich durch eine Gleichheit von Grenznutzen und Grenzkosten aus. Eine Senkung des Disnutzens des Tierproduzenten bei der Implementierung eines gewünschten Prüfsorgfaltsstandards, zum Beispiel durch regelmäßige, staatlich bereitgestellte und finanzierte Gesundheitskontrollen von Amtstierärzten, erscheint nicht sinnvoll, da die routinemäßige Gesundheitsprüfung eine betriebliche Risikomanagementmaßnahme darstellt. Daher liegt es nahe, den marginalen erwarteten Vermögensnutzen bei Erhöhung der Prüfsorgfalt bzw. die linke Seite der Gleichung (5.4) zu erhöhen.

Dafür bietet sich eine über die Mindestentschädigung hinaus gehende Kompensation von Reaktionskosten an, die wir als *Zusatzentschädigung* bezeichnen. Allerdings wollen wir aufgrund der immensen Bedeutung der Meldung von Seuchenverdachtsfällen keinesfalls die Meldebedingung (5.2) verletzen. Deshalb kommt zur Anreizsetzung nur eine Zusatzentschädigung  $E^+(y) \geq 0$  in Frage, welche die Prävalenzquote als Signal für die Prüfsorgfalt verwendet und den Grenznutzen der Prüfsorgfalt erhöht, indem relativ geringe Prävalenzquoten durch die Zahlung einer Zusatzentschädigung  $E^+(y) > 0$  belohnt werden. Unter Berücksichtigung dieser Zusatzentschädigung verändert sich die Bedingung erster Ordnung zu (5.5):

$$(1 - p^0) \cdot \int_0^1 u^w(w_0 - x^R(y; \psi_m^0) + E^+(y)) \cdot f_{\psi_p}(y, \psi_p^{**}) dy = u_{\psi_p}^p(\psi_p^{**}) \quad (5.5)$$

Durch (5.5) wird wiederum der individuell optimale Prüfsorgfaltsstandard  $\psi_p^{**}$ , nun unter Berücksichtigung der Zusatzentschädigung, implizit definiert.<sup>58</sup> Ziel ist es,

---

<sup>58</sup>Vgl. Teil II von Anhang B.1 zur Zulässigkeit des First-Order Ansatzes bei Berücksichtigung von  $E^+(y)$ .

die Zusatzentschädigung so auszugestalten, dass der Tierhalter den exogen gegebenen Standard  $\psi_p^*$  aus eigenem Nutzenmaximierungskalkül wählt, das heißt  $\psi_p^{**} = \psi_p^*$ .

### 5.2.3.3 Optimale Zusatzentschädigung

Wir untersuchen im Folgenden das optimale Design der Zusatzentschädigung zur Entfaltung von Prüfsorgfaltsanreizen. Dazu gehen wir davon aus, dass der Monopol-Pflichtversicherer erwartete Zusatzentschädigungsleistungen in Höhe von  $E^{+B} > 0$  budgetiert, um mit Hilfe des Instruments der Zusatzentschädigung Anreize zur Erhöhung der individuell optimalen Prüfsorgfalt zu schaffen. Die optimale Zusatzentschädigung ist dann genau die Funktion  $E^{+*}(y)$ , die unter Berücksichtigung von (5.5) und der Budgetbeschränkung  $E^{+B}$  zu einer Maximierung von  $\psi_p^{**}$  führt. Durch eine Anpassung des Budgets  $E^{+B}$  kann dann  $\psi_p^{**} = \psi_p^*$  und damit die Implementierung der effizienten Prüfsorgfalt erreicht werden.

Technisch entspricht die Ermittlung der optimalen Zusatzentschädigung einer nicht-linearen Optimierung unter Nebenbedingungen. Die erste Nebenbedingung betrifft die Wahl des Prüfsorgfaltsstandards und wird als *Anreizkompatibilitätsbedingung* bezeichnet. Sie entspricht Gleichung (5.5). Die linke Seite von (5.5) entspricht dem marginalen erwarteten Vermögensnutzen bei Erhöhung der Prüfsorgfalt. Wie in Teil II von Anhang B.1 gezeigt ist dieser unter der Bedingung  $\frac{dx^R(y; \psi_m^0)}{dy} > \frac{dE^+(y)}{dy}$  positiv und monoton fallend in  $\psi_p$ , was zusammen mit den Annahmen über den Verlauf des Disnutzens  $u^p(\psi_p)$  die Zulässigkeit des First-Order Ansatzes garantiert.<sup>59</sup> Die Bedingung erster Ordnung der Wahl des individuell optimalen Prüfsorgfaltsstandards wird in Abbildung 5.2 grafisch dargestellt. Die individuell optimale Prüfsorgfalt  $\psi_p^{**}$  zeichnet sich dadurch aus, dass die Differenz zwischen dem erwarteten Vermögensnutzen, der durchgezogenen Linie  $\mathbb{E}[u^w]$ , und dem Disnutzen aus der Prüfsorgfalt  $u^p$  maximal ist. Die Annahmen zur Wirkung einer Veränderung der Prüfsorgfalt auf die Wahrscheinlichkeitsdichte  $f(y, \psi_p)$  und auf den Disnutzen der Prüfsorgfalt stellen sicher, dass ein eindeutiges, inneres Maximum existiert und durch die Gültigkeit der Bedingung erster Ordnung beschrieben wird. Die Steigungen der Kurven  $\mathbb{E}[u^w]$  und  $u^p$  sind deshalb an der Stelle  $\psi_p^{**}$  gleich groß, was in Abbildung 5.2 durch die parallelen Tangenten an diese Kurven bzw. durch den Schnittpunkt der Funktion  $u_{\psi_p}^p$  mit der (durchgezogenen) Kurve  $\frac{\delta \mathbb{E}[u^w]}{\delta \psi_p}$  bei  $\psi_p = \psi_p^{**}$  angezeigt wird. Die zweite Restriktion ist die *Budgetbedingung*  $E^{+B} = (1 - p^0) \cdot \int_0^1 E^+(y) \cdot f(y, \psi_p) dy$ , die den exogen gegebenen Erwartungswert der Zusatzentschädigung beschreibt und auf diese Weise die in Abhängigkeit der Prävalenzquote erstattete Zusatzentschädigung beschränkt. Da die Nebenbedingungen in Gleichheitsform vorliegen, kann das Optimierungsproblem mit der Methode von Lagrange gelöst werden.

Ziel der zusätzlichen Entschädigung ist die Erhöhung des durch den Tierproduzenten implementierten Prüfsorgfaltsstandards. Als *Zielfunktion* kommt die Variable  $\psi_p$  jedoch nicht direkt in Frage, da ihre Formulierung in Abhängigkeit der Zusatz-

<sup>59</sup>Vgl. Bender [2002], S. 111-114.



ignorieren zudem die Bedingung  $E^+(y) \geq 0$ , die die sofortige Meldung von Seuchenverdachtsfällen garantiert. In die Lagrange-Funktion  $L(E^+(y), \psi_p, \lambda_p, \lambda_+)$  gehen deshalb nur die Bedingung erster Ordnung der individuell optimalen Prüfsorgfalt (5.5) sowie die Budgetbegrenzung  $E^{+B}$  als Nebenbedingungen mit den Lagrange-Multiplikatoren  $\lambda_p$  und  $\lambda_+$  ein:<sup>62</sup>

$$L = (1 - p^0) \cdot \int_0^1 u^w \cdot f_{\psi_p} dy - \lambda_p \cdot \left( (1 - p^0) \cdot \int_0^1 u^w \cdot f_{\psi_p} dy - u_{\psi_p}^p \right) + \lambda_+ \cdot \left( E^{+B} - (1 - p^0) \cdot \int_0^1 E^+ \cdot f dy \right) \quad (5.6)$$

Offensichtlich stellt die Budgetbegrenzung eine bindende Nebenbedingung dar, da ein umso höherer Wert der Zielfunktion bzw. des ersten Terms in (5.6) erreicht werden kann, je größer das Budget für die Zusatzentschädigung  $E^{+B}$  ist. Folglich gilt  $\lambda_+ > 0$ . Auch die Bedingung erster Ordnung der individuell optimalen Prüfsorgfalt erweist sich bei Untersuchung der partiellen Ableitungen  $\frac{\delta L}{\delta \psi_p}$  und  $\frac{\delta L}{\delta \lambda_+}$  als bindend, das heißt  $\lambda_p > 0$ .<sup>63</sup>

Als Vorüberlegung zum Design der Funktion der optimalen Zusatzentschädigung  $E^{+*}(y)$  betrachten wir den Einfluss der Prüfsorgfalt auf die Prävalenzquotenverteilung bzw. den Verlauf der Ableitung  $f_{\psi_p}(y, \psi_p)$ . Wir gehen wie in Abbildung 5.1 von einer eingipfeligen Dichtefunktion mit einem inneren Maximum aus, was nicht nur für die Verteilung der Prävalenzquote, sondern für nahezu alle aus natürlichen Vorgängen entstehenden, reellwertigen Zufallsvariablen sachgerecht ist. Dies impliziert, dass die Ableitung  $f_{\psi_p}(y, \psi_p)$  in einem Bereich  $y(\psi_p)^+ = ]0; y^k(\psi_p)[$  größer und in einem Bereich  $y(\psi_p)^- = [y^k(\psi_p); 1[$  gleich bzw. kleiner als null ist. Wenn effizientes Risikomanagement die Erhöhung des Grenznutzens der Prüfsorgfalt anhand einer Zusatzentschädigung  $E^+(y) \geq 0$  nahe legt, dann wird bei Betrachtung von (5.5) sofort deutlich, dass die Zahlung einer Zusatzentschädigung  $E^+(y) > 0$  überhaupt nur bei Prävalenzquoten im Bereich  $y(\psi_p)^+$  in Frage kommt, denn positive Zusatzentschädigungen bei  $y(\psi_p)^-$  würden den Grenznutzen der Prüfsorgfalt unverändert lassen bzw. verringern und wären damit kontraproduktiv. Der Grenznutzen der Prüfsorgfalt könnte zwar durch negative Zusatzentschädigungen, also Strafzahlungen, im Bereich  $y(\psi_p)^- \setminus y^k(\psi_p)$  erhöht werden. Dies ist allerdings nicht mit dem Ziel eines effizienten Risikomanagements hochinfektiöser Tierseuchen vereinbar, denn dadurch würde man riskieren, dass Seuchenverdachtsfälle nicht gemeldet werden. Es gilt also  $E^+(y) = 0$  für  $y \in y(\psi_p)^-$ . Wir können unsere Untersuchung zum Verlauf der optimalen Zusatzentschädigung deshalb auf den Prävalenzquotenbereich  $y(\psi_p)^+$  beschränken.

In der folgenden Analyse spielt die mit dem Kehrwert der Dichtefunktion ge-

<sup>62</sup>Hier und im Folgenden wird zugunsten einer übersichtlicheren Darstellung auf die abhängigen Variablen in Funktionen teilweise verzichtet.

<sup>63</sup>Vgl. Anhang B.2.

wichtete Ableitung  $f_{\psi_p}(y, \psi_p)$  eine wichtige Rolle.  $\frac{f_{\psi_p}(y, \psi_p)}{f(y, \psi_p)}$  wird als Likelihood Ratio bezeichnet. Die Likelihood Ratio beschreibt den Grenzertrag der Prüfsorgfalt in Relation zur Wahrscheinlichkeitsdichte. Da die (stetige) Dichte im Inneren des Trägers  $[0; 1]$  positiv ist, wird das Vorzeichen der Likelihood Ratio durch die Ableitung  $f_{\psi_p}(y, \psi_p)$  bestimmt. Bei einer eingipfeligen Dichtefunktion ist die (stetige) Likelihood Ratio im Bereich  $y(\psi_p)^+$  demnach größer und im Bereich  $y(\psi_p)^-$  gleich bzw. kleiner als null. Wir nehmen hinsichtlich der Wirkung der Prüfsorgfalt auf die Wahrscheinlichkeitsdichte der Prävalenzquote an, dass sie die *Monotone Likelihood Ratio Property* erfüllt, also im Inneren des Trägers  $[0; 1]$  monoton fällt.<sup>64</sup>

Die punktweise Maximierung<sup>65</sup> von  $L$  nach  $E^+(y)$  liefert folgende Optimalbedingung:

$$u_w^w = \frac{\lambda_+}{\frac{f_{\psi_p}}{f} \cdot (1 - \lambda_p)} \quad (5.7)$$

Da  $0 < \lambda_p < 1$  gilt,<sup>66</sup> ist die Optimalbedingung im Untersuchungsbereich  $y(\psi_p)^+$  sinnvoll interpretierbar. (5.7) besagt, dass der individuelle Grenznutzen des Vermögens bei optimaler Zusatzentschädigung dem mit einer positiven Konstanten multiplizierten Kehrwert der Likelihood Ratio entspricht. Da die Likelihood Ratio im Untersuchungsbereich  $y(\psi_p)^+$  positiv ist und aufgrund der Monotone Likelihood Ratio Property mit zunehmender Prävalenzquote fällt, ist ihr Kehrwert bzw. der Grenznutzen des Vermögens des betrachteten Tierproduzenten mit zunehmender Prävalenzquote zum Zeitpunkt der Entdeckung von Krankheitssymptomen monoton steigend. Dies impliziert einen negativen Zusammenhang zwischen Prävalenzquote und Vermögen, so dass sich ein mit der Prävalenzquote steigender Selbstbehalt des Tierproduzenten ergibt. Dieses Ergebnis impliziert die im Lagrange-Ansatz vernachlässigte Bedingung  $\frac{dx^R(y; \psi_m^0)}{dy} > \frac{dE^+(y)}{dy}$ . Der First-Order Ansatz erweist sich damit als zulässig.

Die Ableitung von (5.7) nach  $y$  ermöglicht eine explizite Darstellung des Verlaufs der optimalen Zusatzentschädigung  $E^{+*}(y)$  bzw. des optimalen Selbsthalts  $x^{S*}(y) := x^R(y; \psi_m^0) - E^{+*}(y)$ :<sup>67</sup>

$$\frac{dx^{S*}(y)}{dy} = \frac{\frac{d \frac{f_{\psi_p}}{f}}{dy}}{\frac{f_{\psi_p}}{f}} \cdot \frac{u_w^w}{u_{ww}^w} \quad (5.8)$$

Gleichung (5.8) macht wiederum deutlich, dass der Selbstbehalt unter den An-

<sup>64</sup>Die Annahme der Monotone Likelihood Ratio Property trifft für eine Vielzahl bekannter Verteilungsfunktionen zu. Sie kann zum Beispiel für die Normalverteilung oder die inverse Gauß-Verteilung gezeigt werden, wenn die Wirkung des Risikomanagements in monotoner Weise über den Erwartungswertparameter in die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion integriert wird. Vgl. Bender [2002], S. 106-109.

<sup>65</sup>Vgl. Holmström [1979], S. 77.

<sup>66</sup>Vgl. Anhang B.2.

<sup>67</sup>Vgl. Anhang B.3.

nahmen  $u_w^w > 0$  und  $u_{ww}^w < 0$  und bei Gültigkeit der Monotone Likelihood Ratio Property bei steigender Prävalenzquote ansteigt, denn  $\frac{dx^S(y)}{dy}$  ist im Bereich  $y(\psi_p)^+$  durchweg positiv. Zudem zeigen sich die zwei zentralen Bestimmungsfaktoren des Verlaufs der optimalen Selbstbehaltfunktion. Der erste Multiplikator auf der rechten Seite von (5.8) stellt die Sensitivität der Likelihood Ratio dar, das heißt ihre relative Veränderung bei sich verändernden Prävalenzquoten, die wie die Likelihood Ratio selbst von der Prävalenzquote abhängig ist. Ceteris paribus steigt der Selbstbehalt umso stärker an, je größer die relative Abnahme der Likelihood Ratio ist. Die relative Abnahme der Likelihood Ratio ist umso größer, je stärker man bei einer marginalen Erhöhung der Prävalenzquote auf eine Reduktion der Prüfsorgfalt schließen kann. Insofern werden durch die Erhöhung des Selbstbehalts umso stärkere Anreize zur Erhöhung der Prüfsorgfalt gesetzt, je effektiver eine Reduktion der Prävalenzquote durch eine Erhöhung der Prüfsorgfalt erreicht werden kann.

Der zweite Bestimmungsfaktor für den Anstieg des Selbstbehalts ist der negative Kehrwert des ARROW-PRATT Maßes  $r^{AP}$  der absoluten Risikoaversion,  $\frac{u_w^w}{u_{ww}^w} = -\frac{1}{r^{AP}}$ .<sup>68</sup> (5.8) lässt sich unter Verwendung von  $r^{AP}$  schreiben als:

$$\frac{dx^{S^*}(y)}{dy} = -\frac{\frac{d f_{\psi_p}}{dy}}{\frac{f_{\psi_p}}{f}} \cdot \frac{1}{r^{AP}} \quad (5.9)$$

Ceteris paribus steigt der optimale Selbstbehalt umso stärker an, je kleiner  $r^{AP}$  ist. Die Selbstbehaltfunktion verläuft also umso flacher, je risikoaverser der Tierproduzent ist. Auch dieses Ergebnis ist ökonomisch sinnvoll interpretierbar. Ziel des Optimierungsproblems (5.6) ist die Maximierung des erwarteten marginalen Vermögensnutzens bei Erhöhung der Prüfsorgfalt durch Gewährung einer Zusatzentschädigung. Je risikoaverser der Tierproduzent ist, desto nutzenmindernder wirken sich tendenziell Schwankungen des Endvermögens  $w = w_0 - x^R(y; \psi_m^0) + E^+(y)$  aus. Die Verwendung eines exogen gegebenen Budgets für erwartete Zusatzentschädigungsleistungen orientiert sich deshalb bei steigender Risikoaversion stärker an den Reaktionskosten  $x^R(y; \psi_m^0)$ , so dass eine flachere Selbstbehaltfunktion resultiert.

Weitergehende Untersuchungen des Verlaufs der optimalen Zusatzentschädigung können nur nach Spezifikation der Wahrscheinlichkeitsdichte oder der Nutzenfunktion des Tierproduzenten angestellt werden. Wir werden im Folgenden eine Beschränkung auf so genannte *Constant Absolute Risk Aversion* (CARA) Nutzenfunktionen vornehmen, da sie weitere Erkenntnisse ohne eine zu starke Einschränkung der Allgemeingültigkeit des Modells ermöglicht. CARA Nutzenfunktionen zeichnen sich durch eine konstante, also vom Vermögen unabhängige absolute Risikoaversion  $r^{AP}$  aus.<sup>69</sup> Unter Verwendung der ARROW-PRATT Konstante  $c^{AP} := -\frac{1}{r^{AP}} < 0$  lässt sich (5.9) umformulieren:

<sup>68</sup>Vgl. Eeckhoudt et al. [2005], S. 13-16.

<sup>69</sup>Vgl. Eeckhoudt et al. [2005], S. 20 f.

$$\frac{dx^{S^*}(y)}{dy} = c^{AP} \cdot \frac{\frac{d \frac{f_{\psi_p}}{f}}{dy}}{\frac{f_{\psi_p}}{f}} \quad (5.10)$$

Gleichung (5.10) verdeutlicht, dass die (absolute) Veränderung des Selbstbehalts in Abhängigkeit der Prävalenzquote bei Tierproduzenten mit CARA Präferenzen maßgeblich von dem veterinärmedizinisch-technischen Zusammenhang zwischen Prüfsorgfalt und Prävalenzquotenverteilung bestimmt wird. Das Integral von Gleichung (5.10) ist aufgrund der speziellen Form der Integranden analytisch leicht zu bestimmen. Durch (logarithmische) Integration von (5.10) erhält man den expliziten Ausdruck (5.11) für die optimale Selbstbehaltfunktion,<sup>70</sup> wobei  $c$  eine Integrationskonstante ist, deren Wert nach Parameterspezifikation des Modells bestimmt werden könnte und vom Budget  $E^{+B}$  abhängig ist.

$$x^{S^*}(y) = c^{AP} \cdot \ln \frac{f_{\psi_p}}{f} + c \quad (5.11)$$

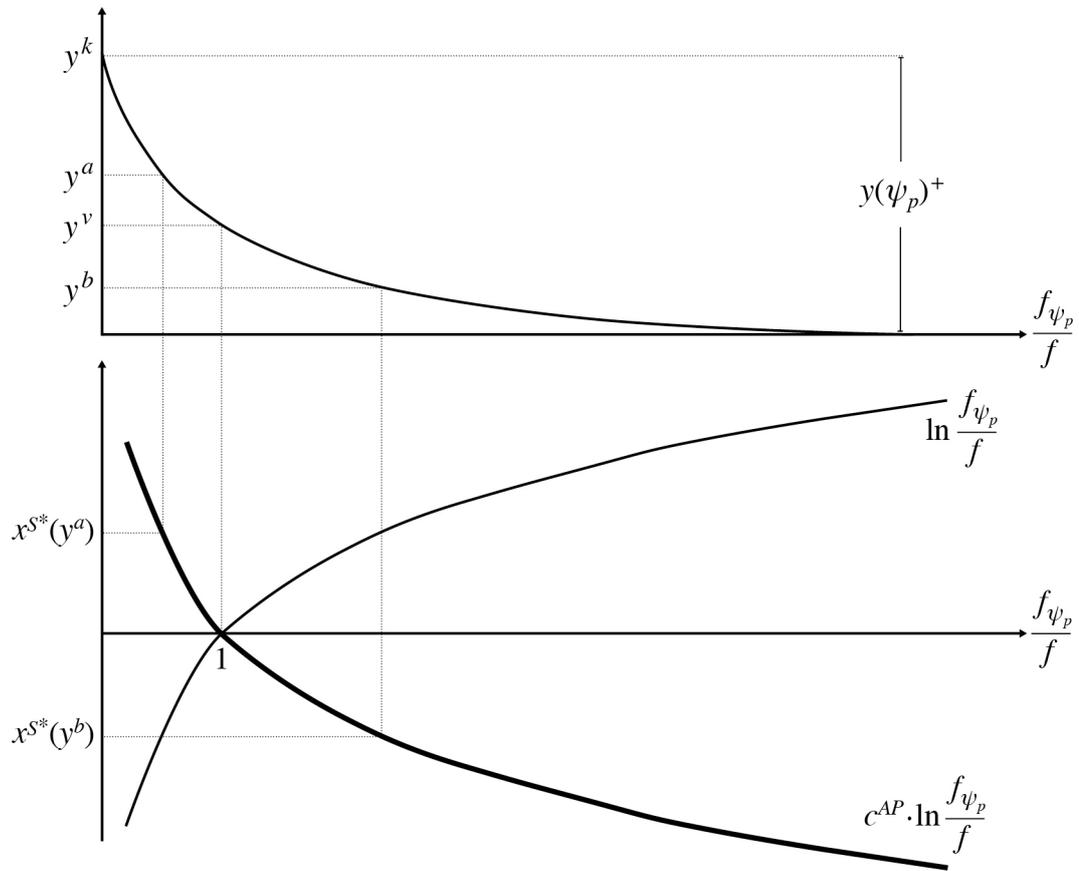
Zur Veranschaulichung der folgenden Aussagen sei auf die Abbildung 5.3 verwiesen. Im oberen Teil ist ein möglicher Verlauf der monotonen Likelihood Ratio in Abhängigkeit der Prävalenzquote skizziert. Dabei sind die Achsen entgegen der üblichen Darstellungsweise vertauscht, so dass die Prävalenzquote auf der Ordinate angegeben ist. Im unteren Bereich befinden sich der natürliche Logarithmus der Likelihood Ratio und die nach Multiplikation der Logarithmusfunktion mit der (negativen) Konstanten  $c^{AP}$  resultierende Selbstbehaltfunktion. Der Abbildung 5.3 liegen die Werte  $c^{AP} = -1$  und  $c = 0$  sowie die Annahme zugrunde, dass die Likelihood Ratio für kleine Prävalenzquoten den Wert 1 überschreitet, das heißt  $\lim_{y \rightarrow 0} \frac{f_{\psi_p}}{f} > 1$ .

Für relativ hohe Prävalenzquoten  $y \in ]y^v; y^k[$  wird ein positiver Selbstbehalt verlangt. Der optimale Selbstbehalt bei der Prävalenzquote  $y^a$  beträgt zum Beispiel  $x^{S^*}(y^a) > 0$ . Darüber hinaus gilt  $x^{S^*}(y) \rightarrow \infty$  für  $y \rightarrow y^k$ . Die im Rahmen der Lagrange-Optimierung nicht berücksichtigte Nebenbedingung  $E^+(y) \geq 0$  wird also bindend, sobald die Prävalenzquote eine Höhe  $y^m$  überschreitet, für die  $E^{+*}(y^m) = 0$  gilt, so dass  $x^{S^*}(y^m) = x^R(y^m; \psi_m^0)$ .<sup>71</sup> Die Prävalenzquote  $y^v$  stellt einen kritischen Wert dar. Sie wird durch  $\frac{f_{\psi_p}(y^v; \psi_p)}{f(y^v; \psi_p)} = 1$  implizit definiert. Der Selbstbehalt beträgt hier genau null, das heißt es wird eine Zusatzentschädigung in Höhe der Reaktionskosten bei Nicht-Meldung gezahlt,  $E^{+*}(y^v) = x^R(y^v; \psi_m^0)$ . Unterschreitet die Prävalenzquote den kritischen Wert  $y^v$ , werden die Reaktionskosten durch die Zusatzentschädigung sogar überkompensiert, so dass ein negativer Selbstbehalt resultiert. In Abbildung 5.3 ist dies beispielhaft anhand der Prävalenzquote  $y^b$  skizziert, die zum

<sup>70</sup>Vgl. Bronstein et al. [1999], S. 425. Aufgrund der Einschränkung des Untersuchungsbereichs auf  $y(\psi_p)^+$  ist die Angabe von Betragsstrichen um das Argument der Logarithmusfunktion nicht notwendig.

<sup>71</sup>In Abbildung 5.3 ist  $y^m$  nicht erkennbar, da die Reaktionskosten nicht eingezeichnet sind. Es gilt  $y^m \in ]y^v; y^k[$ .

Abbildung 5.3: Optimaler Selbstbehalt im Bereich  $y(\psi_p)^+$

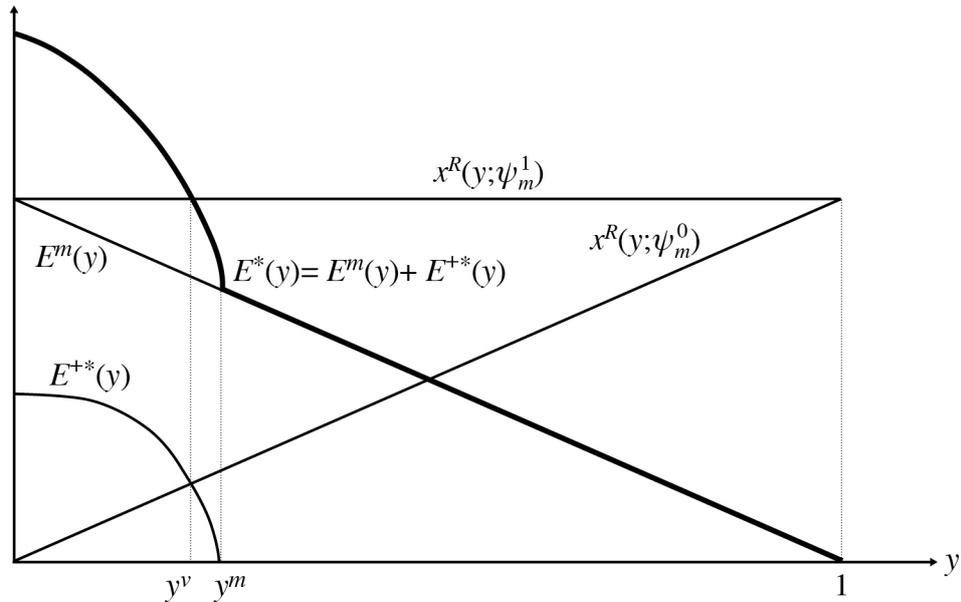


Selbstbehalt  $x^{S*}(y^b) < 0$  führt. Falls die Likelihood Ratio entgegen des in Abbildung 5.3 unterstellten Verlaufs den Wert 1 nie überschreitet, gilt  $E^{+*}(y) \leq x^R(y; \psi_m^0)$  für alle  $y \in y(\psi_p)^+$ , so dass es nicht zu einer derartigen "Prämie" für eine besonders frühzeitige Meldung von Seuchenverdachtsfällen kommt.

In Abbildung 5.4 werden die Verläufe der Kosten- und Entschädigungsfunktionen grafisch dargestellt. Dabei werden die Reaktionskosten bei Meldung des Ausbruchs einer hochinfektiösen Tierseuche,  $x^R(y; \psi_m^1)$ , wie in Abschnitt 5.2.2 als unabhängig von der Prävalenzquote betrachtet, da sich die bei einer Erhöhung der Prävalenzquote steigenden Reaktionskosten ausschließlich extern realisieren. Dagegen sind die Reaktionskosten bei Nicht-Meldung,  $x^R(y; \psi_m^0)$ , von der Prävalenzquote abhängig. Es wird zur Vereinfachung davon ausgegangen, dass sich die Kosten  $x^R(y; \psi_m^0)$ , zum Beispiel krankheitsbedingte Tierverluste, Beseitigungskosten und Kosten für die Quarantäne von Tiergruppen, proportional zur Prävalenzquote verhalten und bei maximaler Seuchenprävalenz  $y = 1$  den Reaktionskosten bei Meldung entsprechen. Aus den angenommenen Kostenverläufen ergibt sich ein linear sinkender Verlauf der Min-

destentschädigung  $E^m(y) := x^R(y; \psi_m^1) - x^R(y; \psi_m^0)$ . Abbildung 5.4 verdeutlicht, dass bei Prävalenzquoten  $y < y^m$  positive Zusatzentschädigungen erstattet werden. Falls  $y < y^v$ , überschreitet die optimale gesamte Entschädigung  $E^*(y) = E^m(y) + E^{+*}(y)$  sogar die gesamten Reaktionskosten  $x^R(y; \psi_m^1)$ , so dass eine Prämie zur Belohnung einer besonders frühzeitigen Meldung von Seuchenverdachtsfällen gezahlt wird.<sup>72</sup>

Abbildung 5.4: Optimale Entschädigung mit Prüfsorgfaltsanreizen



Gleichung (5.11) suggeriert, dass die Höhe des Budgets  $E^{+B}$  unter CARA Präferenzen nur einen Niveaueffekt bewirkt, indem sie über ihren Effekt auf die Integrationskonstante  $c$  eine vertikale Verschiebung der Selbstbehaltfunktion induziert. Dies ist allerdings nicht ganz richtig. Auch wenn der Verlauf der Entschädigungsfunktion durch (5.9), (5.10) und (5.11) gegeben ist, entfalten unterschiedliche Zusatzentschädigungshöhen verschiedene Anreizwirkungen und beeinflussen die durch die Bedingung erster Ordnung (5.5) abgebildete Wahl der individuell optimalen Prüfsorgfalt. Das Budget  $E^{+B}$  ist demnach eine wichtige Größe zur Steuerung der Prüfsorgfalt von Tierproduzenten. Eine Variation der Budgetbeschränkung  $E^{+B}$  führt nicht nur zu einer vertikalen Verschiebung der Selbstbehaltfunktion, sondern über ihren Effekt auf den gewählten Standard  $\psi_p^{**}$  erst zu einem konkreten Verlauf der Likelihood Ratio, die wiederum den Verlauf der Selbstbehaltfunktion determiniert. Das Budget muss genau in der Höhe gewählt werden, so dass es erwartete Ausgaben für die Zusatzentschädigung in der Höhe deckt, die zur Implementierung von  $\psi_p^*$  notwendig sind.

<sup>72</sup>Wie in Abbildung 5.3 wird  $\lim_{y \rightarrow 0} \frac{f_{\psi_p}}{f} > 1$  unterstellt.

#### 5.2.3.4 Anreizkompatible Entschädigung

Die Analyse in den voran gegangenen Abschnitten hat gezeigt, dass die Entschädigung individueller Reaktionskosten eine wesentliche Rolle dabei spielt, effizientes individuelles Risikomanagement im Hinblick auf die frühzeitige Meldung von Seuchenverdachtsfällen sicher zu stellen. Die Pflicht zur Versicherung des Risikos hochinfektiöser Tierseuchen bei einem Monopol-Pflichtversicherer, der mindestens den Teil  $E^m(y) := x^R(y; \psi_m^1) - x^R(y; \psi_m^0)$  der Reaktionskosten entschädigt, der dem Tierproduzenten durch die Meldung des Ausbruchs und die daraufhin erfolgenden, behördlich gesteuerten Seuchenbekämpfungsmaßnahmen zusätzlich entsteht, macht die Meldung des Ausbruchs einer hochinfektiösen Tierseuche zu einer dominanten Strategie. Zudem können über die Entschädigungsfunktion gezielt Anreize zur Erhöhung der Prüfsorgfalt gesetzt werden, indem eine über die Mindestentschädigung  $E^m(y)$  hinaus gehende Zusatzentschädigung  $E^+(y)$  geleistet wird, wenn zum Zeitpunkt der Meldung relativ geringe Prävalenzquoten vorliegen. Durch eine anreizkompatible Entschädigung der Reaktionskosten kann somit effizientes individuelles Risikomanagement im Hinblick auf die frühzeitige Meldung von Seuchenverdachtsfällen erzielt werden, obwohl das Meldeverhalten und die Prüfsorgfalt unbeobachtbar und damit nicht kontrahierbar sind.

Die Modellierung aus den voran gegangenen Abschnitten liefert wertvolle Erkenntnisse für die Implementierung der anreizkompatiblen Entschädigung. Zunächst einmal muss abgeschätzt werden, wie hoch der von der Prävalenzquote abhängige Bestandteil  $x^R(y; \psi_m^0)$  der individuellen Reaktionskosten ist, der maximal als Selbstbehalt  $x^S(y)$  festgelegt werden kann, ohne die Meldebedingung (5.2) zu verletzen. Schließlich ist die Zusatzentschädigung  $E^{+*}(y)$  zu bestimmen, die optimale Anreize zur Erhöhung der Prüfsorgfalt setzt, so dass der effiziente und aus der epizootiologischen Risikokostenmodellierung bekannte Standard  $\psi_p^*$  durch die Tierproduzenten gewählt wird. Die Abhängigkeit der optimalen Zusatzentschädigung von dem ARROW-PRATT Maß  $r^{AP}$  ist in der praktischen Umsetzung problematisch, da die absolute Risikoaversion der Versicherungsnehmer nicht interpersonell konstant ist. Insofern muss dabei auf Schätzungen zurückgegriffen werden. Das Design der optimalen Zusatzentschädigung  $E^{+*}(y)$  ergibt sich dann im Wesentlichen aus dem Verlauf der Likelihood Ratio unter Einhaltung der effizienten Prüfsorgfalt  $\psi_p^*$ , die (erregerspezifisch) abgeschätzt werden muss. Sie ist positiv und fallend in  $y$  für alle  $y \in ]0; y^v[$ . Grundsätzlich gilt, dass die Zusatzentschädigung im Bereich  $]0; y^v[$  umso größer ist und marginal umso stärker abfällt, je größer die Sensitivität der Likelihood Ratio auf Änderungen der Prävalenzquote ist. Die Anreizwirkung der Zusatzentschädigung ist damit umso stärker, je zuverlässiger der stochastische Zusammenhang zwischen dem Signal der Prävalenzquote und dem unbeobachtbaren Prüfsorgfaltsstandard ist. Ceteris paribus sind der Bereich  $]0; y^v[$  und die Steigung  $\frac{dE^+(y)}{dy}$  umso kleiner, je linkssteiler/rechtsschiefer die Wahrscheinlichkeitsdichte der Prävalenzquote ist, das heißt je schneller und deutlicher Krankheitssymptome identifizierbar sind und je

langsamer die Ausbreitung der Tierseuche innerhalb einer Herde erfolgt.

Die als Variable in der Entschädigungsfunktion verwendete Prävalenzquote stellt ausschließlich auf sichtbare Krankheitssymptome ab. Die Ergebnisse der visuellen und serologischen Tests müssen aber konsistent sein, das heißt das visuelle Testergebnis muss statistisch signifikant durch das serologische Testergebnis erklärt werden können. Hintergrund dieser Forderung ist, dass das visuelle Testergebnis durch die Beseitigung sichtbar kranker Tiere vor der Meldung bzw. vor dem Test manipulierbar ist, wodurch eine höhere Prüfsorgfalt vorgetäuscht werden kann. Der Anreiz für derartige Manipulationen besteht besonders bei Prävalenzquoten wie  $y^v$  in Abbildung 5.4, wo ein sehr steiler Verlauf der optimalen Zusatzentschädigung vorliegt. Allerdings kann dies im Rahmen serologischer Untersuchungen aufgedeckt werden, deren Ergebnisse Rückschlüsse auf die Verteilung der Länge der Zeitspanne zwischen Seucheneinschleppung in die Herde und Stattfinden der Serotests zulassen.<sup>73</sup> Unter Verwendung dieser Verteilung kann bei bekannten Erregereigenschaften eine Verteilung der Prävalenzquote zum Meldezeitpunkt abgeschätzt werden, die dann mit der im Rahmen visueller Tests ermittelten Prävalenzquote verglichen wird. Eine Inkonsistenz zwischen visuellem und serologischem Testergebnis kann statistisch signifikant nachgewiesen werden, wenn die vermeintliche Infektionsrate des Seuchenausbruchs innerhalb der Herde unter einem kritischen Wert liegt, also wenn eigentlich viel mehr Tiere erkrankt sein müssten, als in den visuellen Tests festgestellt wurde. In diesem Fall sollte die Entschädigung auf die Höhe der Mindestentschädigung reduziert werden, wobei die gemäß Seroprävalenz wahrscheinlichste Prävalenzquote zugrunde gelegt werden kann. Neben dem Risiko einer Entdeckung von Manipulationen, das aufgrund der im Anschluss an eine Seuchenverdachtsmeldung stattfindenden Untersuchungen nicht unerheblich ist, wirkt auch die drohende Kürzung der Entschädigung auf den zur Einhaltung der Meldebedingung notwendigen Mindestwert Fehlanreizen der Manipulation von Prävalenzquoten entgegen.

Es stellt eine erhebliche Vereinfachung dar, die Reaktionskosten als deterministische Funktion der Prävalenzquote bei Entdeckung des Seuchenausbruchs aufzufassen. Ein Teil der Reaktionskosten realisiert sich erst in den auf den Ausbruch folgenden Wochen und Monaten aufgrund von Auflagen, deren Dauer zum Zeitpunkt der Entdeckung des Seuchenausbruchs ungewiss ist. Allerdings ist die Beschränkung des Zufallseinflusses auf die Seuchenprävalenz in der Analyse des moralischen Risikos sinnvoll, weil die Intensität der unbeobachtbaren Risikomanagementmaßnahme  $\psi_p$  in erster Linie die Seuchenprävalenz zum Zeitpunkt der Entdeckung von Krankheitssymptomen determiniert. Die sich letztendlich realisierenden Reaktionskosten hängen dagegen von vielen weiteren Einflussfaktoren ab und sind daher als Signal für die Intensität der Prüfsorgfalt im Rahmen eines anreizkompatiblen Mechanismus nicht geeignet. Die Zufälligkeit der Reaktionskosten bei gegebener Prävalenzquote legt nahe, dass der optimale Selbstbehalt  $x^{S^*}(y)$  gleich zu Beginn des Seuchenaus-

---

<sup>73</sup>Vgl. Engel et al. [2005].

bruchs, zum Beispiel durch eine Über- oder Unterkompensation von Tierwertverlusten aus Notschlachtungen, voll ausgeschöpft werden sollte. Die in der Folgezeit aufgrund von Betriebseinschränkungen oder Betriebsunterbrechungen entstehenden Kosten werden dann voll entschädigt.

#### 5.2.4 Verhaltensbasierte Biosicherheit

Ein Monopol-Pflichtversicherer kann durch die Anwendung einer internalisierenden Prämienstruktur sicherstellen, dass ein Großteil der in Abschnitt 2.3.1.1 vorgestellten betrieblichen Biosicherheitsmaßnahmen in effizienter Intensität durchgeführt wird. Insbesondere Biosicherheitsinvestitionen, wie der Bau von Anlagen zur geschlossenen Haltung von Geflügel oder die Umzäunung von Weiden, um den Kontakt einer Herde mit Wildtieren zu verhindern, sowie biosicherheitsrelevante Produktionsstruktureigenschaften eines Betriebes, zum Beispiel die Transportintensität der Produktion oder die lokale Produktionsintensität, können leicht beobachtet und als Tarifierungsmerkmale verwendet werden.<sup>74</sup> Die Einhaltung effizienter Biosicherheitsstandards in den Produktionsprozessen muss dagegen häufig als nicht unter verhältnismäßigen Kosten beobachtbar und verifizierbar eingeschätzt werden, insbesondere eingehaltene Standards bei *verhaltensbasierten Biosicherheitsmaßnahmen*.<sup>75</sup> Demzufolge besteht auch bei diesen Maßnahmen, die im Folgenden teilweise verkürzend als *Biosicherheit* bezeichnet werden, ein Hidden Action Problem.

Biosicherheitsrelevante Prozesse finden sich in nahezu allen Teilbereichen der Tierproduktion. Erhöhte Risiken birgt zum Beispiel die Verfütterung von Tierprodukten (Swill Feeding), die nur nach ausreichender Erhitzung zugelassen ist. Die vorschriftsmäßige Behandlung des Futters beim Swill Feeding ist jedoch unbeobachtbar. Nur in Ausnahmefällen, zum Beispiel bei der MKS Epizootie 1997/98 in den Niederlanden, kann ex post ein Verstoß gegen Biosicherheitsstandards in Bezug auf Swill Feeding festgestellt werden.<sup>76</sup> Eine weitere unbeobachtbare Biosicherheitsmaßnahme ist die routinemäßige, temporäre Trennung neu angelieferter Tiere von Bestandsherden zur Beobachtung<sup>77</sup> und insbesondere der Sorgfaltsstandard, der zur Vermeidung von Kontakten zwischen Neu- und Altbestand in dieser Phase angewendet wird. HENNESSY [2007, S. 701] hält den (unbeobachtbaren) Zeitaufwand des Managements einer Tierproduktion zur Informationsgewinnung über biosicherheitsrelevante Fragestellungen und zur Schulung und Kontrolle von Biosicherheitsstandards bei Beschäftigten, Lieferanten und Transporteuren für die aus Kostengesichtspunkten bedeutsamste Maßnahme des Risikomanagements in Tierproduktionsbetrieben. Auch die Sorgfalt eines Tierproduzenten, die Einschleppung von Krankheitserregern in seine Herde durch sich selbst, Besucher oder Angestellte zu verhindern, die in anderen Betrieben, auf Schlachthöfen oder aufgrund von

---

<sup>74</sup>Vgl. Nissen [2001], S. 41 f. zur Risikorelevanz dieser Merkmale.

<sup>75</sup>Vgl. Hennessy [2007], S. 701.

<sup>76</sup>Vgl. Edwards et al. [2000], S. 112.

<sup>77</sup>Vgl. Shulaw und Bowman [2001b].

endemischen Tierseuchen durch direkte oder indirekte Kontakte mit Wildtieren in Kontakt mit Krankheitserregern gekommen sind, kann unter verhältnismäßigen Kosten nicht durch eine Veterinärbehörde oder durch den Monopol-Pflichtversicherer kontrolliert werden. Wir bezeichnen diese unbeobachtbaren, verhaltensbasierten Biosicherheitsmaßnahmen mit dem Symbol  $\psi_b$  und gehen davon aus, dass die Intensität von  $\psi_b$  im Intervall  $]0; \infty[$  durch den Tierproduzenten beliebig variiert werden kann.

Biosicherheitsmaßnahmen zielen darauf ab, Krankheitserreger von Herden fern zu halten.<sup>78</sup> Die Prävalenz einer hochinfektiösen Krankheit in einer Herde birgt die Gefahr, dass andere Tierbestände aufgrund von Kontakten oder über eine aerosole Übertragung angesteckt werden. Folglich bewirkt jede betriebliche Biosicherheitsmaßnahme eine Reduktion der Infektionswahrscheinlichkeit anderer Tierbestände, welche im Gebiet des infizierten Betriebes liegen oder mit diesem in direktem oder indirektem Kontakt stehen. Biosicherheitsmaßnahmen zur Abwehr hochinfektiöser Tierseuchen rufen deshalb hohe positive externe Effekte hervor. Der individuell optimale Standard  $\psi_b^{**}$  unterschreitet daher den effizienten Standard  $\psi_b^*$ . Effizientes Risikomanagement erfordert aus diesem Grund Anreize zur Erhöhung des individuell optimalen Biosicherheitsstandards  $\psi_b^{**}$ . Gleichzeitig sollen aber die Anreize für eine frühzeitige Meldung von Seuchenverdachtsfällen möglichst erhalten bleiben.

Wir präzisieren im folgenden Abschnitt 5.2.4.1 zunächst die Auswirkungen der Biosicherheit auf das Tierseuchenrisiko eines Tierproduzenten und untersuchen die Entscheidung zur Wahl des individuell optimalen Standards  $\psi_b^{**}$ . Dabei zeigt sich ein Konflikt zwischen den Zielen, Anreize zur frühzeitigen Meldung von Seuchenverdachtsfällen und zur Erhöhung der Biosicherheitsstandards zu setzen. Dieser Anreizkonflikt wird in Abschnitt 5.2.4.2 thematisiert. In Abschnitt 5.2.4.3 wird schließlich die optimale Entschädigung von Reaktionskosten in infizierten Betrieben unter Berücksichtigung von Anreizen zur frühzeitigen Meldung von Seuchenverdachtsfällen und Biosicherheitsanreizen untersucht.

#### 5.2.4.1 Risikotechnische Wirkung der Biosicherheit

Wie die Prüfsorgfalt ist auch die verhaltensbasierte Biosicherheit eine unbeobachtbare individuelle Risikomanagementmaßnahme. Die Implementierung von  $\psi_b^*$  ist nicht kontrahierbar und erfordert daher einen anreizkompatiblen Mechanismus. Aus risikotechnischer Sicht besteht jedoch ein bedeutsamer Unterschied zwischen diesen Maßnahmen. Während eine Erhöhung der Prüfsorgfalt *ceteris paribus* die frühere Entdeckung eines Seuchenausbruchs ermöglicht und damit tendenziell geringere individuelle Reaktionskosten  $x^R(y, \psi_m^0)$  und eine kleinere Seuchenausbreitung impliziert, verringert die Intensivierung verhaltensbasierter Biosicherheitsmaßnahmen die *Seuchenausbruchsfrequenz*.<sup>79</sup> Im Rahmen der statischen Modellierung, die der an-

<sup>78</sup>Vgl. Shulaw und Bowman [2001b].

<sup>79</sup>In der versicherungswissenschaftlichen Literatur sind die Begriffe *Self-Insurance* für schadenhöhenreduzierende Maßnahmen und *Self-Protection* für schadenfrequenzreduzierende Maßnahmen geläufig, die auf Ehrlich und Becker [1972] zurückgehen.

reiztheoretischen Analyse des Tierseuchen-Risikomanagements zugrunde liegt, wird der schadenfrequenzreduzierende Einfluss der verhaltensbasierten Biosicherheit über die Wahrscheinlichkeit für die Seuchenfreiheit bzw. über die Infektionswahrscheinlichkeit des betrachteten Betriebes abgebildet. Die vormalig exogen gegebene Wahrscheinlichkeit  $p^0$  ist daher eine Funktion der Intensität der verhaltensbasierten Biosicherheit,  $p^0 = p^0(\psi_b)$ . Die Wahrscheinlichkeit der Seuchenfreiheit ist umso größer, je höher die Intensität der verhaltensbasierten Biosicherheit ist, das heißt  $p_{\psi_b}^0 > 0$ . Zudem nehmen wir an, dass  $\lim_{\psi_b \rightarrow 0} p_{\psi_b}^0 = \infty$  und  $\lim_{\psi_b \rightarrow \infty} p_{\psi_b}^0 = 0$  gilt. Ökonomisch ist es wiederum plausibel, von abnehmenden Grenzerträgen der verhaltensbasierten Biosicherheit auszugehen. Daher gilt  $p_{\psi_b \psi_b}^0 < 0$ .

Den Disnutzen des Tierproduzenten aus der Durchführung verhaltensbasierter Biosicherheitsmaßnahmen beschreiben wir durch eine weitere Komponente  $u^b(\psi_b)$  der separierbaren Nutzenfunktion  $u(\cdot)$  des Tierproduzenten. Für den Verlauf von  $u^b(\psi_b)$  unterstellen wir  $u_{\psi_b}^b > 0$ ,  $u_{\psi_b \psi_b}^b > 0$ ,  $\lim_{\psi_b \rightarrow 0} u^b = 0$  und  $\lim_{\psi_b \rightarrow \infty} u^b = \infty$ . Als Instrument zur Anreizsetzung steht die Zusatzentschädigung  $E^+(y)$  zur Verfügung. Trotz der Notwendigkeit, Anreize für die Erhöhung der Prüfsorgfalt und der Intensität der verhaltensbasierten Biosicherheit zu schaffen, soll keinesfalls die Meldebedingung (5.2) verletzt werden. Daher darf die Zusatzentschädigung den Wert null nicht unterschreiten. Unter Berücksichtigung des Vermögensnutzens inklusive Mindest- und Zusatzentschädigung, des Disnutzens aus der Prüfsorgfalt und der verhaltensbasierten Biosicherheit lautet die additiv separierbare Nutzenfunktion des betrachteten Tierproduzenten  $u(w, \psi_p, \psi_b) = u^w(w) - u^p(\psi_p) - u^b(\psi_b)$ . In  $w_0$ , dem Periodenvermögen bei Seuchenfreiheit, sind wiederum alle Kosten und Erträge der Tierproduktion berücksichtigt, inklusive der Prämienzahlung an den Monopol-Pflichtversicherer und der Präventionskosten beobachtbarer Maßnahmen. Der Erwartungsnutzen des Tierproduzenten lautet:

$$\begin{aligned} \mathbb{E}[u] &= p^0(\psi_b) \cdot u^w(w_0) + \\ & (1 - p^0(\psi_b)) \cdot \int_0^1 u^w(w_0 - x^R(y; \psi_m^0) + E^+(y)) \cdot f(y, \psi_p) dy - u^p(\psi_p) - u^b(\psi_b) \end{aligned} \quad (5.12)$$

Hinsichtlich des Zusammenspiels der abnehmenden Grenzerträge der Prüfsorgfalt und der Biosicherheit treffen wir die Annahme, dass die marginale Zunahme des erwarteten Vermögensnutzens bei Erhöhung der Prüfsorgfalt (Biosicherheit) mindestens so stark auf eine Erhöhung der Prüfsorgfalt (Biosicherheit) wie auf eine Erhöhung der Biosicherheit (Prüfsorgfalt) reagiert. Folglich ist  $\frac{\delta \mathbb{E}[u^w]}{\delta \psi_p \delta \psi_p} \leq \frac{\delta \mathbb{E}[u^w]}{\delta \psi_p \delta \psi_b} < 0$  und  $\frac{\delta \mathbb{E}[u^w]}{\delta \psi_b \delta \psi_b} \leq \frac{\delta \mathbb{E}[u^w]}{\delta \psi_b \delta \psi_p} < 0$ , wobei  $\frac{\delta \mathbb{E}[u^w]}{\delta \psi_p \delta \psi_b} = \frac{\delta \mathbb{E}[u^w]}{\delta \psi_b \delta \psi_p}$  ist.

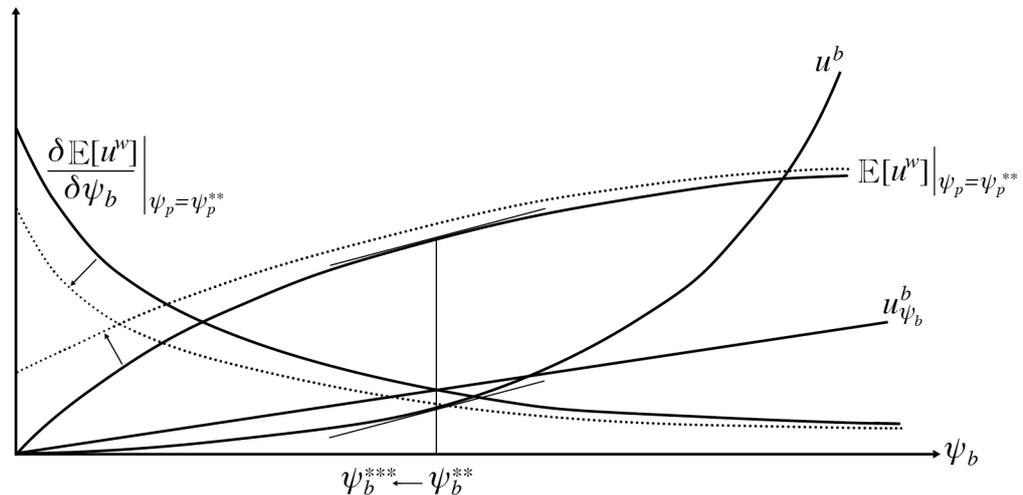
Unter der Bedingung  $u^w(w_0) \geq \int_0^1 u^w(w_0 - x^R(y; \psi_m^0) + E^+(y)) \cdot f(y, \psi_p) dy$  ist der Grenznutzen des Vermögens bei Erhöhung der verhaltensbasierten Biosicherheit

konkav und steigend in  $\psi_b$ .<sup>80</sup> Die Annahmen hinsichtlich des Verlaufs von  $u^b(\psi_b)$  stellen sicher, dass der individuell optimale Biosicherheitsstandard  $\psi_b^{**}$  eine eindeutige, innere Lösung der Maximierung des Ausdrucks (5.12) nach  $\psi_b$  ist.  $\psi_b^{**}$  wird durch die Bedingung erster Ordnung (5.13) implizit definiert, die man durch Ableiten des Erwartungsnutzens (5.12) nach  $\psi_b$  und Nullsetzen erhält:

$$p_{\psi_b}^0(\psi_b^{**}) \cdot \left( u^w(w_0) - \int_0^1 u^w(w_0 - x^R(y; \psi_m^0) + E^+(y)) \cdot f(y, \psi_p) dy \right) = u_{\psi_b}^b(\psi_b^{**}) \quad (5.13)$$

Abbildung 5.5 veranschaulicht die Bedingung erster Ordnung der Wahl der Intensität der verhaltensbasierten Biosicherheit unter der Annahme, dass die Prüfsorgfalt der individuell optimalen Intensität  $\psi_p^{**}$  entspricht. An der Stelle  $\psi_b^{**}$  ist die Differenz zwischen dem Vermögensnutzen, der durchgezogenen Kurve  $\mathbb{E}[u^w] |_{\psi_p=\psi_p^{**}}$ , und dem Disnutzen der verhaltensbasierten Biosicherheit  $u^b$  maximal. Demnach entsprechen sich die Steigungen von  $\mathbb{E}[u^w] |_{\psi_p=\psi_p^{**}}$  und  $u^b$  an der Stelle  $\psi_b^{**}$ , was durch die parallelen Tangenten bzw. durch den Schnittpunkt des marginalen erwarteten Vermögensnutzens bei Erhöhung der Biosicherheit, der durchgezogenen Kurve  $\frac{\delta \mathbb{E}[u^w]}{\delta \psi_b} |_{\psi_p=\psi_p^{**}}$ , mit den Grenzkosten der verhaltensbasierten Biosicherheit  $u_{\psi_b}^b$ , veranschaulicht wird.

Abbildung 5.5: Individuell optimale Biosicherheit und Zielkonflikt



#### 5.2.4.2 Ex ante-ex post Anreizkonflikt

Die Implementierung effizienter Standards verhaltensbasierter Biosicherheitsmaßnahmen mittels eines anreizkompatiblen Mechanismus erfordert die Erhöhung des Grenznutzens der Biosicherheit bzw. der linken Seite von (5.13). Eine Reduktion

<sup>80</sup>Vgl. Anhang B.4.

der Grenzkosten  $u_{\psi_b}^b(\psi_b)$ , zum Beispiel durch eine staatliche Bereitstellung der Leistungen, ist bei *betrieblichen* Risikomanagementmaßnahmen im Allgemeinen nicht sinnvoll und scheidet daher aus. Bei der Betrachtung von Gleichung (5.13) fällt sofort auf, dass das Instrument einer zusätzlichen Entschädigung  $E^+(y)$  unter der Vorgabe  $E^+(y) > 0$  zur Erzielung von Biosicherheitsanreizen vollkommen ungeeignet ist. Jegliche positive Zusatzentschädigung verringert den erwarteten Selbstbehold des Tierproduzenten im Infektionsfall, was den Anreiz zur Vermeidung einer Seucheneinschleppung reduziert, anstatt ihn zu vergrößern. In Abbildung 5.5 wird der Effekt einer Erhöhung der Zusatzentschädigung auf die Kurven  $\mathbb{E}[u^w] |_{\psi_p=\psi_p^{**}}$  und  $\frac{\delta\mathbb{E}[u^w]}{\delta\psi_b} |_{\psi_p=\psi_p^{**}}$  anhand der Pfeile und der gepunkteten Kurven dargestellt. Der Schnittpunkt von  $\frac{\delta\mathbb{E}[u^w]}{\delta\psi_b} |_{\psi_p=\psi_p^{**}}$  mit  $u_{\psi_b}^b$  verschiebt sich dadurch nach links. Durch Anhebung der Zusatzentschädigung ist es also nicht möglich, die Intensität der verhaltensbasierten Biosicherheit ähnlich zur Prüfsorgfalt vom second-best Niveau  $\psi_b^{**}$  auf das first-best Niveau  $\psi_b^*$  zu steigern. Stattdessen erzielt man eine gegenteilige Wirkung: Die Intensität der verhaltensbasierten Biosicherheit sinkt auf das third-best Niveau  $\psi_b^{***} < \psi_b^{**}$  ab.

Eine isolierte Betrachtung der Biosicherheit, das heißt eine Maximierung der linken Seite von (5.13), würde unter der Vorgabe der Einhaltung der Meldebedingung zu einer Minimierung der Zusatzentschädigung bzw. zur Lösung  $E^+(y) = 0$  für alle  $y$  führen. Unter der Zielsetzung, das effiziente Risikomanagement hochinfektiöser Tierseuchen zu implementieren, dürfen wir die Anreizproblematik im Hinblick auf die frühzeitige Meldung von Seuchenverdachtsfällen jedoch nicht vernachlässigen. Die zusätzliche Entschädigung von Reaktionskosten ist notwendig, um Anreize zur frühzeitigen Meldung von Seuchenverdachtsfällen zu setzen. Die Antizipation von Entschädigungsleistungen im Infektionsfall bewirkt aber, dass die Grenzerträge verhaltensbasierter Biosicherheitsmaßnahmen und damit die individuell optimale Intensität  $\psi_b^{**}$  sinken.<sup>81</sup> Das moralische Risiko im Hinblick auf die Biosicherheit bewirkt ein weiteres Absinken des aufgrund der positiven Externalitäten ohnehin schon zu geringen, individuell optimalen Biosicherheitsstandards  $\psi_b^{**}$  auf das Niveau  $\psi_b^{***}$ . Je weniger insgesamt entschädigt wird, desto geringer ist das *ex ante* Hidden Action Problem der Biosicherheit. Allerdings geht eine Beschneidung der Kompensation zu Lasten der Prüfsorgfalt. Sobald das Entschädigungsniveau die Mindestentschädigung zur Einhaltung der Meldebedingung (5.2) unterschreitet, droht sogar die Nicht-Meldung von Seuchenverdachtsfällen, die ein *ex post* Problem darstellt. Wir bezeichnen diese Problematik deshalb als den *ex ante-ex post Anreizkonflikt* beim Risikomanagement hochinfektiöser Tierseuchen.

In der einzigen, dem Autor bekannten ökonomischen Analyse des *ex ante-ex post* Anreizkonflikts konzidieren GRAMIG et al. [2005], dass die Entschädigung von Reaktionskosten als alleiniges Instrument zur Erzielung von Anreizen zur Meldung von Seuchenausbrüchen und für verhaltensbasierte Biosicherheit ungenügend ist. Sie

---

<sup>81</sup>Vgl. Winter [2000], S. 155 f.

gehen daher von einer unter Aufwendung von Kontrollkosten möglichen Kontrollierbarkeit der Meldung von Seuchenverdachtsfällen durch die Veterinärbehörde aus. Die Veterinärbehörde legt sich glaubwürdig auf eine bestimmte Kontrollintensität fest. Wird während einer unangekündigten Gesundheitskontrolle eine Prävalenzquote  $y > 0$  festgestellt, wäre der kontrollierte Tierproduzent der Nicht-Meldung eines Seuchenausbruchs überführt. Dieser Verstoß gegen die Meldepflicht wird im Modell von GRAMIG et al. [2005] so hoch bestraft, dass die Meldung von Seuchenausbrüchen eine dominante Strategie ist. Beim Design der Kompensation von Reaktionskosten muss demnach lediglich das Anreizproblem im Hinblick auf verhaltensbasierte Biosicherheitsmaßnahmen berücksichtigt werden.

Die Möglichkeit einer Kontrolle der Meldepflicht und der prohibitiven Bestrafung von Verstößen erleichtert die anreiztheoretische Analyse der Wahl bzw. der Steuerung eines unbeobachtbaren Biosicherheitsstandards erheblich. Es entfällt die Notwendigkeit der Mindestentschädigung (5.2), und die durch die behördliche Seuchenbekämpfung zusätzlich entstehenden Reaktionskosten wirken wie eine Bestrafung des Tierproduzenten für das Auftreten eines Infektionsfalls, was Anreize zur Vermeidung einer Seucheneinschleppung, also Anreize für verhaltensbasierte Biosicherheit schafft. Theoretisch wäre sogar die Implementierung effizienter Biosicherheitsstandards  $\psi_b^*$  möglich, wenn gegebenenfalls eine über die Bestrafung in Form von zusätzlichen Reaktionskosten hinausgehende Sanktion im Infektionsfall möglich ist. Die optimale Entschädigung der Reaktionskosten im Modell von GRAMIG et al. [2005] maximiert den Nutzen des Tierproduzenten abzüglich der (gewichteten) Ausgaben der Veterinärbehörde, die Kontrollkosten finanziert und Kompensationsleistungen auszahlt. Als einzige Nebenbedingung wird die Anreizkompatibilitätsbedingung hinsichtlich der verhaltensbasierten Biosicherheit berücksichtigt.

Der Ansatz von GRAMIG et al. [2005] wird hier nicht verfolgt, da er die Probleme asymmetrischer Information beim Risikomanagement hochinfektiöser Tierseuchen in *primärinfizierten* Betrieben nicht adäquat abbildet. Die Möglichkeit einer Entdeckung von Verstößen gegen die Meldepflicht von Seuchenverdachtsfällen und deren prohibitive Bestrafung ist aus mehreren Gründen zweifelhaft:

- Die Wahrscheinlichkeit einer Primärinfektion mit einer hochinfektiösen Tierseuche in einem Betrieb ist äußerst gering; die Erzielung einer signifikanten Entdeckungswahrscheinlichkeit von Seuchenausbrüchen durch Kontrollen erfordert daher eine hohe Kontrollintensität und ist mit immensen Kontrollkosten verbunden, was gegen die Vorteilhaftigkeit der Kontrolllösung an sich spricht
- Es ist fraglich, ob die angesichts geringer Entdeckungswahrscheinlichkeiten erforderliche Höhe prohibitiver Strafen aufgrund von individuellen Vermögensbeschränkungen überhaupt umsetzbar ist
- Die gerichtsfeste Verifizierbarkeit eines Verstoßes gegen die Meldepflicht bei Entdeckung einer Prävalenzquote  $\bar{y} > 0$  setzt voraus, dass unter einem gesetz-

lich vorgeschriebenen Prüfsorgfaltsstandard  $\psi_p^*$  für die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Prävalenzquote in Abhängigkeit der Prüfsorgfalt  $f(\bar{y}, \psi_p^*) = 0$  gilt; aufgrund der zahlreichen exogenen Einflüsse auf die Prävalenzquote zum Entdeckungszeitpunkt ist diese Voraussetzung allenfalls für sehr hohe Prävalenzquoten erfüllt, was eine Bestrafung äußerst unwahrscheinlich macht

Wir bleiben deshalb bei der Annahme asymmetrischer Information zwischen Tierproduzent und Monopol-Pflichtversicherer bzw. Veterinärbehörde hinsichtlich der Prävalenzquote primärinfizierter Herden vor Meldung und im Hinblick auf die Intensitäten der Prüfsorgfalt und der verhaltensbasierten Biosicherheit. Preis dieser realitätsnäheren Modellierung ist, dass die Implementierung des first-best effizienten Risikomanagements nicht möglich ist. Die Meldung von Seuchenverdachtsfällen und die Implementierung des effizienten Prüfsorgfaltsstandards erfordern eine relativ umfangreiche Entschädigung von Seuchenverdachtsfällen, während die Implementierung des effizienten Biosicherheitsstandards eher geringe oder sogar negative Kompensationsleistungen erfordert. Der ex ante-ex post Anreizkonflikt kann nicht durch ein geschicktes Design der Entschädigungsfunktion aufgelöst werden. Stattdessen impliziert er einen *Tradeoff zwischen Prüfsorgfalts- und Biosicherheitsanreizen*.

Auf Ebene der epizootiologischen Risikokostenmodellierung spiegelt sich dieser Tradeoff in einem negativen Zusammenhang zwischen betrieblichen Seucheneinschleppungswahrscheinlichkeiten und Verteilungen der Länge von  $HRP_1$  wider. Eine Verkürzung der  $HRP_1$  primärinfizierter Betriebe durch eine Erhöhung der Prüfsorgfalt ist nur möglich, wenn die Zusatzentschädigung bei geringen Prävalenzquoten ausgeweitet wird. Dies führt jedoch automatisch zu einer Reduktion der verhaltensbasierten Biosicherheit und damit zu einem Anstieg der betrieblichen Seucheneinschleppungswahrscheinlichkeit. Das Ziel des Monopol-Pflichtversicherers besteht angesichts des ex ante-ex post Anreizkonflikts darin, die Zusatzentschädigung  $E^+(y)$  genau so zu wählen, dass der optimale Punkt im Tradeoff zwischen Prüfsorgfalts- und Biosicherheitsanreizen erreicht wird, der zu einer Minimierung der erwarteten Risikokosten führt. Dieses Optimum wird im Rahmen der epizootiologischen Risikokostenmodellierung ermittelt, indem die Veränderungen der Risikokosten bei einer schrittweisen Reduktion oder Erhöhung der betrieblichen Seucheneinschleppungswahrscheinlichkeiten ermittelt werden. Dabei muss aber der umgekehrte Effekt auf die Verteilung der Länge der  $HRP_1$  berücksichtigt werden. Die nachfolgende Modellierung zeigt den Tradeoff zwischen Prüfsorgfalt und Biosicherheit und effiziente Designs der optimalen Zusatzentschädigung  $E^{+*}(y)$ , durch die Prüfsorgfalts- und Biosicherheitsanreizen unter effizientem Einsatz erwarteter Zusatzentschädigungsleistungen erreicht werden können.

Zur Optimierung bei konkurrierenden Zielsetzungen kann eine Zielfunktion in Abhängigkeit beider, gegebenenfalls gewichteter Zielsetzungen formuliert werden.<sup>82</sup>

<sup>82</sup>Diese Vorgehensweise wählen zum Beispiel Bender [2002] und Gramig et al. [2005].

Alternativ kann sich die Zielfunktion auf eines der beiden Ziele beschränken, während ein Mindestzielerreichungsgrad für das andere Ziel als Nebenbedingung festgelegt wird.<sup>83</sup> Ein als Nebenbedingung in die Optimierung integrierter Mindesternuttsutzen einer Partei wird als Reservationsnuttszen und die dazugehörige Restriktion als Partizipationsbedingung bezeichnet.<sup>84</sup> Wir berücksichtigen die Biosicherheit in der folgenden Modellierung im Rahmen einer Nebenbedingung, so dass die Zielfunktion im Vergleich zum Optimierungsproblem aus Abschnitt 5.2.3.3 unverändert bleibt.

Die Bedingung erster Ordnung (5.13) zeigt, dass der individuell optimale Standard  $\psi_b^{**}$  durch die Zusatzentschädigung bestimmt wird. Bei gegebener Steigung  $\frac{dE^+(y)}{dy}$  bestimmt allein das Niveau der Zusatzentschädigung, wie hoch der implementierte Biosicherheitsstandard ist. Die Budgetbeschränkung  $E^{+B}$  ist deshalb äquivalent zu einer Mindestbiosicherheitsbedingung, denn durch die Vorgabe  $E^{+B}$  und die als Lösung des Optimierungsproblems abgeleitete optimale Entschädigung  $E^*(y) = E^m(y) + E^{+*}(y)$  wird der Standard  $\psi_b^{**}$  implizit definiert. Die Bedingung  $u^w(w_0) \geq \int_0^1 u^w(w_0 - x^R(y; \psi_m^0) + E^+(y)) \cdot f(y, \psi_p) dy$ , die Voraussetzung für die Anwendbarkeit des First-Order Ansatzes hinsichtlich der Wahl von  $\psi_b$  ist, gibt bei gegebenem Verlauf  $\frac{dE^+(y)}{dy}$  eine maximal zulässige Budgetbeschränkung in Abhängigkeit von  $u^w$ ,  $w_0$ ,  $x^R(y; \psi_m^0)$  und  $f(y, \psi_p^{**})$  vor. Insbesondere die Abhängigkeit von den Faktoren  $u^w$  und  $w_0$  verhindert eine allgemeine Bestimmung des zulässigen Budgets  $E^{+B}$ , da die Nutzenfunktion und das Ausgangsvermögen individuell sind. Unter der Annahme risikoaverser Tierproduzenten ist die Zulässigkeit des First-Order Ansatzes aber für  $E^{+B} \leq (1 - p^0(\psi_b)) \cdot \int_0^1 x^R(y; \psi_m^0) \cdot f(y, \psi_p) dy := E^{MAX}$  garantiert. Da  $E^{+B}$  exogen vorgegeben wird, können wir die Einhaltung dieser Bedingung problemlos voraussetzen.

Es stellt sich die Frage, ob durch diese Einschränkung des untersuchten Tradeoffs zwischen verhaltensbasierter Biosicherheit und Prüfsorgfalt Kombinationen aus relativ geringen  $\psi_b$  und relativ hohen  $\psi_p$  ausgeschlossen werden, die sich in der epizootiologischen Risikokostenmodellierung als effizient herausstellen könnten. Dies ist aber angesichts der abnehmenden Grenzerträge dieser Risikomanagementmaßnahmen und insbesondere wegen  $\lim_{\psi_b \rightarrow 0} p^0(\psi_b) = \infty$  äußerst unwahrscheinlich. Daher nehmen wir an, dass die Analyse des Tradeoffs unter der Bedingung  $E^{+B} \leq E^{MAX}$  die Kombinationen aus verhaltensbasierter Biosicherheit und Prüfsorgfalt aufzeigen, von denen sich eine in der epizootiologischen Risikokostenmodellierung als effizient herausstellt.

In der nachfolgenden Modellierung ist der Zweck der Budgetbeschränkungsbedingung die Vorgabe eines Mindestbiosicherheitsniveaus. Zum mit der Lagrange-Funktion (5.6) formulierten Optimierungsproblem muss daher lediglich die Abhängigkeit der Wahrscheinlichkeit der Seuchenfreiheit von der Variable  $\psi_b$  sowie die

<sup>83</sup>Vgl. zum Beispiel Winter [2000] und Holmström [1979].

<sup>84</sup>Vgl. Schmidt [1995], S. 20. Im Fall einer Pflichtversicherungsbeziehung zwischen Prinzipal und Agent ist die Formulierung einer Partizipationsbedingung aber überflüssig.

Bedingung erster Ordnung (5.13) hinsichtlich der Wahl der Intensität der verhaltensbasierten Biosicherheit hinzugefügt werden.<sup>85</sup> Diese wird mit dem Lagrange-Multiplikator  $\lambda_b$  versehen. Wie die mit  $\lambda_p$  multiplizierte Nebenbedingung in (5.6) muss die Restriktion (5.13) negativ in der Lagrange-Funktion angesetzt werden, denn eine Erhöhung des Zielwerts  $\frac{\delta \mathbb{E}[u^w]}{\delta \psi_p} = (1 - p^0(\psi_b)) \cdot \int_0^1 u^w(w_0 - x^R(y; \psi_m^0) + E^+(y)) \cdot f_{\psi_p}(y, \psi_p) dy$  ist durch eine Absenkung von  $\psi_b$  erreichbar, wie die Kreuzableitung  $\frac{\delta \mathbb{E}[u^w]}{\delta \psi_p \delta \psi_b} = -p_{\psi_b}^0(\psi_b) \cdot \int_0^1 u^w(w_0 - x^R(y; \psi_m^0) + E^+(y)) \cdot f_{\psi_p}(y, \psi_p) dy < 0$  zeigt. Die Lagrange-Funktion  $L(E^+(y), \psi_p, \psi_b, \lambda_p, \lambda_b, \lambda_+)$  des Optimierungsproblems lautet:

$$L = (1 - p^0) \cdot \int_0^1 u^w \cdot f_{\psi_p} dy - \lambda_p \cdot \left( (1 - p^0) \cdot \int_0^1 u^w \cdot f_{\psi_p} dy - u_{\psi_p}^p \right) - \lambda_b \cdot \left( p_{\psi_b}^0 \cdot u^w(w_0) - p_{\psi_b}^0 \cdot \int_0^1 u^w \cdot f dy - u_{\psi_b}^b \right) + \lambda_+ \cdot \left( E^{+B} - (1 - p^0) \cdot \int_0^1 E^+ \cdot f dy \right) \quad (5.14)$$

Wie bei der isolierten Analyse von Prüfsorgfaltsanreizen kommt eine positive Zusatzentschädigung nur im Bereich  $y(\psi_p)^+$  in Frage, da  $E^+(y) > 0$  im Bereich  $y(\psi_p)^-$  nicht nur kontraproduktiv in Bezug auf Prüfsorgfaltsanreize wäre, sondern darüber hinaus die Anreize zur Durchführung verhaltensbasierter Biosicherheitsmaßnahmen abschwächen würde, da sie den marginalen erwarteten Vermögensnutzen bei Erhöhung der Biosicherheitsintensität, die linke Seite von (5.13), reduziert. Wir können die Untersuchung des Verlaufs von  $E^+(y)$  demnach wieder auf den Prävalenzquotenbereich  $y(\psi_p)^+$  beschränken.

Nach punktwiser Maximierung von (5.14) nach  $E^+(y)$  erhält man folgende Optimalbedingung:

$$u_w^w = \frac{\lambda_+}{\frac{f_{\psi_p}}{f} \cdot (1 - \lambda_p) + \lambda_b \cdot \frac{p_{\psi_b}^0}{1 - p^0}} \quad (5.15)$$

Offensichtlich ist wiederum  $\lambda_+ > 0$ . Eine Analyse der aus  $\frac{\delta L}{\delta \psi_p} = 0$  und  $\frac{\delta L}{\delta \psi_b} = 0$  gewonnenen Bedingungen zeigt, dass  $\lambda_b > 0$  und  $0 < \lambda_p < 1$  sind. Neben der Budgetgrenze  $E^{+B} \leq E^{MAX}$  und der Bedingung  $\frac{dE^+(y)}{dy} < \frac{dx^R(y; \psi_m^0)}{dy}$  sind die Annahmen  $\frac{\delta \mathbb{E}[u^w]}{\delta \psi_p \delta \psi_p} \leq \frac{\delta \mathbb{E}[u^w]}{\delta \psi_p \delta \psi_b}$  und  $\frac{\delta \mathbb{E}[u^w]}{\delta \psi_b \delta \psi_b} \leq \frac{\delta \mathbb{E}[u^w]}{\delta \psi_b \delta \psi_p}$  hinreichend für dieses Ergebnis.<sup>86</sup> Die Nebenbedingungen der Wahl eines individuell optimalen Prüfsorgfaltsstandards und Biosicherheitsstandards sind damit bindend. Optimalbedingung (5.15) unterscheidet sich von Optimalbedingung (5.7) durch den zusätzlichen Summanden  $\lambda_b \cdot \frac{p_{\psi_b}^0}{1 - p^0}$  im Nenner, der den Wert null überschreitet. Wegen  $\lambda_p < 1$  ist (5.15) im relevanten Bereich  $y(\psi_p)^+$  und sogar darüber hinaus lösbar. (5.15) impliziert, dass der Grenznutzen des Vermögens wie schon bei der isolierten Betrachtung des Prüfsorgfaltsproblems

<sup>85</sup>Wiederum werden die Bedingung  $\frac{dE^+(y)}{dy} < \frac{dx^R(y; \psi_m^0)}{dy}$  für die Anwendbarkeit des First-Order Ansatzes zur Bestimmung der individuell optimalen Prüfsorgfalt und die Bedingung  $E^+(y) \geq 0$  zunächst vernachlässigt.

<sup>86</sup>Vgl. Anhang B.5.

mit zunehmender Prävalenzquote steigt. Folglich gilt  $\frac{dE^+(y)}{dy} < \frac{dx^R(y; \psi_m^0)}{dy}$ , so dass der First-Order Ansatz zulässig ist. Eine ausführliche Interpretation der optimalen Entschädigung erfolgt erst nach weiterer formaler Analyse.

Analog zu der Vorgehensweise in Abschnitt 5.2.3.3 leiten wir (5.15) nach  $y$  ab und lösen nach der Steigung des optimalen Selbstbehalts auf. Es gilt:

$$\frac{dx^{S^*}(y)}{dy} = \frac{\frac{d \frac{f \psi_p}{f}}{dy} \cdot (1 - \lambda_p)}{\frac{f \psi_p}{f} \cdot (1 - \lambda_p) + \lambda_b \cdot \frac{p_{\psi_b}^0}{1 - p^0}} \cdot \frac{u_w^w}{u_{ww}^w} \quad (5.16)$$

Wir gehen wiederum von CARA Präferenzen aus, das heißt  $\frac{u_w^w}{u_{ww}^w} = -\frac{1}{r^{AP}} := c^{AP} < 0$ . Unter dieser Voraussetzung ist (5.16) (logarithmisch) integrierbar. Der optimale Selbstbehalt  $x^{S^*}(y)$  ergibt sich dann gemäß Funktion (5.17):

$$x^{S^*}(y) = c^{AP} \cdot \ln \left( \frac{f \psi_p}{f} \cdot (1 - \lambda_p) + \lambda_b \cdot \frac{p_{\psi_b}^0}{1 - p^0} \right) + c \quad (5.17)$$

Der Wert der Integrationskonstante  $c$  kann nur nach Parameterspezifikation des Modells ermittelt werden. Die Arrow-Pratt Konstante  $c^{AP}$  ist umso kleiner, je risikoaverser der betrachtete Tierproduzent ist. Steigende Risikoaversion führt daher zu einer Abflachung der Selbstbehaltsfunktion, das heißt die Zusatzentschädigung  $E^+(y)$  orientiert sich stärker am unter Einhaltung der Meldebedingung maximalen Selbstbehaltsschaden  $x^R(y; \psi_m^0)$ . Angesichts des Ziels der Maximierung des erwarteten marginalen Vermögensnutzens bei Erhöhung der Prüfsorgfalt ist dieses Ergebnis plausibel, denn je flacher die Selbstbehaltsfunktion ceteris paribus verläuft, desto höher liegt  $\mathbb{E}[u^w]$  und damit auch  $\frac{\delta \mathbb{E}[u^w]}{\delta \psi_p}$ .<sup>87</sup>

#### 5.2.4.3 Optimale Entschädigung von Reaktionskosten

Die Untersuchung der optimalen Entschädigung von Reaktionskosten erfordert eine umfassende Analyse des Terms (5.18), dessen Komponenten im Untersuchungsbereich  $y(\psi_p)^+$  positiv sind und den Verlauf der optimalen Selbstbehaltsfunktion bestimmen.

$$\frac{f \psi_p}{f} \cdot (1 - \lambda_p) + \lambda_b \cdot \frac{p_{\psi_b}^0}{1 - p^0} \quad (5.18)$$

Für den Verlauf der Likelihood Ratio  $\frac{f \psi_p}{f}$  in Abhängigkeit der Prüfsorgfalt sind Faktoren wie die Virulenz, die Infektiosität und die Symptomatik des betrachteten Krankheitserregers sowie des Anfälligkeit der Tiere des betrachteten Betriebes ausschlaggebend. Der Einfluss der Likelihood Ratio  $\frac{f \psi_p}{f}$  auf die Entschädigungsfunktion wurde schon in Abschnitt 5.2.3.3 thematisiert. Deshalb konzentrieren wir uns in der folgenden Analyse auf die übrigen Faktoren.

<sup>87</sup>Zur Veranschaulichung sei auf Abbildung 5.2 verwiesen.

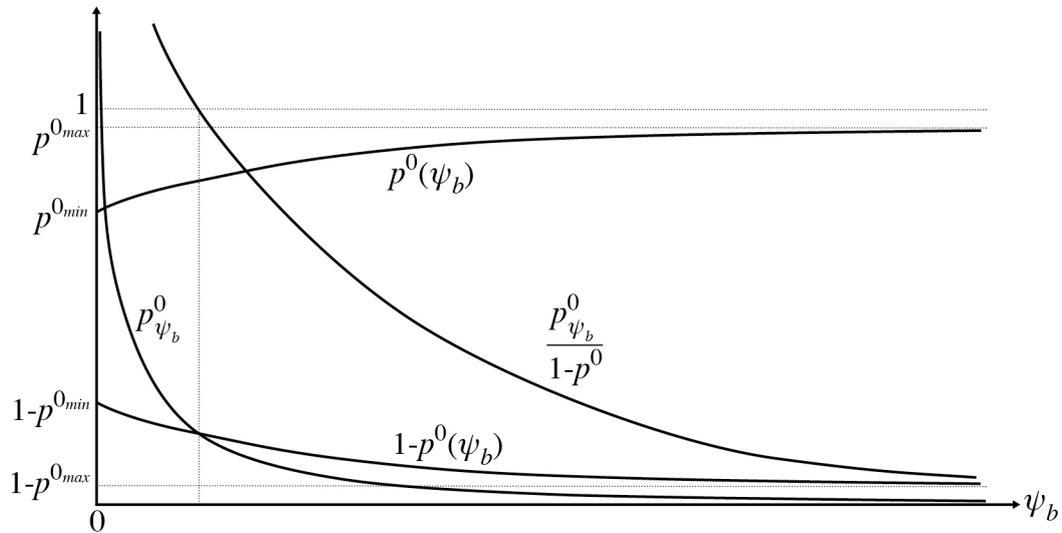
Relativ leicht sind die Größen  $\lambda_p$  und  $\lambda_b$  zu beurteilen. Sie geben an, wie stark sich der Zielwert erhöht, wenn die gemäß den Bedingungen erster Ordnung (5.5) und (5.13) determinierten, individuell optimalen Prüfsorgfalts- und Biosicherheitsstandards überschritten werden. Die Größe  $\lambda_b$  ist also ceteris paribus umso größer, je höher die durch eine marginale Reduktion der verhaltensbasierten Biosicherheit bewirkte Erhöhung des Zielwerts ist, also je größer die Ableitung  $p_{\psi_b}^0$  ist. Die Untersuchung der aus  $\frac{\delta L}{\delta \psi_p} = 0$  und  $\frac{\delta L}{\delta \psi_b} = 0$  gewonnenen Bedingungen offenbart zudem einen inversen Zusammenhang zwischen den Größen  $\lambda_b$  und  $\lambda_p$ .<sup>88</sup>

Der Faktor  $\frac{p_{\psi_b}^0}{1-p^0}$  stellt den negativen Wert der Likelihood Ratio der Infektionswahrscheinlichkeit bei Variation der verhaltensbasierten Biosicherheit dar, denn  $\frac{p_{\psi_b}^0}{1-p^0} = -\frac{\delta(1-p^0)/\delta\psi_b}{1-p^0}$ . Die Annahmen über den Verlauf von  $p^0(\psi_b)$ , also  $p_{\psi_b}^0 > 0$ ,  $p_{\psi_b\psi_b}^0 < 0$ ,  $\lim_{\psi_b \rightarrow 0} p_{\psi_b}^0 = \infty$ ,  $\lim_{\psi_b \rightarrow \infty} p_{\psi_b}^0 = 0$  und  $p^0 \in ]0; 1[$  für alle  $\psi_b \in ]0; \infty[$  implizieren  $\frac{p_{\psi_b}^0}{1-p^0} > 0$  für alle  $\psi_b \in ]0; \infty[$  sowie die Grenzwerte  $\lim_{\psi_b \rightarrow 0} \frac{p_{\psi_b}^0}{1-p^0} = \infty$  und  $\lim_{\psi_b \rightarrow \infty} \frac{p_{\psi_b}^0}{1-p^0} = 0$ . Ökonomisch plausibel ist die Annahme einer monoton steigenden Likelihood Ratio der Infektionswahrscheinlichkeit, die besagt, dass die Absenkung der Infektionswahrscheinlichkeit - der veterinärmedizinische Grenzertrag der verhaltensbasierten Biosicherheit - im Verhältnis zur Infektionswahrscheinlichkeit bei steigender Biosicherheit betragsmäßig fällt. Für den (positiven) Faktor  $\frac{p_{\psi_b}^0}{1-p^0}$  bedeutet dies, dass er mit steigender Biosicherheit monoton fällt, das heißt  $\frac{\delta(p_{\psi_b}^0/1-p^0)}{\delta\psi_b} < 0$ . Hinreichend dafür ist die Bedingung  $p_{\psi_b\psi_b}^0 \cdot (1-p^0) + p_{\psi_b}^0 \cdot p_{\psi_b}^0 < 0$ , die wir im Folgenden unterstellen. In Abbildung 5.6 wird der Verlauf der Funktionen  $p^0$ ,  $1-p^0$ ,  $p_{\psi_b}^0$  und  $\frac{p_{\psi_b}^0}{1-p^0}$  veranschaulicht. Dabei sind die Grenzwerte  $p^{0min} := \lim_{\psi_b \rightarrow 0} p^0$  und  $p^{0max} := \lim_{\psi_b \rightarrow \infty} p^0$  als minimale und maximale Wahrscheinlichkeit der Seuchenfreiheit mit  $0 < p^{0min} < p^{0max} < 1$  spezifiziert.

Die optimale Entschädigung von Reaktionskosten  $E^*(y)$  implementiert den third-best Biosicherheitsstandard  $\psi_b^{***}$ . Im Term (5.18) stellt der Faktor  $\frac{p_{\psi_b}^0(\psi_b^{***})}{1-p^0(\psi_b^{***})}$  eine positive Konstante dar. Der Wert dieser Konstante wird von zwei Einflussfaktoren determiniert. Zum einen bestimmen veterinärmedizinisch-biologische Aspekte die Lage der Kurve  $\frac{p_{\psi_b}^0}{1-p^0}$ . Zum anderen gibt der Pflichtversicherer mit seiner Entscheidung zur Budgetgröße  $E^{+B}$  vor, wie hoch die gemäß der Bedingung erster Ordnung (5.13) bestimmte third-best Intensität  $\psi_b^{***}$  der verhaltensbasierten Biosicherheit ist, also wo man sich auf der Kurve  $\frac{p_{\psi_b}^0}{1-p^0}$  befindet und welchen Wert der Faktor  $\frac{p_{\psi_b}^0(\psi_b^{***})}{1-p^0(\psi_b^{***})}$  letztlich annimmt. Beide Einflussgrößen sind nicht voneinander unabhängig. Da externe Effekte des Risikomanagements im vorliegenden Modell exogen sind, können die Größen  $E^{+B}$  und  $\psi_b^{***}$  nicht endogen ermittelt werden. Wohl aber lassen sich Überlegungen anstellen, unter welchen Umständen ein eher geringes bzw. relatives hohes Budget für die erwartete Zusatzentschädigung veranschlagt wird und welche

<sup>88</sup>Vgl. Anhang B.5.

Abbildung 5.6: Infektionswahrscheinlichkeit und Biosicherheit



Implikationen dies für die Größe  $\psi_b^{***}$  und den Wert von  $\frac{p^0_{\psi_b}(\psi_b^{***})}{1-p^0(\psi_b^{***})}$  im Optimum hat. Dazu betrachten wir im Folgenden die zwei grundsätzlich voneinander abzugrenzenden Fälle endemischer und exotischer Tierseuchen.

#### 5.2.4.3.1 Endemische versus exotische Tierseuchen

Endemische Tierseuchen sind im Wildtierbestand der Region des betrachteten, repräsentativen Tierproduzenten präsent, wie KSP in Teilen Mitteleuropas oder HPAI und MKS in Teilen Afrikas und Asiens. Die Wahrscheinlichkeiten der Einschleppung endemischer Tierseuchen in den Bestand eines Tierproduktionsbetriebes sind im Vergleich zu exotischen Tierseuchen ceteris paribus höher. In Deutschland werden zum Beispiel 59 % aller Ausbrüche von KSP in den Jahren 1993-98 auf direkte oder indirekte Kontakte mit infizierten Wildschweinen zurückgeführt.<sup>89</sup> Das entscheidende Charakteristikum für die Ableitung der optimalen Entschädigung endemischer Tierseuchen ist der starke Einfluss verhaltensbasierter Biosicherheitsmaßnahmen auf die betriebliche Seucheneinschleppungswahrscheinlichkeit.<sup>90</sup> Durch hohe Sorgfalt bei der (Zwischen-) Lagerung von Futter kann zum Beispiel die Wahrscheinlichkeit indirekter Kontakte mit Wildtieren über das Futter verringert werden. Auch über Personen oder Hunde kann eine Einschleppung endemischer Tierseuchen in den Nutztierbestand erfolgen,<sup>91</sup> so dass die Kontrolle dieser Kontakte im Hinblick auf das Risiko einer Einschleppung endemischer Tierseuchen sehr wichtig ist. Zudem stellt der Tierhalter selbst einen Risikofaktor für die Einschleppung endemischer Tierseuchen dar. Tierproduzenten sind zum Beispiel häufig auch als Jäger tätig, wobei sie potentiell in

<sup>89</sup>Vgl. Ribbens et al. [2004], S. 149.

<sup>90</sup>Vgl. Gramig et al. [2005], S. 2.

<sup>91</sup>Vgl. FAO [o.A.], S. 4.

Kontakt mit Wildtieren und Krankheitserregern kommen.<sup>92</sup> Die dauerhafte Präsenz von Krankheitserregern im Wildtierbestand einer Region verleiht prinzipiell jeder Biosicherheitsmaßnahme, die auf eine Vermeidung und Kontrolle von Kontakten hinausläuft, eine erhöhte Bedeutung.

Auch bei der Betrachtung *exotischer Tierseuchen* ist die verhaltensbasierte Biosicherheit relevant. Über Häfen oder Flughäfen mit internationalem Verkehr ist theoretisch jederzeit die Einschleppung exotischer Krankheitserreger möglich.<sup>93</sup> Verhaltensbasierte Biosicherheit reduziert demnach auch die betriebliche Seucheneinschleppungswahrscheinlichkeit exotischer Tierseuchen über Vektoren wie Personen oder Geräte, die aus Regionen kommen, in denen der betrachtete Erreger endemisch ist. Von hoher Bedeutung sind auch Transporte von Tieren und insbesondere von Tierfutter aus gefährlichen Regionen. Im Rahmen von Kontrollen konnten zum Beispiel in Deutschland im Zeitraum 1993-94 KSP-Viren aus Wildschweinfleisch isoliert werden, das aus Rumänien sowie aus China angeliefert wurde.<sup>94</sup> Insofern kann die Einhaltung von Biosicherheitsstandards beim Swill Feeding sehr bedeutsam sein, wenn das Futter potentiell durchseucht ist. Im Vergleich zu endemischen Tierseuchen ist die marginale Reduktion der Primärinfektionswahrscheinlichkeit bei Erhöhung der verhaltensbasierten Biosicherheit jedoch gering. Wenn hinreichende Standards beim Antransport von Tieren und Futter eingehalten werden, sind die Grenzerträge einer weiteren Intensivierung der Biosicherheit kaum messbar. Daher spielen exotische Tierseuchen in alltäglichen Managementfragen einer Tierproduktion zumeist gar keine Rolle.<sup>95</sup> Bei einer permanenten Präsenz von Krankheitserregern im Gebiet des Tierproduzenten sind die Grenzerträge der verhaltensbasierten Biosicherheit dagegen deutlich höher. Jede Intensivierung des implementierten Standards von  $\psi_b$  bringt eine signifikante Reduktion der Primärinfektionswahrscheinlichkeit mit endemischen Tierseuchen mit sich.<sup>96</sup>

Bei der Gegenüberstellung der optimalen Entschädigung endemischer und exotischer Tierseuchen unterscheiden wir die Modellgrößen anhand des Index  $z \in \{en; ex\}$ . Die optimale Entschädigung bzw. der optimale Selbstbehalt bei endemischen versus exotischen Tierseuchen bemisst sich demnach gemäß Gleichung (5.19) mit  $z = en$  bzw.  $z = ex$ :<sup>97</sup>

---

<sup>92</sup>Vgl. Moennig [2000], S. 96.

<sup>93</sup>Meuwissen et al. [2003] führen beispielsweise unterschiedliche Seucheneinschleppungswahrscheinlichkeiten in verschiedenen Regionen der Niederlande unter anderem auf den internationalen Hafen und den Flughafen im Norden des Landes zurück.

<sup>94</sup>Vgl. Ribbens et al. [2004], S. 149.

<sup>95</sup>Vgl. Gramig et al. [2005], S. 2.

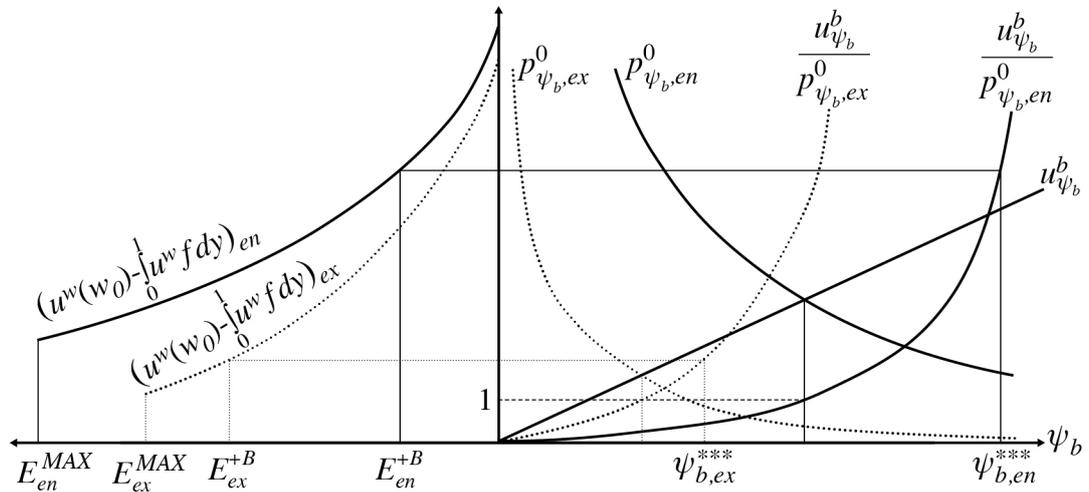
<sup>96</sup>Diese Aussage bezieht sich auf "relevante" Intensitäten von  $\psi_b$ . Die Annahmen zur Infektionswahrscheinlichkeit, insbesondere  $\lim_{\psi_b \rightarrow \infty} p_{\psi_b}^0 = 0$ , sollen hier nicht in Frage gestellt oder revidiert werden.

<sup>97</sup>Da mit Ausnahme der Endemität kein Unterschied zwischen den hier betrachteten Fällen endemischer und exotischer Tierseuchen besteht, ist die Angabe des Index  $z$  bei der Wahrscheinlichkeitsdichte der Prävalenzquote und ihrer Ableitung nach der Prüfsorgfalt nicht nötig.

$$x_z^{S^*}(y) = c^{AP} \cdot \ln \left( \frac{f_{\psi_p}}{f} \cdot (1 - \lambda_{p,z}) + \lambda_{b,z} \cdot \frac{p_{\psi_b,z}^0}{1 - p_z^0} \right) + c^z \quad (5.19)$$

Bei endemischen Tierseuchen sind Biosicherheitsanreize besonders wichtig. Das Risikokostenminimierungskalkül des Monopol-Pflichtversicherers impliziert demnach ein relativ geringes Budget  $E_{en}^{+B}$ . Bei exotischen Tierseuchen sind Biosicherheitsanreize dagegen relativ unbedeutend im Vergleich zu Prüfsorgfaltsanreizen, so dass ein relativ hohes Budget  $E_{ex}^{+B}$  festgelegt wird. Abbildung 5.7 veranschaulicht den Zusammenhang zwischen der Größe  $E_z^{+B}$  und dem gemäß der Bedingung erster Ordnung (5.13) determinierten, individuell optimalen und third-best effizienten Biosicherheitsstandard  $\psi_b^{***}$ .

Abbildung 5.7: Seuchenprävalenz und Biosicherheitsstandard



Wir betrachten zunächst den Fall der endemischen Tierseuche, für den die durchgezogenen Linien in Abbildung 5.7 stehen. Ein geringes Budget  $E_{en}^{+B}$  impliziert einen relativ großen Unterschied zwischen dem Vermögensnutzen des Tierproduzenten im Fall der Seuchenfreiheit und im Fall einer Primärinfektion. Dieser Zusammenhang ist auf der linken Seite von Abbildung 5.7 dargestellt. Bei gegebener Entschädigungsfunktion  $E_{en}^*(y)$  ist die durchgezogene Kurve  $\left(u^w(w_0) - \int_0^1 u^w f dy\right)_{en}$  aufgrund des abnehmenden Grenznutzens des Vermögens konvex fallend in  $E^{+B}$ . Bewegt man sich von dem mit  $E_{en}^{+B}$  korrespondierenden Wert von  $\left(u^w(w_0) - \int_0^1 u^w f dy\right)_{en}$  nach rechts auf die durchgezogene Kurve  $\frac{u_{\psi_b}^b}{p_{\psi_b,en}^0}$ , kann man auf der Abszisse den third-best Biosicherheitsstandard  $\psi_{b,en}^{***}$  ablesen. Die Gleichheit von  $\left(u^w(w_0) - \int_0^1 u^w f dy\right)_{en}$  mit  $\frac{u_{\psi_b}^b}{p_{\psi_b,en}^0}$  stellt Anreizkompatibilität sicher, denn sie entspricht der Bedingung erster Ordnung (5.13).

Betrachten wir nun den Fall der exotischen Tierseuche und die gepunkteten Linien in Abbildung 5.7. Die Seucheneinschleppungswahrscheinlichkeit ist *ceteris paribus* geringer als im Fall endemischer Tierseuchen, da eine Primärinfektion durch direkten oder indirekten Kontakt mit Wildtieren wegfällt. Dies impliziert höhere Prüfsorgfaltsanreize gemäß (5.5). Bezüglich des Unterschieds zwischen den optimalen Entschädigungsfunktionen  $E_{ex}^*(y)$  und  $E_{en}^*(y)$  wird in Abbildung 5.7 auf das Ergebnis der Analyse in den folgenden Abschnitten vorgegriffen: Der Verlauf der Entschädigungsfunktion  $E_{ex}^*(y)$  impliziert höhere Prüfsorgfaltsanreize als der Verlauf von  $E_{en}^*(y)$ . Insofern liegt die gepunktete Kurve  $\left(u^w(w_0) - \int_0^1 u^w f dy\right)_{ex}$  unterhalb der Kurve  $\left(u^w(w_0) - \int_0^1 u^w f dy\right)_{en}$ . Der Abstand beider Kurven wächst mit zunehmendem Budget  $E^{+B}$ , da die Prüfsorgfaltsanreize dann immer stärker werden. Der Monopol-Pflichtversicherer legt bei exotischen Tierseuchen ein relativ hohes Budget  $E_{ex}^{+B}$  fest. Das maximal mögliche Budget  $E_{ex}^{MAX}$  im Fall exotischer Tierseuchen liegt unterhalb von  $E_{en}^{MAX}$ , denn die Primärinfektionswahrscheinlichkeit ist geringer und die Prüfsorgfalt im Optimum ist größer. Aufgrund der deutlich geringeren Effektivität der verhaltensbasierten Biosicherheit bei exotischen Tierseuchen liegt die gestrichelte Kurve  $p_{\psi_b,ex}^0$  unterhalb der Kurve  $p_{\psi_b,en}^0$ . Die Grenzkosten der verhaltensbasierten Biosicherheit bleiben unverändert. Die Kurve  $\frac{u_{\psi_b}^b}{p_{\psi_b,ex}^0}$  liegt deshalb oberhalb der Kurve  $\frac{u_{\psi_b}^b}{p_{\psi_b,en}^0}$ . Es zeigt sich, dass der nach Festlegung eines relativ hohen Budgets  $E_{ex}^{+B}$  unter der optimalen Entschädigungsfunktion  $E_{ex}^*(y)$  erreichte, anreizkompatible third-best optimale Biosicherheitsstandard im Fall exotischer Tierseuchen,  $\psi_{b,ex}^{***}$ , den Standard  $\psi_{b,en}^{***}$  deutlich unterschreitet.

Ein Vergleich der optimalen Entschädigungsfunktionen  $E_{en}^*(y)$  und  $E_{ex}^*(y)$  erfordert einen Vergleich der Terme  $\frac{p_{\psi_b,en}^0(\psi_{b,en}^{***})}{1-p_{en}^0(\psi_{b,en}^{***})}$  und  $\frac{p_{\psi_b,ex}^0(\psi_{b,ex}^{***})}{1-p_{ex}^0(\psi_{b,ex}^{***})}$ . Abbildung 5.7 suggeriert, dass dieser Term bei endemischen Tierseuchen höher ist. Diese Behauptung kann jedoch ohne Rückgriff auf Daten der epizootiologischen Risikokostenmodellierung nicht belegt werden. Offensichtlich ist  $p_{\psi_b,en}^0(\psi_{b,en}^{***})$  deutlich größer als  $p_{\psi_b,ex}^0(\psi_{b,ex}^{***})$ , denn der Monopol-Pflichtversicherer ist aufgrund des konvex steigenden Disnutzens  $u^b$  im third-best Optimum bei endemischen Tierseuchen bereit, starke Prüfsorgfaltsanreize aufzugeben, um schwache Biosicherheitsanreize zu erzielen. Dies würde er nur bei entsprechend hoher Effektivität der Biosicherheit tun. Es ist fraglich, ob die Infektionswahrscheinlichkeit  $1 - p_{en}^0(\psi_{b,en}^{***})$  die Wahrscheinlichkeit  $1 - p_{ex}^0(\psi_{b,ex}^{***})$  angesichts des relativen hohen Standards  $\psi_{b,en}^{***}$  signifikant überschreitet oder sogar unterschreitet. Wir gehen im Folgenden davon aus, dass  $\frac{p_{\psi_b,en}^0(\psi_{b,en}^{***})}{1-p_{en}^0(\psi_{b,en}^{***})} \geq \frac{p_{\psi_b,ex}^0(\psi_{b,ex}^{***})}{1-p_{ex}^0(\psi_{b,ex}^{***})}$  gilt.

Die auf Basis dieser Annahme in den folgenden Abschnitten abgeleiteten optimalen Entschädigungsfunktionen  $E_{en}^*(y)$  und  $E_{ex}^*(y)$  stellen Extremfälle mit einem besonders großen bzw. einem besonders kleinen Faktor  $\frac{p_{\psi_b}^0(\psi_{b}^{***})}{1-p^0(\psi_{b}^{***})}$  dar, die die gesamte Spannbreite möglicher optimaler Entschädigungsfunktionen aufzeigen. Die optimale

Entschädigung von Reaktionskosten unter Einsatz von aus der epizootiologischen Risikokostenmodellierung stammenden Funktionen  $p^0$  und  $p_{\psi_b}^0$  ist stets eine reine Form oder einer Mischform der in den folgenden Abschnitten hergeleiteten Funktionen  $E_{en}^*(y)$  und  $E_{ex}^*(y)$ . Insofern ist die Annahme  $\frac{p_{\psi_b, en}^0(\psi_{b, en}^{**})}{1-p_{en}^0(\psi_{b, en}^{**})} \geq \frac{p_{\psi_b, ex}^0(\psi_{b, ex}^{**})}{1-p_{ex}^0(\psi_{b, ex}^{**})}$  nicht notwendig zur Ableitung der optimalen Entschädigungsfunktionen, sondern soll lediglich sicherzustellen, dass die hier dargestellten Funktionen  $E_{en}^*(y)$  und  $E_{ex}^*(y)$  das ganze Spektrum an optimalen Entschädigungsfunktionen für die Reaktionskosten hochinfektiöser Tierseuchen aufzeigen.

#### 5.2.4.3.2 Entschädigung endemischer Tierseuchen

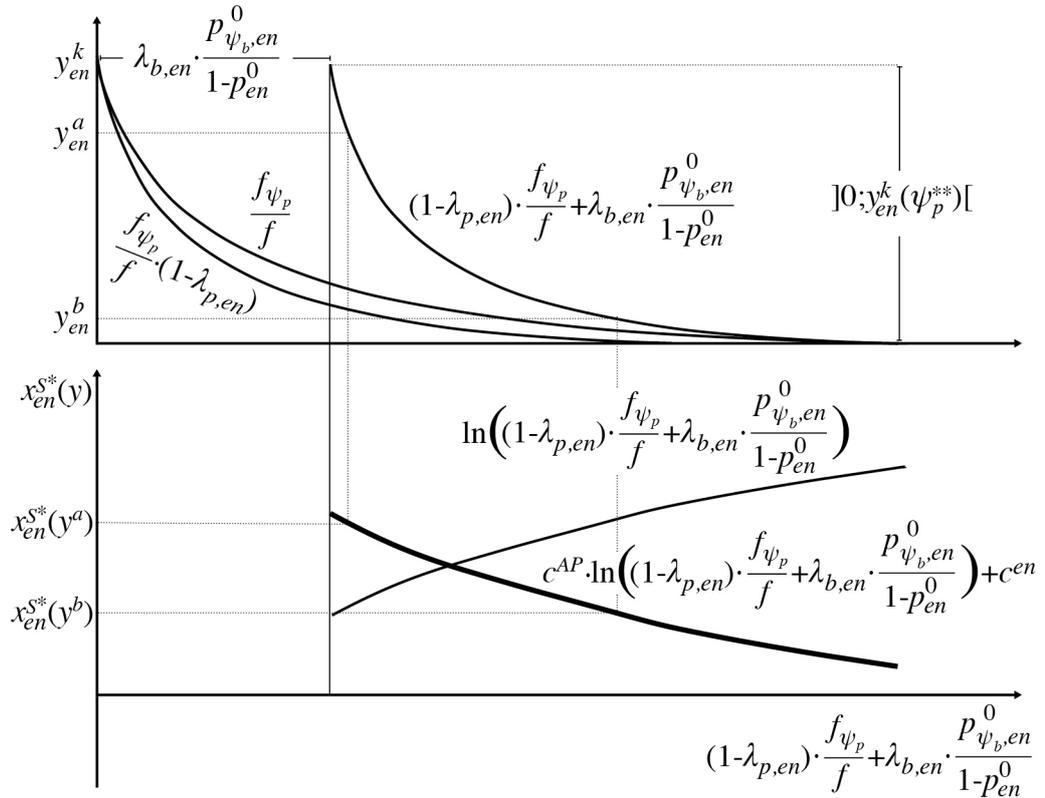
Der optimale Selbstbehalt der betrachteten endemischen Tierseuche ergibt sich gemäß Gleichung (5.19) mit  $z = en$ . Im Optimum sind die Prüfsorgfaltsanreize  $\psi_p^{**}$  relativ klein, was einen relativ großen Untersuchungsbereich  $[0; y_{en}^k(\psi_p^{**})]$  sowie, bei Angabe der Prävalenzquote auf der Ordinate, eine eher steil verlaufende Likelihood Ratio  $\frac{f_{\psi_p}}{f}$  impliziert. Der Faktor  $\frac{p_{\psi_b, en}^0}{1-p_{en}^0}$  ist relativ groß. Dies wird noch dadurch verstärkt, dass auch  $\lambda_{b, en}$  relativ groß ist, da eine marginale Reduktion der Biosicherheit im third-best Optimum einen relativ starken, positiven Effekt auf die Zielfunktion in (5.14) hat. Aufgrund des inversen Zusammenhangs zwischen  $\lambda_{b, en}$  und  $\lambda_{p, en}$  nimmt auch der Faktor  $(1 - \lambda_{p, en})$  einen relativ hohen Wert an, der den Wert 1 nicht sehr stark unterschreitet. Da das Budget  $E_{en}^{+B}$  relativ klein ist, fällt der optimale Selbstbehalt eher groß aus, was für einen relativ hohen Wert der Integrationskonstante  $c^{en}$  spricht.

Abbildung 5.8 zeigt den Verlauf des optimalen Selbsthalts in Abhängigkeit der Prävalenzquote. Es wird wie schon in Abbildung 5.3 unterstellt, dass  $\lim_{y \rightarrow 0} \frac{f_{\psi_p}}{f} > 1$  ist.

Im oberen Teil der Abbildung 5.8 wird der Term  $\left( \frac{f_{\psi_p}}{f} \cdot (1 - \lambda_{p, en}) + \lambda_{b, en} \cdot \frac{p_{\psi_b, en}^0}{1-p_{en}^0} \right)$  veranschaulicht. Durch den Faktor  $(1 - \lambda_{p, en})$  wird die Likelihood Ratio  $\frac{f_{\psi_p}}{f}$  nach links gestaucht, wobei dieser Effekt in relativ kleinem Maße auftritt, da  $(1 - \lambda_{p, en})$  den Wert 1 nicht sehr stark unterschreitet. Für die relativ großen Faktoren  $\lambda_{b, en}$  und  $\frac{p_{\psi_b, en}^0}{1-p_{en}^0}$  wird unterstellt, dass deren Produkt den Wert 1 überschreitet. Die gestauchte Likelihood Ratio verschiebt sich für jede Prävalenzquote im Untersuchungsbereich  $[0; y_{en}^k(\psi_p^{**})]$  um das Produkt  $\lambda_{b, en} \cdot \frac{p_{\psi_b, en}^0}{1-p_{en}^0}$  nach rechts. Daher nimmt der Term  $\left( \frac{f_{\psi_p}}{f} \cdot (1 - \lambda_{p, en}) + \lambda_{b, en} \cdot \frac{p_{\psi_b, en}^0}{1-p_{en}^0} \right)$  im gesamten Bereich  $[0; y_{en}^k(\psi_p^{**})]$  positive und mit steigender Prävalenzquote fallende Werte an.

Der untere Teil von Abbildung 5.8 enthält den natürlichen Logarithmus von  $\left( \frac{f_{\psi_p}}{f} \cdot (1 - \lambda_{p, en}) + \lambda_{b, en} \cdot \frac{p_{\psi_b, en}^0}{1-p_{en}^0} \right)$  sowie - als fettgedruckte Linie dargestellt - den optimalen Selbstbehalt gemäß (5.19) mit  $z = en$ . Dabei wird  $c^{AP} = -1$  und  $c^{en} > 0$  unterstellt. Es zeigt sich ein mit der Prävalenzquote steigender Selbstbehalt, wobei der Anstieg des Selbsthalts zunimmt, je näher die Prävalenzquote bei Entdeckung des Seuchenausbruchs den kritischen Wert  $y_{en}^k$  erreicht. Dadurch werden

Abbildung 5.8: Optimaler Selbstbehalt bei endemischen Tierseuchen



angesichts des relativ geringen Budgets für die Zusatzentschädigung bestmögliche Prüfsorgfaltsanreize gesetzt. Allerdings verläuft der Selbstbehalt deutlich flacher als der optimale Selbstbehalt bei der isolierten Betrachtung von Prüfsorgfaltsanreizen in Abbildung 5.3. Die Prüfsorgfaltsanreize sind dementsprechend geringer. Die Integrationskonstante  $c^{en}$  ist in Abbildung 5.8 so hoch gewählt, dass bei jeder Prävalenzquote  $y \in ]0; y_{en}^k[$  ein positiver Selbstbehalt gefordert wird. Die im Rahmen der Lagrange-Optimierung vernachlässigte Bedingung  $E^+(y) > 0$  wird dann bei geringen Prävalenzquoten bindend, da diese mit sehr kleinen Reaktionskosten  $x^R(y, \psi_m^0)$  einhergehen. Dieses Ergebnis steht dem Resultat der isolierten Analyse des Prüfsorgfaltsproblems in Abschnitt 5.2.2.3 konträr gegenüber, wo sich die Bedingung  $E^+(y) > 0$  gerade bei hohen Prävalenzquoten als bindend herausgestellt hat. Angesichts des zunächst fast konstanten Selbstbehalts und der mit der Prävalenzquote stetig steigenden Reaktionskosten  $x^R(y, \psi_m^0)$  gibt es eine kritische Prävalenzquote  $y_{en}^m$ , ab der die Bedingung  $E^+(y) > 0$  nicht mehr bindend ist und eine positive Zusatzentschädigung ausgezahlt wird. Da die Steigung des optimalen Selbstbehalts mit höher werdenden Prävalenzquoten immer weiter zunimmt, kann sich die Bedingung  $E^+(y) > 0$  bei relativ hohen Prävalenzquoten - unterhalb von  $y_{en}^k$  - wieder als bindend herausstellen. Die teilweise sehr kleine, aber dennoch stets positive Steigung

des optimalen Selbstbehalts bei steigender Prävalenzquote stellt sicher, dass die zweite in der Lagrange-Optimierung vernachlässigte Bedingung  $\frac{dE^+(y)}{dy} < \frac{dx^R(y; \psi_m^0)}{dy}$  stets erfüllt ist.

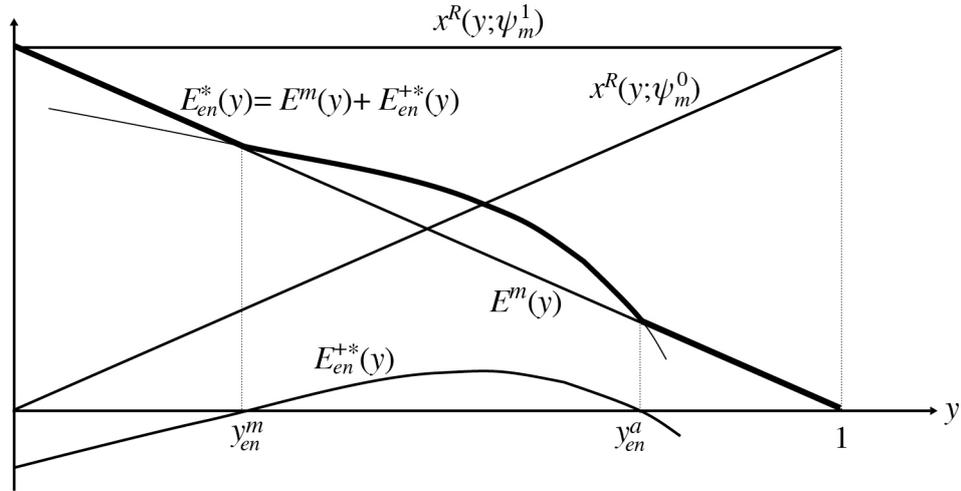
Die in Abbildung 5.8 dargestellte optimale Selbstbehaltsfunktion der Kompensation von Reaktionskosten beim Ausbruch hochinfektiöser, endemischer Tierseuchen in primärinfizierten Betrieben erinnert an eine Entschädigungsfunktion mit Abzugsfranchise. Diese Entschädigungsform ist ein Standardergebnis von Prinzipal-Agent Analysen des moralischen Risikos in Bezug auf schadenfrequenzreduzierende Risikomanagementmaßnahmen.<sup>98</sup> Der optimale Selbstbehalt bei der Entschädigung von Reaktionskosten hochinfektiöser, endemischer Tierseuchen ist näherungsweise fix, wenn der Faktor  $\lambda_{b,en} \cdot \frac{p_{\psi_{b,en}}^0}{1-p_{en}^0}$  extrem groß und die Prüfsorgfalt dementsprechend unbedeutend wird. Dadurch wird gewährleistet, dass das Auftreten einer Primärinfektion stets nachteilig für den Tierproduzenten ist, was Anreize zur Durchführung verhaltensbasierter Biosicherheitsmaßnahmen entfaltet. Realistisch ist aber die in Abbildung 5.8 dargestellte Variante, bei der Prüfsorgfaltsanreize erhalten bleiben. Darin ist der Selbstbehalt bei sehr frühzeitiger Entdeckung - beispielhaft durch die Prävalenzquote  $y_{en}^b$  und den Selbstbehalt  $x_{en}^{S*}(y_{en}^b)$  dargestellt - spürbar kleiner als zum Beispiel der Selbstbehalt  $x_{en}^{S*}(y_{en}^a)$ , der bei relativ später Entdeckung des Seuchenausbruchs mit der Prävalenzquote  $y_{en}^a$  geltend gemacht wird.

Die Lage der optimalen Selbstbehaltsfunktion wird durch die Höhe der Integrationskonstante  $c^{en}$  bestimmt. Es ist durchaus denkbar, dass diese deutlich kleiner als in Abbildung 5.8 ist, so dass der optimale Selbstbehalt bei sehr kleinen Prävalenzquoten negativ wird. Dann gäbe es eine kritische Prävalenzquote  $y_{en}^v$ , bei der  $E_{en}^{+*}(y_{en}^v) = x^R(y_{en}^v, \psi_m^0)$  und ein optimaler Selbstbehalt von null gilt. Dann käme es trotz des hohen Einflusses der verhaltensbasierten Biosicherheit auf die Primärinfektionswahrscheinlichkeit zu einer Überkompensation, wenn die Prävalenzquote bei Meldung des Seuchenverdachts die Quote  $y_{en}^v$  unterschreitet. Der mögliche Fehlanreiz, eine Infektion durch wenig verhaltensbasierte Biosicherheit herbeizuführen und bei geringer Prävalenzquote zu melden, würde dann aber dadurch beherrscht werden, dass die Meldeprämie relativ gering ist und nur bei sehr niedrigen Prävalenzquoten gezahlt wird, deren Erreichen auch bei hoher Prüfsorgfalt eher unwahrscheinlich wäre. Allzu hoch könnte der Einfluss der verhaltensbasierten Biosicherheit aber in diesem Fall nicht sein, da die optimale Entschädigungsfunktion mit einem relativ großen Budget  $E_{en}^{+B}$  verbunden sein müsste, um überhaupt in den Bereich einer Überkompensation vorzudringen.

Deutlich wird dies in Abbildung 5.9. Darin wird die optimale Entschädigung der Reaktionskosten endemischer Tierseuchen,  $E_{en}^*(y) = E_{en}^{+*}(y) + E^m(y)$ , explizit dargestellt. Die vertikale Position von  $E_{en}^*(y)$  basiert in etwa auf dem in Abbildung 5.8 zugrunde gelegten Wert der Integrationskonstante  $c^{en}$ . Die optimale Selbstbehaltsfunktion in Abbildung 5.8 steigt zunächst mit zunehmender Prävalenzquote

<sup>98</sup>Vgl. zum Beispiel Winter [2000], S. 162-165.

Abbildung 5.9: Optimale Entschädigung bei endemischen Tierseuchen



nur mäßig an. Das heißt, die mit der Prävalenzquote steigenden Reaktionskosten  $x^R(y, \psi_m^0)$  werden annähernd durch die ansteigende optimale Zusatzentschädigung  $E_{en}^{+*}(y)$  kompensiert. Da jedoch auch bei sehr geringen Prävalenzquoten ein positiver Selbstbehalt einbehalten wird, muss die Zusatzentschädigung bei geringen Prävalenzquoten negativ sein. Bei der Prävalenzquote  $y_{en}^m$  wird die Zusatzentschädigung positiv, so dass sie Bestandteil der optimalen Entschädigungsfunktion  $E_{en}^*(y)$  wird, die in Abbildung 5.9 fettgedruckt dargestellt ist. Bei höheren Prävalenzquoten steigt der optimale Selbstbehalt zunehmend stärker an. Die Bedingung  $E^+(y) > 0$  wird deshalb bei hohen Prävalenzquoten, ab dem Wert  $y_{en}^n$ , wieder bindend.

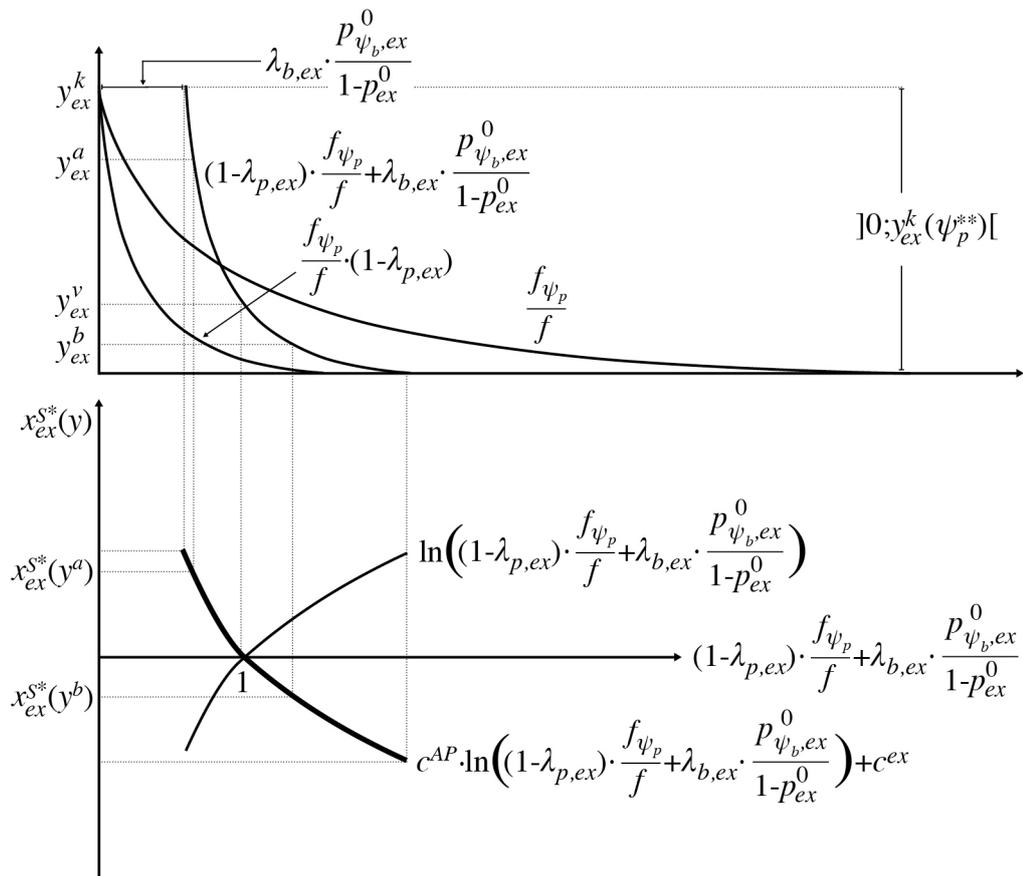
### 5.2.4.3.3 Entschädigung exotischer Tierseuchen

Der optimale Selbstbehalt der betrachteten exotischen Tierseuche ergibt sich gemäß Gleichung (5.19) mit  $z = ex$ . Wir gehen, wie in Abschnitt 5.2.4.3.1 dargelegt, davon aus, dass der Faktor  $\frac{p_{\psi_b, ex}^0}{1-p_{ex}^0}$  kleiner als im Fall der endemischen Tierseuche ist. Zudem ist die verhaltensbasierte Biosicherheit vergleichsweise unbedeutend, was einen relativ kleinen Faktor  $\lambda_{b, ex}$  und aufgrund der inversen Beziehung zwischen  $\lambda_{b, ex}$  und  $\lambda_{p, ex}$  einen relativ kleinen Faktor  $(1 - \lambda_{p, ex})$  impliziert. Darüber hinaus ist die Integrationskonstante  $c^{ex}$  vergleichsweise klein, da aufgrund der relativ hohen Bedeutung von Prüfsorgfaltsanreizen ein sehr großes Budget  $E_{ex}^{+B}$  veranschlagt wird. Der Untersuchungsbereich ist im Vergleich zum Fall der endemischen Tierseuchen stark eingeschränkt, da die second-best optimale Prüfsorgfalt bei exotischen Tierseuchen größer ist.

Diese Parameteränderungen implizieren einen zum Fall der endemischen Tierseuche unterschiedlichen Verlauf der optimalen Selbstbehaltfunktion, den wir wiederum graphisch veranschaulichen. Der obere Teil von Abbildung 5.10 verdeut-

licht den Zusammenhang zwischen der Prävalenzquote  $y$  im Untersuchungsbereich  $]0; y_{ex}^k(\psi_p^{**})[$  und der Größe des Terms  $\frac{f_{\psi_p}}{f} \cdot (1 - \lambda_{p,ex}) + \lambda_{b,ex} \cdot \frac{p_{\psi_b,ex}^0}{1-p_{ex}^0}$ . Es wird davon ausgegangen, dass  $\lim_{y \rightarrow 0} \frac{f_{\psi_p}}{f} > 1$  ist. Zunächst ist festzustellen, dass die Likelihood Ratio  $\frac{f_{\psi_p}}{f}$  aufgrund des positiven, aber sehr kleinen Faktors  $(1 - \lambda_{p,ex})$  stark nach links gestaucht wird. Die Rechtsverschiebung um den Faktor  $\lambda_{b,ex} \cdot \frac{p_{\psi_b,ex}^0}{1-p_{ex}^0}$  fällt relativ klein aus. Im unteren Teil von Abbildung 5.10 ist der natürliche Logarithmus  $\ln\left(\frac{f_{\psi_p}}{f} \cdot (1 - \lambda_{p,ex}) + \lambda_{b,ex} \cdot \frac{p_{\psi_b,ex}^0}{1-p_{ex}^0}\right)$  sowie, als fettgedruckte Kurve, die optimale Selbstbehaltfunktion gemäß (5.19) mit  $z = ex$  dargestellt. Dabei wurden für  $c^{AP}$  der Wert  $-1$  und für die aufgrund des hohen Budgets  $E_{ex}^{+B}$  relativ kleine Integrationskonstante  $c^{ex}$  der Wert null unterstellt.

Abbildung 5.10: Optimaler Selbstbehalt bei exotischen Tierseuchen



Die optimale Selbstbehaltfunktion ähnelt der Lösung aus der isolierten Untersuchung des Prüfsorgfaltsproblems, was angesichts der hohen Bedeutung der Prüfsorgfalt bei exotischen Tierseuchen plausibel ist. Es zeigt sich, dass eine Überkompensation von Reaktionskosten erfolgt, wenn die Prävalenzquote bei Meldung des Seuchenverdachts im Bereich  $]0; y_{ex}^v[$  liegt. Beispielhaft wird dies durch die Prävalenzquote



### 5.2.5 Effiziente Entschädigung von Reaktionskosten in Krisenzeiten

Wenn die Einschleppung einer hochinfektiösen Tierseuche trotz Biosicherheitsanstrengungen nicht verhindert werden kann, ist deren frühzeitige Entdeckung und Meldung Voraussetzung einer schnellen Bekämpfung und Eindämmung des Ausbruchs. Die potentiell primärinfizierten Betriebe sind deshalb die entscheidenden Einheiten zur Vermeidung katastrophaler Seuchenzüge innerhalb von Nutztierbeständen. Aus diesem Grund haben wir das unbeobachtbare, *ex ante* betriebliche Risikomanagementverhalten primärinfizierter Betriebe, die frühzeitige Entdeckung und Meldung von Seuchenverdachtsfällen und die verhaltensbasierte Biosicherheit, einer sehr ausführlichen anreiztheoretischen Analyse unterzogen. Gemessen an den gesamten Reaktionskosten großer Epizootien entfällt auf primärinfizierte Betriebe jedoch nur ein verschwindend geringer Teil der Reaktionskosten von Seuchenausbrüchen. Der überwiegende Teil der Reaktionskosten langandauernder Epizootien setzt sich aus Kosten von Tierschutzschlachtungen sowie aus restriktionsbedingten Betriebsunterbrechungskosten zusammen.<sup>99</sup>

Wir wenden uns nun den nicht primärinfizierten Betrieben zu, in denen in Folge des Primärausbruchs und der Seuchenbekämpfungsmaßnahmen Reaktionskosten anfallen. Dazu gehören zum einen *sekundärinfizierte* Betriebe, die aus dem wirtschaftlichen oder geographischen Umfeld des primärinfizierten Betriebes stammen und deren Infektion *nach* Bekanntwerden der Primärinfektion öffentlich wird.<sup>100</sup> Häufig liegen sekundärinfizierte Betriebe in der Nähe primärinfizierter Betriebe, denn in unmittelbarer Nachbarschaft ist die Anzahl an indirekten Kontakten zwischen Herden relativ groß, teilweise bestehen regelmäßige direkte Kontakte. Aufgrund von Handelsaktivitäten bzw. Tiertransporten gehören jedoch oftmals auch weiter entfernt liegende Kontaktbetriebe zu den sekundärinfizierten Betrieben. Die optimale Entschädigung von Reaktionskosten in sekundärinfizierten Betrieben wird in Abschnitt 5.2.5.1 analysiert. Daraufhin untersuchen wir in Abschnitt 5.2.5.2 die optimale Entschädigung von Reaktionskosten in Betrieben, die nicht infiziert sind, bei denen aber in Folge von behördlichen Seuchenbekämpfungsmaßnahmen auch Reaktionskosten anfallen.

#### 5.2.5.1 Sekundärinfizierte Betriebe

Die optimale Entschädigungsfunktion wird in Zeiten der (vermeintlichen) Seuchenfreiheit genau so ausgestaltet, dass Tierproduzenten einen optimalen Punkt im Tradeoff zwischen Prüfsorgfalt und verhaltensbasierter Biosicherheit wählen, der die gesamten erwarteten Reaktionskosten minimiert. Offizielle Seuchenfreiheit entspricht mit großer Wahrscheinlichkeit einer tatsächlichen Seuchenfreiheit im regio-

---

<sup>99</sup>Vgl. zum Beispiel Meuwissen et al. [2003] und Alleweldt et al. [2006], S. 24.

<sup>100</sup>Der Indexfall eines Seuchenausbruchs kann durchaus unter den sekundärinfizierten Betrieben zu finden sein, da die Längen der  $HRP_1$  zufallsverteilt sind. Vgl. DEFRA [2002], S. 2 f.

nenal Nutztierbestand.<sup>101</sup> Nach Entdeckung des Primärausbruchs einer hochinfektiösen Tierseuche ergibt sich eine vollkommen neue Gefährdungssituation. Die Präsenz hochinfektiöser Krankheitserreger in einzelnen Herden stellt eine Gefahr für den gesamten regionalen Nutztierbestand dar. Daher ist es von immenser Bedeutung, dass alle Herden, die mit einer relativ hohen Wahrscheinlichkeit infiziert sind, umgehend gekeult und beseitigt werden, um die zunehmende Reproduktion und Ausscheidung von Krankheitserregern zu stoppen und so schnell wie möglich den Zustand der Seuchenfreiheit wieder herzustellen.<sup>102</sup> In der Europäischen Union werden beispielsweise Restriktionszonen mit abgestuften Biosicherheitsstandards um infizierte Betriebe herum errichtet, zum Beispiel kleinere Schutzzonen und größere Überwachungszonen.<sup>103</sup> Nach Bestätigung eines Seuchenausbruchs werden Kontakt-herden durch Backward Tracing und Forward Tracing ermittelt, um andere, potentiell infizierte Herden zu identifizieren. Innerhalb von Überwachungszonen finden regelmäßige Gesundheitsprüfungen - so genannte Screenings - statt,<sup>104</sup> um Betriebe, die mit vergleichsweise hoher Wahrscheinlichkeit infiziert sind, möglichst schnell zu entdecken und zu beseitigen.

Die Präsenz von Krankheitserregern im Nutztierbestand einer Region, in der diese normalerweise exotisch oder allenfalls im Wildtierbestand aufzufinden sind, hat einen erheblichen Einfluss auf die veterinärmedizinisch-technischen Zusammenhänge zwischen Risikomanagement und Tierseuchenrisiko. Effiziente Risikomanagementstandards ändern sich daher schlagartig. Hinsichtlich beobachtbarer individueller Maßnahmen ergibt sich die Notwendigkeit, Biosicherheitsauflagen zu verschärfen, zum Beispiel durch den Einsatz temporärer Transportverbote bzw. durch die strikte Regulierung von Transporten in durchseuchten Gebieten. Hinsichtlich unbeobachtbarer betrieblicher Risikomanagementmaßnahmen hat die Veränderung der Risikosituation Auswirkungen auf die optimale Entschädigung von Reaktionskosten. Zunächst ist generell von einer erhöhten Effektivität der verhaltensbasierten Biosicherheit auszugehen. Augenscheinlich ist dies bei einer Betrachtung vormals exotischer Tierseuchen. Aber auch die Präsenz endemischer Krankheitserreger im Nutztierbestand bedeutet eine signifikante Veränderung der Gefährdungssituation gegenüber einer auf Wildtiere begrenzten Krankheitspräsenz. Zudem ist davon auszugehen, dass die Effektivität der Prüfsorgfalt zunimmt, denn die Tierproduzenten wissen nach Entdeckung des Primärausbruchs, welcher Krankheitserreger aktuell im Um-

---

<sup>101</sup>Mit einer geringen Wahrscheinlichkeit, die unter anderem von der regionalen Seucheneinschleppungsfrequenz und der Verteilung der Länge der  $HRP_1$  abhängt, ist der Umweltzustand durch einen unentdeckten Indexfall und gegebenenfalls durch weitere Infektionen gekennzeichnet.

<sup>102</sup>Vgl. Ribbens et al. [2004], S. 147.

<sup>103</sup>Vgl. zum Beispiel Richtlinie 85/511/EWG. Bei der Errichtung von Restriktionszonen werden grundsätzlich geographische und epizootiologische Aspekte berücksichtigt. Schutzzonen und Überwachungszonen im Fall eines KSP-Ausbruchs in der Europäischen Union weisen in etwa einen Radius von drei bzw. zehn Kilometer auf. Vgl. Edwards et al. [2000], S. 111 f.

<sup>104</sup>Vgl. Engel et al. [2005], S. 197.

lauf ist, und bei welchen Tieren welche Symptomatik im Infektionsfall zu erwarten ist. Diese Punkte sprechen dafür, dass sich die optimale Entschädigungsfunktion für Reaktionskosten sekundär infizierter Betriebe in Richtung des in Abschnitt 5.2.4.3.2 skizzierten Falls der endemischen Tierseuchen bewegt. Die Anpassung der optimalen Entschädigung von Reaktionskosten an die neue Gefahrensituation erfordert deshalb eine *Abflachung* der Entschädigungsfunktion.

Die Einhaltung der Meldebedingung ist bei sekundärinfizierten Betrieben theoretisch unbedeutend, falls diese ihre Infektion nicht selbst melden, sondern im Rahmen des Tracings oder Screenings überführt werden. Wenn verhindert werden kann, dass Informationen über den Primärausbruch in dem Zeitraum zwischen Entdeckung bzw. Meldung der Primärinfektion und Durchführung dieser Inspektionen publik werden, könnte in den inspizierten Betrieben auf die Bedingung  $E^+(y) \geq 0$  verzichtet werden. Die optimale Entschädigung entspräche dann zum Beispiel der Kurve mit den dünn gezeichneten Fortsetzungen in Abbildung 5.9, die optimale Prüfsorgfaltsanreize unter Einhaltung eines durch  $E^{+B}$  implizit definierten Mindestbiosicherheitsstandards bietet. Es ist aber abwegig anzunehmen, dass der Primärausbruch einer hochinfektiösen Tierseuche von offizieller Seite so lange geheim gehalten werden kann, bis alle Kontaktbetriebe überprüft worden sind. Das Bekanntwerden des Primärausbruchs einer endemischen Tierseuche hätte zur Folge, dass Tierproduzenten aller Kontaktbetriebe auch ohne Beobachtung eindeutiger Krankheitssymptome zur Sicherheit Seuchenverdachtsmeldungen abgeben. Wird daraufhin eine Infektion festgestellt, müsste die Entschädigung unter Einhaltung der Meldebedingung geleistet werden. Ein rapides Ansteigen derartig prophylaktischer Seuchenverdachtsmeldungen untergräbt aber die Reaktionsfähigkeit der Veterinärbehörde in dieser wichtigen Phase der Seuchenbekämpfung. Deshalb sollte die bei (vermeintlicher) Seuchenfreiheit effiziente Entschädigungsfunktion sowohl für den primärinfizierten Betrieb, als auch für alle Kontaktbetriebe, die unmittelbar nach Entdeckung der Primärinfektion ermittelt werden, angewendet werden, sofern die Bedingung  $E^+(y) \geq 0$  bei kleinen Prävalenzquoten bindend ist. Anderenfalls, also bei Entschädigungsfunktionen mit Meldeprämien, sollte die Meldeprämie für durch Tracing und Screening ermittelte Kontaktbetriebe gekappt werden und stattdessen im Bereich  $]0; y^v]$  eine Entschädigung in Höhe  $x^R(y, \psi_m^1)$  gezahlt werden, um Fehlanreize zur absichtlichen Herbeiführung von Infektionsfällen in Kontaktbetrieben im Zeitraum zwischen Ermittlung und Inspektion des Kontaktbetriebes zu vermeiden.

Eine erfolgreiche Seuchenbekämpfung in den ersten Tagen und Wochen nach Entdeckung des Primärausbruchs zeichnet sich dadurch aus, dass alle eventuell infizierten Betriebe durch Tracing und Screening ermittelt werden und Krankheitserreger durch die Errichtung von Schutzzonen um alle infizierten Betriebe isoliert werden. Durch Restriktionen wird ein Ausbrechen der Krankheitserreger aus diesen Zonen unterbunden. Infizierte Herden werden gekeult, und durchseuchte Objekte wie Tierkadaver, Geräte, Kleidung, Futter oder Ställe werden vernichtet bzw. gereinigt

und desinfiziert. Restriktionszonen werden erst aufgehoben, wenn das entsprechende Gebiet wieder seuchenfrei ist. In dieser Phase der Seuchenbekämpfung ist die Einhaltung erhöhter Standards bei der verhaltensbasierten Biosicherheit äußerst wichtig. Insbesondere gilt dies in Schutzzonen, wo sich möglicherweise infizierte Herden aufhalten. Deshalb sollten sofort nach Ermittlung der Kontaktbetriebe alle Tierproduzenten aus dem geographischen oder wirtschaftlichen Umfeld des primärinfizierten Betriebes und seiner Kontaktbetriebe, deren betriebliche Seucheneinschleppungsgefahr durch den Seuchenausbruch angestiegen ist, über eine erhöhte Gefährdung und dementsprechend über eine (temporäre) Abflachung der Entschädigungsfunktion informiert werden. Dies betrifft auch die Kontaktbetriebe selbst, die sich als seuchenfrei erweisen. Die modifizierte Entschädigungsfunktion kommt überhaupt nur dann zur Anwendung, wenn die Isolation des primärinfizierten Betriebes und der durch Tracing und Screening ermittelten, sekundärinfizierten Kontaktbetriebe nicht zur Eindämmung des Seuchenausbruchs ausreicht, und in den folgenden Wochen (weitere) Sekundärinfektionen auftreten.

Die zur taktischen Seuchenbekämpfung verwendeten Seuchenausbreitungsmodelle liefern Anhaltspunkte für potentiell sekundärinfizierte Betriebe. Daher kann die Einhaltung eines Standards zur frühzeitigen Meldung von Seuchenverdachtsfällen in Krisenzeiten womöglich kontrolliert werden, wofür auch empirische Anzeichen bestehen.<sup>105</sup> Dies würde eine erhebliche Erleichterung des ex ante-ex post Anreizkonflikts in Krisenzeiten bedeuten,<sup>106</sup> denn die Kontrollierbarkeit der frühzeitigen Meldung induziert eine Lockerung der Meldebedingung, was eine Erhöhung des maximal möglichen Selbstbehalts ermöglicht. Dadurch könnten die in Krisenzeiten immens wichtigen Biosicherheitsanreize erhöht werden. Ob diese Möglichkeit besteht, hängt zum einen davon ab, ob die Verifizierbarkeit der frühzeitigen Meldung gegeben ist. Zum anderen spielt dabei die personelle Kapazität der Veterinärbehörde in Krisenzeiten eine Rolle. Dies wird in vorliegender Arbeit aber nicht weiter thematisiert.

#### 5.2.5.2 Nicht infizierte Betriebe

Reaktionskosten entstehen nicht nur in infizierten Betrieben. Ein signifikanter Anteil der Reaktionskosten fällt stets auch bei *Tierproduzenten mit gesunden Herden* an, die auf zwei verschiedene Arten von den offiziellen Seuchenbekämpfungsmaßnahmen der Veterinärbehörde betroffen sein können. Einerseits beinhaltet die Seuchenbekämpfung teilweise *präventive Schlachtungen* von Herden, die nicht oder zumindest bekanntermaßen nicht infiziert sind. Zur Bekämpfung des Ausbruchs einer hochinfektiösen Tierseuche werden neben Schutz- und Überwachungszonen häufig auch Keulungszonen errichtet, innerhalb derer alle für den betrachteten Erreger empfänglichen Tiere vernichtet werden. Diese äußerst radikale Methode wird angewendet,

<sup>105</sup>Vgl. Court of Auditors [2005], S. 16 f. und Court of Auditors [2000], S. 15.

<sup>106</sup>Vgl. die Modellierung des ex ante-ex post Anreizkonflikts von Gramig et al. [2005].

wenn die zusätzlichen Kosten der Tötung und Vernichtung dieser Tiere geringer eingeschätzt werden als das zusätzliche Seuchenverbreitungsrisiko, das ein Verzicht auf die präventive Beseitigung der Herden in der Keulungszone bedeutet. Andererseits kann der Umstand, dass sich der Betriebsstandort in einer Schutz- oder Überwachungszone befindet, die Entstehung von *restriktionsbedingten Reaktionskosten* bei Tierproduzenten mit gesunden Herden hervorrufen. Insbesondere bei langandauernden Epizootien können diese den größten Anteil der Reaktionskosten darstellen, da dauerhafte Transport- und Verwertungsverbote in einem Gebiet in zunehmendem Maße Tierschutzschlachtungen erforderlich machen.<sup>107</sup>

Die Entschädigung von Reaktionskosten in nicht infizierten Betrieben kann Auswirkungen auf das Risikomanagementverhalten der betroffenen Tierproduzenten haben und muss daher sorgfältig durchdacht werden. Für nicht infizierte Betriebe wird zum Zeitpunkt der Bestätigung einer Primärinfektion eine Abflachung der Entschädigungsfunktion wirksam, so dass erhöhte Anreize zur Vermeidung eines Übergriffs der Krankheitserreger auf noch nicht infizierte Herden entstehen. Diese Anreize dürfen keinesfalls durch die Regeln für die Kompensation der Kosten präventiv geschlachteter, gesunder Herden oder durch die Regeln für die Kompensation restriktionsbedingter Kosten konterkariert werden. Genau dies droht jedoch bei einer *Überkompensation* dieser Kosten. Durch die Präsenz hochinfektiöser Krankheitserreger im Nutztierbestand eines Gebietes oder einer Region steigt die Bedeutung der verhaltensbasierten Biosicherheit. Dies impliziert, dass Tierproduzenten durch eine Reduktion der verhaltensbasierten Biosicherheit die Wahrscheinlichkeit der Seucheneinschleppung in ihren Tierbestand effektiv erhöhen können. Diese *Fehlanreize zur Seucheneinschleppung* können entstehen, sobald eine signifikante Überkompensation der Reaktionskosten nicht infizierter Betrieb geleistet wird. In Gebieten mit hoher Betriebsdichte impliziert eine Seuchenbekämpfungsstrategie, die den Einsatz von präventiven Keulungen und Restriktionen einschließt, dass jede zusätzliche Sekundärinfektion mehrere präventiv geschlachtete Herden und mehrere unter Restriktionen gesetzte Betriebe hervorruft. Bei einer Überkompensation dieser Kosten entsteht damit für eine Gruppe von Tierproduzenten in Gebieten mit hoher Betriebsdichte der Fehlanreiz zur absichtlichen Einschleppung der hochinfektiösen Tierseuche in Krisenzeiten.

Da die Maßnahmen zur Bekämpfung von Ausbrüchen hochinfektiöser Tierseuchen durch die zuständigen Behörden gesteuert und koordiniert werden, beschränkt sich der Beitrag individueller Tierproduzenten zur Seuchenbekämpfung weitgehend auf deren Kooperation mit der behördlich vorgegebenen Seuchenbekämpfungsstrategie. Im Fall einer *Unterkompensation* von Reaktionskosten in gesunden Betrieben kann die *Kooperationsbereitschaft stark eingeschränkt* sein. Da nicht von einer vollkommenen Beobachtbarkeit der Kooperation von Tierproduzenten durch die Veterinärbehörde ausgegangen werden kann, lässt die Analyse des Kontrollspiels in

---

<sup>107</sup>Vgl. Whinston [2006].

Abschnitt 5.1 die Schlussfolgerung zu, dass die gelegentliche Missachtung von Seuchenbekämpfungsrestriktionen durch Tierproduzenten bei langandauernden Epizootien an der Tagesordnung ist.<sup>108</sup> Eine vollständige Entschädigung restriktionsbedingter Reaktionskosten kann zwar nicht die Beobachtbarkeit der Kooperationsbereitschaft erhöhen, sie schmälert jedoch die Akzeptanz eines Verstoßes gegen Auflagen zur Seuchenbekämpfung in der Gesellschaft bzw. unter Tierproduzenten. Neben der verdeckten Missachtung einzelner Restriktionen kann eine Unterkompensation von Reaktionskosten auch offenen Widerstand gegen die behördlich festgelegte Seuchenbekämpfungsstrategie heraufbeschwören, wie etwa die Weigerung von Tierproduzenten, den Veterinärbehörden für die Durchführung präventiver Keulungen Zutritt zu Betrieben zu geben.<sup>109</sup> Zwar ist davon auszugehen, dass die Veterinärbehörde letztlich auch die Maßnahmen implementieren wird, wofür sie zur Gefahrenabwehr berechtigt ist und die sie für richtig hält. Unkooperatives Verhalten sowie Widerstand gegen Auflagen zur Seuchenbekämpfung verzögern jedoch die Implementierung der effizienten Seuchenbekämpfungsstrategie und gehen damit zu Lasten ihrer Effektivität.

Die Unterkompensation von Reaktionskosten in nicht infizierten Betrieben kann schwerwiegende Konsequenzen haben, wenn sie mit einer relativ umfassenden Kompensation von Reaktionskosten in infizierten Betrieben einher geht. Dann ist es möglich, dass die Einschleppung der Tierseuche aus Sicht des Tierproduzenten vorteilhaft ist. Zwar bedeutet die Seucheneinschleppung in den Betrieb, dass die gesamte Herde notgeschlachtet wird. Wenn die damit verbundenen Reaktionskosten jedoch umfassend entschädigt werden, liegt der Selbstbehalt infizierter Betriebe möglicherweise unterhalb des Selbstbehalts bei stark unterkompensierten, restriktionsbedingten Reaktionskosten. Dann entstehen gravierende Fehlanreize zur Seucheneinschleppung hochinfektiöser Tierseuchen in Betriebe, die in Restriktionszonen liegen.<sup>110</sup> Es ist offensichtlich, dass derartige Fehlanreize nicht mit einem effizienten Risikomanagement hochinfektiöser Tierseuchen vereinbar sind, wenn Tierproduzenten angesichts der Unbeobachtbarkeit verhaltensbasierter Biosicherheitsmaßnahmen über signifikante Verhaltensspielräume verfügen.

Durch die Vollversicherung nicht infizierter Betriebe bei gleichzeitiger Abflachung der Entschädigungsfunktion für infizierte Betriebe entstehen sehr starke Anreize für Tierproduzenten, einen Übergriff der Seuche auf ihren Betrieb während einer Epizootie zu verhindern. Dadurch werden ineffiziente Fehlanreize zur Seucheneinschleppung vermieden. Andererseits kann die Wahrscheinlichkeit der Missachtung einzelner Restriktionen spürbar verringert werden. Unkooperatives Verhalten ist dann kein gesellschaftlich akzeptierter Widerstand gegen Staatseingriffe mit enteignen-

---

<sup>108</sup>Auch in der Praxis wurden Verstöße gegen Seuchenbekämpfungsrestriktionen festgestellt. Vgl. zum Beispiel National Audit Office [2002], S. 58 und Court of Auditors [2005], S. 16.

<sup>109</sup>Vgl. zum Beispiel die Meldung im Tagesspiegel [2001].

<sup>110</sup>Vgl. Niemi et al. [2004], S. 186, 193 f.

dem Charakter, sondern illegales Verhalten zum eigenen Vorteil, das katastrophale gesellschaftliche Konsequenzen haben kann. Aus anreiztheoretischen Gesichtspunkten stellt die vollständige Entschädigung aller Reaktionskosten bzw. die *Vollversicherung* somit die effiziente Entschädigungsfunktion für die Reaktionskosten nicht infizierter Betriebe dar.

Dieses Ergebnis unterstützt das unter Gültigkeit der *Vollversicherungsannahme* abgeleitete Regulierungsziel einer Minimierung erwarteter Risikokosten. Zwar wurde in den Abschnitten 5.2.3.3 bis 5.2.5.1 gezeigt, dass die Reaktionskosten in Betrieben, die zum Zeitpunkt des Bekanntwerdens einer Primärinfektion infiziert sind, gerade nicht vollständig entschädigt werden sollten. Stattdessen sollte die Entschädigungsfunktion je nach Zusammenhang zwischen den Risikomanagementmaßnahmen der Prüfsorgfalt bzw. der verhaltensbasierten Biosicherheit und dem Tierseuchenrisiko spezielle Formen annehmen, die in Abhängigkeit der Prävalenzquote zu einem positiven oder negativen Selbstbehalt des Tierproduzenten mit infizierten Herden führen kann. Das Ereignis einer Infektion mit einer hochinfektiösen Tierseuche ist aus Sicht eines einzelnen Betriebes jedoch äußerst gering. Der überwiegende Anteil der Tierproduzenten, die beim Ausbruch einer hochinfektiösen Tierseuche Reaktionskosten tragen müssen, sind als nicht infizierte Betriebe vollversichert.<sup>111</sup> Die Vernachlässigung von Risikoprämien ist deshalb vertretbar.

### 5.2.6 Implementierung der optimalen Entschädigung

Zur Implementierung der optimalen Entschädigung von Reaktionskosten ist die Kenntnis der tatsächlich anfallenden Reaktionskosten im Zuge der behördlichen Seuchenbekämpfungsmaßnahmen entscheidend. Die durch Tierwertverluste in Folge von Not-, Präventiv- oder Tierschutzschlachtungen entstehenden Reaktionskosten müssen sich dabei streng an den aktuellen Marktpreisen der betrachteten Tiere zu dem Zeitpunkt orientieren, an dem die Schlachtungen angeordnet bzw. durchgeführt werden. Gegebenenfalls müssen Marktpreise anhand von interregional üblichen Preisdifferenzen und auf Basis von Vermarktungsaussichten geschätzt werden, wenn in durchseuchten Gebieten eine Vermarktung von Tieren restriktionsbedingt ausgeschlossen ist. Eine Schätzung von Marktpreisen ist auch erforderlich, wenn Tiere geschlachtet werden, die aufgrund ihres Alters bzw. ihrer Produktionsphase üblicherweise nicht auf Märkten gehandelt werden. Dazu kann zum Beispiel der Barwert des Marktpreises der nächsten Vermarktungsstufe um die bis dahin anfallenden, diskontierten Herstellungskosten bereinigt werden. Die aktuelle Marktwertorientierung bei den Tierwerten ist äußerst wichtig für die Anreizeffizienz des Entschädigungssystems, da es ansonsten leicht zu einer Über- oder Unterkompensation von Reaktionskosten mit den entsprechenden Fehlanreizen kommen kann. Angesichts seuchenin-

---

<sup>111</sup>Bei der KSP-Epizootie 1997/98 stammten zum Beispiel nicht einmal 6 % der gekeulten Tiere aus infizierten Herden. Vgl. Stegemann et al. [2000], S. 191.

duzierter Preisschwankungen<sup>112</sup> bedeutet die strikte Marktwertorientierung der optimalen Entschädigung, dass ein erhebliches *Preisrisiko* beim Tierproduzenten verbleibt. Eine Absicherung dieses Risikos darf keinesfalls an Kompensationszahlungen für Tierwertverluste aufgrund von Schlachtungen durch den Monopol-Pflichtversicherer gebunden sein.<sup>113</sup> Im Fall eines signifikanten, seuchenbedingten Preisverfalls würde sonst ein erheblicher Fehlanreiz zur Seuchenausbreitung entstehen.

Mögliche Selbstbehalte oder Meldeprämien für primär- oder sekundärinfizierte Betriebe werden gleich zu Beginn mit den Entschädigungszahlungen für notgeschlachtete Herden abgegolten. Falls die Nebenbedingung  $E^+(y) \geq 0$  bei der optimalen Entschädigung eines Tierproduzenten bindend ist, kann die Mindestentschädigung in Abhängigkeit der Prävalenzquote zum Beispiel dadurch approximiert werden, dass keine Entschädigung für Tiere mit sichtbaren Krankheitssymptomen geleistet wird. Betriebsunterbrechungskosten sind dann für alle Betriebe vollversichert, unabhängig davon, ob eine Not-, Präventiv- oder Tierschutzschlachtung und ein anschließendes Wiederbelegungsverbot Ursache der Betriebsunterbrechung ist. Vollversichert sind auch alle anderen restriktionsbedingten Reaktionskosten. Dazu gehören zum Beispiel die Kosten von Transport- und Bewegungsverböten für gesunde Herden oder Zuchtverböte für Zuchtbetriebe. Auch bei diesen Restriktionskosten ist es äußerst wichtig, dass sie adäquat entschädigt werden, um die durch eine Über- oder Unterkompensation entstehenden Fehlanreize zu vermeiden. Aufgrund der starken Abhängigkeit dieser Reaktionskostenarten von der Länge der Zeitspanne, die die jeweiligen Restriktionen in Kraft sind, erscheinen nach Betriebsgröße, Betriebstyp und gegebenenfalls nach Produktionszyklus<sup>114</sup> differenzierte, restriktionsspezifische Tagespauschalen angemessen.<sup>115</sup> Die in einem Betrieb anfallenden Restriktionskosten sind teilweise vom Produktionsmanagement während dieses Zeitraumes abhängig. In der Schweinemast besteht zum Beispiel ein starker Einfluss des Produktionsmanagers auf die zusätzlichen Kosten von Vermarktungsrestriktionen über die Fütterung.<sup>116</sup> Bei der Bemessung von Kompensationspauschalen sollte unter diesen Umständen restriktionskostenminimierendes Verhalten der Tierproduzenten unterstellt werden.

### 5.3 Anreizkompatibilität der Entschädigung in den EU-Mitgliedsländern

Die Analyse der optimalen Entschädigung von Reaktionskosten hochinfektiöser Tierseuchen hat gezeigt, dass das bestmögliche, third-best effiziente Risikomanagement hochinfektiöser Tierseuchen eine sorgfältige Ausgestaltung der Entschädigungsfunktion voraussetzt. In der praktischen Umsetzung kommt es vor allem darauf an, die

---

<sup>112</sup>Vgl. Court of Auditors [2000], S. 4.

<sup>113</sup>Vgl. Alleweldt et al. [2006], S. 84 f.

<sup>114</sup>Vgl. Niemi et al. [2004], S. 194.

<sup>115</sup>Vgl. Alleweldt et al. [2006], S. 83.

<sup>116</sup>Vgl. Niemi et al. [2004].

Reaktionskosten möglichst genau zu ermitteln, auf die die optimale Entschädigungsfunktion anzuwenden ist. Thema dieses Abschnitts ist die kritische Beurteilung der in den Mitgliedsländern der Europäischen Union geltenden Regeln zur Kompensation von Reaktionskosten beim Ausbruch hochinfektiöser Tierseuchen. Diese Regeln unterscheiden sich prinzipiell von Land zu Land. Dennoch sind einige strukturelle Gemeinsamkeiten festzustellen, die eine allgemeine Beurteilung der Anreizkompatibilität dieser Kompensationsregeln erlauben.

Abschnitt 5.3.1 widmet sich der Beschreibung der gemeinsamen Grundstruktur der in den EU-Mitgliedsländern bestehenden Entschädigungssysteme. Zudem wird auf einige nationale Besonderheiten eingegangen, die für die Beurteilung der Anreizkompatibilität dieser Systeme relevant sind. Es zeigt sich, dass die Entschädigungssysteme in den EU-Mitgliedsländern im Allgemeinen keine effiziente Lösung im Anreizkonflikt zwischen einer frühzeitigen Meldung von Seuchenverdachtsfällen und verhaltensbasierten Biosicherheitsmaßnahmen darstellen. In Abschnitt 5.3.2 wird erläutert, inwiefern ungenügende Anreize zur frühzeitigen Meldung von Seuchenverdachtsfällen bestehen. Abschnitt 5.3.3 widmet sich bestehenden Fehlanreizen zur Seuchenausbreitung in Krisenzeiten.

### 5.3.1 Bestehende Entschädigungsregeln

Kompensationszahlungen für Reaktionskosten hochinfektiöser Tierseuchen werden in fast allen Mitgliedsländern der Europäischen Union durch staatliche oder halbstaatliche Organisationen geleistet.<sup>117</sup> Manche dieser Organisationen können insofern als Monopol-Pflichtversicherer bezeichnet werden, als dass sie Beiträge als Gegenleistung für die Absicherung individueller Reaktionskosten verlangen und kommerzielle Tierproduzenten zur Mitgliedschaft in diesen Organisationen verpflichtet sind. Wie in Abschnitt 4.4 dargelegt wurde, kann jedoch hinsichtlich der Finanzierung dieser Versicherungsleistungen nicht von einer internalisierenden Prämienstruktur die Rede sein. Im Hinblick auf die Kompensationsleistungen dieser Versicherungsorganisationen fällt zunächst auf, dass eine aus entscheidungstheoretischer Sicht absurde Differenzierung zwischen sogenannten *”direkten Kosten”* und *”indirekten Kosten”* gemacht wird. Als *”direkte Kosten”* werden insbesondere die durch Not-, Präventiv- und Tierschutzschlachtungen entstehenden Tierverluste bezeichnet. *”Indirekte Kosten”* sind restriktionsbedingte Reaktionskosten wie Betriebsunterbrechungskosten und restriktionsbedingte Mehrkosten und Mindererträge in der Produktion. Jedoch werden, im Unterschied zur in dieser Arbeit zugrunde gelegten Risikokostengröße, auch die durch einen seuchenbedingten Verfall von Fleischpreisen entstehenden Verluste für Tierproduzenten als indirekte Kosten aufgefasst.<sup>118</sup>

<sup>117</sup>Vgl. Asseldonk et al. [2003], S. 6 ff. Privatwirtschaftlich betriebenen Risikotransfer gibt es zumeist nur für nicht epidemische Tierkrankheiten, wie zum Beispiel durch Agroseguro in Spanien, ein durch den Staat unterstützter Pool privater Versicherer. Vgl. Alleweldt et al. (2006), S. 54 ff.

<sup>118</sup>Vgl. Asseldonk et al. [2006], S. 116.

Die öffentlichen Entschädigungsorganisationen in den EU-Mitgliedsländern leisten relativ umfassende Kompensationszahlungen für "direkte Kosten".<sup>119</sup> Die Leistungen orientieren sich zumeist an den Marktwerten der beseitigten Tiere. In Deutschland liegt den Entschädigungszahlungen beispielsweise der gemeine Tierwert gemäß Tierseuchengesetz § 67 zugrunde, der als durchschnittlicher Marktpreis aus der jüngeren Vergangenheit ermittelt wird.<sup>120</sup> Die für eine absolute Vermeidung von Über- oder Unterkompensationen erforderliche, strikte Orientierung an Marktwerten ist jedoch nicht gegeben.<sup>121</sup> Einige Entschädigungsorganisationen setzen explizite Anreize für eine Erhöhung der Prüfsorgfalt, indem sie eine prävalenzabhängige Entschädigung für "direkte Kosten" leisten. Beispielsweise kürzt der niederländische Animal Health Fund die Entschädigung für sichtbar kranke Tiere um 50 %. Tiere, die zum Zeitpunkt der amtstierärztlichen Visite in Folge der Meldung eines Seuchenverdachts schon verendet sind, werden gar nicht entschädigt.<sup>122</sup> In Großbritannien werden Kompensationen im Fall des Ausbruchs einer hochinfektiösen Geflügelkrankheit nur für gesunde Tiere geleistet.<sup>123</sup> Die deutschen Tierseuchenkassen reduzieren die Entschädigung für Tiere, die vor Meldung des Seuchenverdachts gestorben sind oder getötet wurden, um 50 %.<sup>124</sup> Die Entschädigung "direkter Kosten" kann EU-weit als relativ homogen und durchaus umfangreich bezeichnet werden. Bei sehr wertvollen Tieren können sich aber signifikante Differenzen ergeben, da in manchen EU-Ländern eine Deckelung der Kompensation pro Tier durch gesetzliche Höchstsätze vorliegt.<sup>125</sup> Eine Prävalenzabhängigkeit der Entschädigung ist aber nicht in allen EU-Ländern vorhanden und beinhaltet zumeist positive, ihre Marktwerte deutlich überschreitende Entschädigungsleistungen für sichtbar kranke Tiere.<sup>126</sup>

Ein anderes Bild bietet sich bei den als "indirekte Kosten" bezeichneten, restriktionsbedingten Reaktionskosten, welche die "direkten Kosten" eines Seuchenausbruchs oftmals sogar überschreiten.<sup>127</sup> Durch die staatlichen oder halbstaatlichen Entschädigungsorganisationen in den Mitgliedsländern der Europäischen Union werden "indirekte Kosten" in der Regel gar nicht entschädigt.<sup>128</sup> Teilweise wird durch eine pauschale Überkompensation "direkter Kosten" versucht, eine Entschädigung "indirekter Kosten" zu erreichen. Werden wie im Fall von Not- und Präventivschlachtungen ganze Herden gekeult, erhalten die betroffenen Tierproduzenten in Dänemark beispielsweise zusätzlich 20 % der Entschädigungsleistungen für Tierwerte.

<sup>119</sup>Vgl. Alleweldt et al. [2006], Annex 1.

<sup>120</sup>Vgl. zum Beispiel die niedersächsische Richtlinie für die Ermittlung des gemeinen Wertes von Rindern vom 11. September 2008.

<sup>121</sup>Eine umfassende Darstellung der Entschädigungsleistungen in den meisten Mitgliedsländern der Europäischen Union enthält Gerdes [1996], S. 36-167.

<sup>122</sup>Vgl. Alleweldt et al. [2006], S. 42.

<sup>123</sup>Vgl. Asseldonk et al. [2006], S. 118.

<sup>124</sup>Vgl. Tierseuchengesetz § 67.

<sup>125</sup>Vgl. zum Beispiel Gerdes [1995], S. 37-39, 47, 114, 117.

<sup>126</sup>Vgl. Asseldonk et al. [2006], S. 117-119 und Gerdes [1995], S. 36-167.

<sup>127</sup>Vgl. Gramig et al. [2006], S. 44.

<sup>128</sup>Vgl. Asseldonk et al. [2006], S. 118-123 zur Entschädigung "indirekter Kosten" in den EU-Mitgliedsländern.

Die Kompensation "indirekter Kosten" ist auch in Schweden oder Finnland an die Entstehung "direkter Kosten" bei dem betrachteten Tierproduzenten gebunden. Zumindest in Schweden findet eine sachgerechte Kompensation "indirekter Kosten" auf Basis entgangener Gewinne statt. Eine signifikante private Versicherung restriktionsbedingter Reaktionskosten besteht in Europa nicht. Von einer systematischen und umfangreichen Absicherung des Risikos restriktionsbedingter Reaktionskosten von Tierproduzenten kann deshalb in Europa, im Gegensatz zu den "direkten Kosten", nicht die Rede sein.<sup>129</sup>

Stattdessen dominieren bei der Entschädigung "indirekter Kosten" *unsystematische Kompensationsformen*. Dazu gehören zum Beispiel ad hoc Zahlungen,<sup>130</sup> die ex post spezifiziert werden. Eine in den EU-Ländern gebräuchliche Form der Entschädigung "indirekter Kosten" ist auch die Durchführung von Marktstützungskäufen, die teilweise von der Europäischen Union subventioniert wird. Darunter versteht man von nationalen Veterinärbehörden durchgeführte, kontrollierte Aufkäufe von gesunden Herden in Restriktionszonen,<sup>131</sup> über die im Einzelfall entschieden wird. Diese werden dann zum Beispiel unter hohen Biosicherheitsvorkehrungen abtransportiert und verwertet oder vernichtet. Angesichts oftmals fehlender Kompensation für "indirekte Kosten" liegt der staatliche Ankauf einer Herde im Interesse eines Tierproduzenten, denn die Tierproduktion verursacht unter Transport- und Verwertungsrestriktionen teilweise erhebliche Zusatzkosten. Darüber hinaus verlieren Herden unter Restriktionen möglicherweise täglich an Wert, wenn der optimale Schlachtungszeitpunkt überschritten ist.<sup>132</sup>

Insgesamt ist festzustellen, dass die Entschädigung individueller Reaktionskosten in den Mitgliedsländern der Europäischen Union im Fall des Ausbruchs einer hochinfektiösen Tierseuche aufgrund der relativ geringen Kompensation "indirekter Kosten" hohe Selbstbehalte impliziert. Dies gilt insbesondere bei katastrophalen Epizootien, die mit langandauernden Restriktionen und entsprechend hohen restriktionsbedingten Reaktionskosten verbunden sind. Die gesetzlich verankerten Kompensationsansprüche für "direkte Kosten" sowie die im Verhältnis zu den tatsächlich anfallenden restriktionsbedingten Reaktionskosten relativ geringen und unsicheren Kompensationsleistungen für "indirekten Kosten" entfalten schädliche Anreizwirkungen im Hinblick auf die frühzeitige Meldung von Seuchenverdachtsfällen und auf die Durchführung verhaltensbasierter Biosicherheitsmaßnahmen durch Tierproduzenten. In den folgenden Abschnitten wird dargelegt, dass diese nicht mit dem third-best effizienten Management des Risikos hochinfektiöser Tierseuchen vereinbar sind.

---

<sup>129</sup>Vgl. Alleweldt et al. [2006], Annex 1 und Asseldonk et al. [2003], S. 9-14.

<sup>130</sup>Dies ist zum Beispiel in Finnland und Frankreich üblich. Vgl. Asseldonk [2006], S. 120.

<sup>131</sup>Vgl. Alleweldt et al. [2006], S. 19.

<sup>132</sup>Vgl. Niemi et al. [2004], S. 190.

### 5.3.2 Anreizproblem bei der frühzeitigen Meldung

Bei der Entdeckung von Symptomen, die auf den Ausbruch einer hochinfektiösen Tierseuche hindeuten, ist es fraglich, ob die sofortige Meldung des Verdachts an die zuständige Veterinärbehörde für den Tierproduzenten vorteilhaft ist. Die Folgen der Meldung sind gravierend, wenn sich der Verdacht bewahrheitet. Zwar wird der Tierwert der notgeschlachteten Herde umfassend entschädigt. Eine Wiederbelegung ist jedoch erst nach einem gewissen Zeitraum gestattet, zum Beispiel frühestens 21 Tage (im Falle eines MKS-Ausbruchs) oder 30 Tage (im Fall eines KSP-Ausbruchs) nach Abschluss der Reinigungs- und Desinfektionsarbeiten in dem infizierten Betrieb.<sup>133</sup> Wenn eine umgehende Eindämmung der Seuche nicht gelingt, kann mit sehr viel längeren Restriktionszeiträumen gerechnet werden. Während der KSP-Epizootie in den Niederlanden 1997/98 stand die Produktion zum Beispiel in vielen Betrieben mehr als ein halbes Jahr unter Restriktionen.<sup>134</sup>

Die Verwendung der "direkten Kosten" als Bemessungsgrundlage für restriktionsbedingte Reaktionskosten führt fast zwangsläufig zu einer Über- oder Unterkompensation "indirekter Kosten", da nicht nur die Größe eines Betriebes, sondern auch die Dauer von Restriktionen ausschlaggebend für die Höhe restriktionsbedingter Reaktionskosten ist. Bei einer frühen Entdeckung eines Seuchenausbruchs kann es angesichts der meist fehlenden oder ungenügenden Kompensation "indirekter Kosten" zunächst individuell rational sein, erkrankte und vermutlich infizierte Tiere von der Herde zu trennen und zu beseitigen. Dadurch kann der Tierproduzent möglicherweise hohe restriktionsbedingte Reaktionskosten in Folge der offiziellen Seuchenbekämpfung vermeiden. Entschädigungshöchstsätze verstärken diesen Fehlanreiz, falls diese für einen hohen Anteil sehr wertvoller Tiere im primärinfizierten Betrieb greifen. Im Fall einer prävalenzunabhängigen Entschädigung, bei der verstorbene oder getötete Tiere ebenso entschädigt werden wie erkrankte und gesunde Tiere, ist die Nicht-Meldung sogar risikolos, wenn von einem positiven Zusammenhang zwischen der Prävalenzquote bei Meldung und der Restriktionsdauer für den einzelnen Betrieb abgesehen wird. Falls trotz der Isolation kranker und verdächtiger Tiere eine weitere Durchseuchung der Herde stattfindet, sind die Nettoreaktionskosten des Tierproduzenten bei einer prävalenzabhängigen Entschädigung zwar höher als nach sofortiger Meldung des Seuchenverdachts. Aufgrund von Entschädigungshöchstgrenzen und der Unterkompensation "indirekter Kosten" ist die Meldebedingung jedoch teilweise nicht erfüllt. Es besteht ein Fehlanreiz zur Unterlassung einer sofortigen Meldung von Seuchenverdachtsfällen.

Die meist sehr geringfügige Entschädigung "indirekter Kosten" impliziert relativ hohe Biosicherheitsanreize für individuelle Tierproduzenten, wie die Analyse des Tradeoffs zwischen verhaltensbasierter Prüfsorgfalt und Biosicherheit zeigt. Durch

---

<sup>133</sup>Vgl. Richtlinie 85/511/EWG, Artikel 5 und Richtlinie 80/217/EWG, Artikel 5 in Verbindung mit Richtlinie 84/645/EWG, Artikel 1.

<sup>134</sup>Vgl. Asseldonk et al. [2006], S. 116.

die in den EU-Ländern geleisteten Kompensationszahlungen für individuelle Reaktionskosten wird aber kein Optimum in diesem Tradeoff erzielt. Einen ersten Hinweis darauf gibt schon allein die Tatsache, dass zumeist keine seuchenspezifischen Entschädigungsfunktionen angewendet werden, obwohl das Optimum dieses Tradeoffs seuchenspezifisch ist. Zerlegt man die Kompensationen gedanklich in eine Summe aus Mindestentschädigung und Zusatzentschädigung, so wird klar, dass positive Zusatzentschädigungen - wenn überhaupt - tendenziell eher bei hohen Prävalenzquoten ausgezahlt werden, weil häufig sichtbar erkrankte und damit wertlose Tiere entschädigt werden. Gerade bei hohen Prävalenzquoten ist eine positive Zusatzentschädigung jedoch schädlich, da sie sowohl Fehlanreize zur Reduktion der verhaltensbasierten Biosicherheit, als auch Fehlanreize zur Reduktion der Prüfsorgfalt impliziert. Insbesondere im Hinblick auf exotische Tierseuchen ist davon auszugehen, dass die Entschädigungsfunktionen viel zu geringe Prüfsorgfaltsanreize setzen.

Die Analyse zeigt, dass die Regelungen zur Entschädigung hochinfektiöser Tierseuchen in den Mitgliedsländern der Europäischen Union ein erhebliches *Anreizproblem bei der frühzeitigen Meldung von Seuchenverdachtsfällen* hervorrufen. Teilweise ist die Meldebedingung nicht erfüllt, so dass es zum Versuch einer Vertuschung von Seuchenausbrüchen kommen kann. Zudem bestehen ungenügende Prüfsorgfaltsanreize, so dass der Ausbruch einer hochinfektiösen Tierseuche tendenziell zu spät gemeldet wird. Dies erhöht die Gefahr einer starken Seuchenausbreitung und katastrophaler ökonomischer Konsequenzen. Die Geschehnisse zu Beginn der KSP-Epizootie 1997/98 und der MKS-Epizootie 2001 geben empirische Hinweise darauf, dass ein Anreizproblem bei der frühzeitigen Meldung von Seuchenverdachtsfällen besteht. Eine epizootiologische Analyse des MKS-Ausbruchs 2001 in Großbritannien ergab, dass zwischen dem 26. Januar und dem 12. Februar 2001 erste Krankheitssymptome auf der Burnside Farm in Northumberland, dem wahrscheinlichen Indexfall dieser Epizootie, aufgetreten sein müssen. Es kam in diesem Zeitraum nicht zur Meldung eines Seuchenverdachts, wohl aber zu einem Abtransport von Tieren am 8. und 22. Februar. Der Seuchenausbruch auf der Burnside Farm wurde erst am 23. Februar durch Tracing nach Entdeckung der Primärinfektion ermittelt.<sup>135</sup> Die von einem Betrieb bei Paderborn ausgehende KSP-Epizootie 1997/98 breitete sich von den mit Abstand am stärksten betroffenen niederländischen Tierproduzenten unter anderem auch nach Spanien aus. Dort wurde erstmals am 14. April 1997 ein Seuchenverdachtsfall gemeldet, obwohl es starke Indizien dafür gibt, dass die Seucheneinschleppung in den spanischen Nutztierbestand schon im Februar 1997 stattfand.<sup>136</sup>

### 5.3.3 Fehlanreize zur Seuchenausbreitung

Die Antizipation hoher Selbstbehalte im Fall des Ausbruchs hochinfektiöser Tierseuchen impliziert, dass Tierproduzenten ein starkes Interesse an der Vermeidung

---

<sup>135</sup>Vgl. DEFRA [2002], S. 3.

<sup>136</sup>Vgl. Court of Auditors [2000], S. 15.

einer Seucheneinschleppung in ihren Bestand haben. Allerdings werden die Biosicherheitsanreize durch die unzureichende Entschädigung restriktionsbedingter Reaktionskosten genau dann erheblich geschwächt, wenn sie besonders wichtig sind. Zur Bekämpfung eines Seuchenausbruchs werden Schutz- und Überwachungszonen um die Seuchenausbruchsorte angelegt, weil dort von einer erhöhten Präsenz von Krankheitserregern auszugehen ist. Deshalb werden Transporte und Kontakte innerhalb dieser Zonen sowie nach außen so weit wie möglich unterbunden bzw. nur nach Erteilung einer Sondergenehmigung gestattet. Für die in den Restriktionszonen gelegenen Betriebe mit gesunden Herden entstehen dadurch restriktionsbedingte Reaktionskosten. Einerseits verursacht die Versorgung von Herden unter Restriktionen Mehrkosten im Vergleich zu den normalen Produktionskosten. Andererseits ist es möglich, dass der Wert der Herde täglich kleiner wird, wenn der optimale Verwertungszeitpunkt überschritten ist.<sup>137</sup>

In manchen EU-Ländern ist die Entschädigung "indirekter Kosten" an die Entstehung "direkter Kosten" gebunden. Dabei wird vernachlässigt, dass ein Großteil der restriktionsbedingten Reaktionskosten in den nicht infizierten Betrieben aus Schutz- und Überwachungszonen anfällt, die von Schlachtungen oft gar nicht betroffen sind. Sie besitzen demnach auch keine Entschädigungsansprüche. In anderen EU-Ländern besteht grundsätzlich keine systematische Entschädigung "indirekter Kosten". Die Einschleppung der Tierseuche in den eigenen Bestand ist aus Sicht eines Tierproduzenten, der sich in einer Schutz- oder Überwachungszone befindet, unter den meisten in den EU-Ländern geltenden Entschädigungssystemen vorteilhaft. Die Herde wird in diesem Fall notgeschlachtet, und der Herdenwert wird entschädigt. Der Produzent realisiert damit näherungsweise den aktuellen Herdenwert und muss nicht mehr den täglichen Wertverfall des Tierbestands hinnehmen. Zudem sind die in der Folgezeit anfallenden Betriebsunterbrechungskosten geringer als die Produktionskosten unter Restriktionen, da zum Beispiel Futterkosten entfallen und eventuell Personalkosten reduziert werden können.

Das Charakteristikum der Entschädigungssysteme in den EU-Ländern, eine umfangreiche Entschädigung von Tierverlusten mit einer geringfügigen Entschädigung von restriktionsbedingten Reaktionskosten zu vereinen, induziert *Fehlanreize zur Seuchenausbreitung*. Das Verhalten von Tierproduzenten ändert sich in Richtung einer Herbeiführung indirekter Kontakte ihrer Herde mit infizierten Herden.<sup>138</sup> Sie minimieren die Intensität der verhaltensbasierten Biosicherheit gerade in Situationen, in denen besonders hohe Biosicherheitsstandards effizient sind. Die in den EU-Ländern angewandten unsystematischen Kompensationsformen der ad hoc Hilfen und Marktstützungskäufe wirken diesen Fehlanreizen nur sehr schwach entgegen, da sie ex post spezifiziert werden und Tierhalter nur unsichere Erwartungen darüber bilden können, ob und in welcher Höhe diese Kompensationszahlungen fließen.

---

<sup>137</sup>Vgl. Niemi et al. [2004], S. 186.

<sup>138</sup>Vgl. Niemi et al. [2004], S. 186.

Auch für die Fehlanreize zur Seuchenausbreitung in Krisenzeiten gibt es empirische Hinweise. Lokale Behörden haben zum Beispiel während der MKS-Epizootie in Großbritannien bis Ende Juli 2001 mindestens 730 illegale Tierbewegungen von meist sehr kleinen Herden in Restriktionsgebieten ermittelt.<sup>139</sup> Dies zeigt, dass die Einhaltung von in Krisenzeiten effizienten, sehr hohen Biosicherheitsstandards nicht unbedingt im Interesse von Tierproduzenten liegt.

---

<sup>139</sup>Vgl. NAO [2002], S. 58.

## Kapitel 6

# Schlussbetrachtung

Die Analyse des effizienten Risikomanagements hochinfektiöser Tierseuchen offenbart die Notwendigkeit einer globalen Steuerung des Tierseuchen-Risikomanagements. Ein plausibles Zielkriterium ist die Minimierung der erwarteten Risikokosten. Welche Risikomanagementstrategie in diesem Sinne optimal ist, kann nur durch eine Analyse der epizootiologischen Dynamik in Abhängigkeit des Risikomanagements herausgefunden werden. Formal kann dies mit Hilfe der stochastischen Kontrolltheorie adäquat beschrieben werden. Das globale, wirtschaftlich-biologische System erweist sich jedoch als sehr komplex, so dass eine praktisch anwendbare Modellierung eine regionale Zerlegung des Systems erfordert. Das in dieser Arbeit entwickelte, epizootiologische Risikokostenmodell basiert daher auf regionalen Seucheneinschleppungs- und Seuchenausbreitungsmodellen, die aus der veterinärmedizinischen Forschung bekannt sind. Die Risikointerdependenzen werden über die Abhängigkeiten von Inputs und Outputs der regionalen Modelle abgebildet. Die Verknüpfung der Modelle zur Ableitung der vom Risikomanagement abhängigen, erwarteten globalen Risikokosten basiert auf dem Ansatz des kollektiven Risikomodells. Das epizootiologische Risikokostenmodell ermöglicht die Ermittlung einer optimalen Risikomanagementstrategie auf Basis einer heuristischen Vorgehensweise.

Die epizootiologische Risikokostenmodellierung dient der Ermittlung der effizienten Risikomanagementstrategie. Als konkrete Fragestellung sei beispielhaft die Risikomanagemententscheidung Stamping-Out versus Notimpfungen bei Ausbrüchen hochinfektiöser Tierseuchen genannt, die internationale Organisationen, Regierungen und Wirtschaft seit geraumer Zeit beschäftigt und bislang unbeantwortet geblieben ist.<sup>1</sup> Mit Hilfe der epizootiologischen Risikokostenmodellierung können die Konsequenzen dieser alternativen Seuchenbekämpfungstaktiken verglichen und optimale Notfallprogramme entwickelt werden, die in Abhängigkeit von risikorelevanten Faktoren wie der Tierdichte und der Produktionsintensität der betroffenen Region, der Eigenschaften des Krankheitserregers und den klimatischen Bedingungen zum Zeitpunkt des Seuchenausbruchs stehen. Auch handelspolitische Entscheidungen sollten

---

<sup>1</sup>Vgl. Scientific Committee on Animal Health and Animal Welfare [1999], S. 4 und Obi, Roeder und Geering [1999], Kapitel 3.

die Auswirkung der damit einhergehenden Veränderungen von Seucheneinschleppungswahrscheinlichkeiten auf das Tierseuchenrisiko berücksichtigen, was durch die epizootiologische Risikokostenmodellierung abgebildet wird.

Da die Maßnahmen des Risikomanagements hochinfektiöser Tierseuchen externe Effekte hervorrufen, muss neben der Ermittlung der effizienten Risikomanagementstrategie ihre Implementierung untersucht werden. Aus eigenem Kosten-Nutzen Kalkül setzen die Agenten second-best Standards der Risikomanagementmaßnahmen in ihrem Verantwortungsbereich um, so dass eine Kooperation der Agenten zur Implementierung der effizienten Risikomanagementstrategie notwendig ist. Eine internationale Organisation ist die effiziente Kooperationsform zwischen nationalen Veterinärbehörden. Abgesehen von bilateralen oder multilateralen Vereinbarungen weniger Staaten bestehen dazu auch keine Alternativen. Angesichts der Möglichkeit staatlicher Zwangsmaßnahmen liegen zur Implementierung effizienter Risikomanagementstandards im individuellen Bereich mehrere Alternativen vor. Darunter erweisen sich der Monopol-Pflichtversicherer sowie gesetzliche Vorschriften als sinnvolle Staatseingriffe zur Internalisierung der externen Effekte des individuellen Risikomanagements von Tierproduzenten.

Ein ernsthaftes Problem ergibt sich aus der Unbeobachtbarkeit, von der für einige individuelle Risikomanagementmaßnahmen ausgegangen werden muss. Die Umsetzung effizienter Standards kann bei unbeobachtbaren Maßnahmen nicht durch Internalisierungsansätze gewährleistet werden. Durch den Einsatz anreizkompatibler Mechanismen können jedoch die individuell optimalen, second-best Intensitäten unbeobachtbarer Maßnahmen gesteuert werden. Second-best Standards bestimmen sich unter anderem durch den Einfluss des unbeobachtbaren Risikomanagements auf die Wahrscheinlichkeiten des Eintritts epizootiologischer Ereignisse sowie durch deren Konsequenzen für den Tierproduzenten. Durch das Design der Entschädigungsfunktion des Monopol-Pflichtversicherers kann auf den für den Tierproduzenten relevanten Selbstbehalt der Reaktionskosten Einfluss genommen werden. Die anreizkompatible Ausgestaltung der Entschädigung individueller Reaktionskosten erweist sich als relativ komplex. Die immense Bedeutung der Meldung eines Seuchenverdachts erfordert eine von der Prävalenzquote abhängige Mindestentschädigung, die den Spielraum für die weitere Ausgestaltung der Entschädigungsfunktion zur Setzung von Anreizen stark einschränkt. Darüber hinaus erweisen sich die Zielsetzungen, gleichzeitig Prüfsorgfaltsanreize und Anreize für verhaltensbasierte Biosicherheit zu setzen, als konkurrierend: Prüfsorgfaltsanreize werden durch negative Selbstbehalte bzw. durch Meldeprämien im Bereich geringer Prävalenzquoten gesetzt, wohingegen Anreize für verhaltensbasierte Biosicherheit signifikante Selbstbehalte erfordern, die von der Prävalenzquote unabhängig sind.

Die unbeobachtbaren Risikomanagementmaßnahmen werden in der epizootiologischen Risikokostenmodellierung über ihren Effekt auf Inputparameter wie die Verteilung der Länge der  $HRP_1$  und betriebliche Seucheneinschleppungswahrschein-

lichkeiten abgebildet. Der über die Höhe des Budgets für erwartete Zusatzentschädigungen steuerbare Tradeoff zwischen Prüfsorgfalt und Biosicherheit kann aber nur näherungsweise erfasst werden. Der Versuch einer Berücksichtigung interpersoneller Differenzen, zum Beispiel aufgrund von unterschiedlichen Nutzenfunktionen, würde einen unverhältnismäßig hohen Aufwand nach sich ziehen. Die anreizkompatible Entschädigung implementiert effiziente Standards der Prüfsorgfalt und der verhaltensbasierten Biosicherheit unter Berücksichtigung des ex ante-ex post Anreizkonflikts. Die optimale Entschädigung zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:

- Die optimale Entschädigung für primärinfizierte Betriebe beinhaltet bei geringen Prävalenzquoten umso eher Meldeprämien, je bedeutsamer die Prüfsorgfalt im Vergleich zur verhaltensbasierten Biosicherheit ist
- Die optimale Entschädigung für primärinfizierte Betriebe verläuft tendenziell umso flacher, je bedeutender die verhaltensbasierte Biosicherheit im Vergleich zur Prüfsorgfalt ist
- Die optimale Entschädigung für primärinfizierte Betriebe verläuft tendenziell umso steiler, je stärker der Zusammenhang zwischen Prüfsorgfalt und Prävalenzquote ist
- Die optimale Entschädigung für sekundärinfizierte Betriebe, die unmittelbar nach Bekanntwerden des Seuchenausbruchs aufgrund von möglichen Kontakten zum primärinfizierten Betrieb überprüft werden, entspricht der optimalen Entschädigung für primärinfizierte Betriebe, wobei gegebenenfalls eine Kapung der Meldeprämie bei einem Selbstbehalt von null stattfindet
- Die optimale Entschädigung für alle weiteren sekundärinfizierten Betriebe eines Seuchenausbruchs ergibt sich aus einer Abflachung der Entschädigungsfunktion für primärinfizierte Betriebe
- Die Reaktionskosten von Betrieben mit gesunden Herden werden voll entschädigt

Sowohl die Finanzierung, als auch die Entschädigung der Risikokosten hochinfektiöser Tierseuchen in der Europäischen Union rufen Ineffizienzen hervor. Die Finanzierung induziert eine mit den erwarteten Risikokosten eines Betriebes bzw. einer Region steigende Subventionierung der Tierproduktion. Dies ist statisch und dynamisch ineffizient, denn die Subventionierung verursacht intersektorale Verzerrungen und bewirkt langfristig die Entstehung zu risikoreicher Produktionsstrukturen. Die Entschädigung ist nicht anreizkompatibel und erschwert die Eindämmung von Ausbrüchen hochinfektiöser Tierseuchen. Auch in anderen Industrieländern findet eine Subventionierung der Risikokosten hochinfektiöser Tierseuchen statt, die aber zu-

meist nicht das Ausmaß wie in vielen Ländern der Europäischen Union erreicht.<sup>2</sup> Die ineffiziente Finanzierung und Kompensation von Risikokosten in Industrieländern verhindert die Implementierung des effizienten Risikomanagements hochinfektiöser Tierseuchen. In Entwicklungsländern kommen noch viel grundlegendere Probleme hinzu: Teilweise existieren keine ausreichenden Daten zu regionalen Tierbeständen sowie eine effektive veterinärmedizinische Infrastruktur, die die Umsetzung kollektiver Präventions- und Reaktionsmaßnahmen überhaupt erst ermöglichen.<sup>3</sup>

Die Komplexität des durch Präventions- und Reaktionsmaßnahmen zu kontrollierenden Tierproduktionssystems ist sehr hoch. Eine als gemeinsame Informationsgrundlage akzeptierte, globale Risikokostenmodellierung ist deshalb eine Grundvoraussetzung aller Anstrengungen zur Implementierung der effizienten Risikomanagementstrategie. Aufgrund der ausgeprägten Externalitätenproblematik und der Informationsprobleme stellt die Implementierung des effizienten Risikomanagements zudem politische Herausforderungen auf internationaler sowie auf innenpolitischer Ebene. Die Bedeutung einer globalen Steuerung des Risikos hochinfektiöser Tierseuchen nimmt angesichts der insbesondere in Schwellenländern ansteigenden und durch Handel immer stärker interregional vernetzten Tierproduktion weiter zu. Vor dem Hintergrund entwicklungspolitischer Ziele wie dem Kampf gegen Unternährung und dem Wunsch nach einer von freiem Handel und freier Mobilität geprägten Welt sind Effizienzsteigerungen im Risikomanagement hochinfektiöser Tierseuchen unbedingt notwendig.

---

<sup>2</sup>Vgl. zum Beispiel Adams [2005] für Australien und Grannis et al. [2004], S. 2 für die USA.

<sup>3</sup>Vgl. Fraser [2008], S. 334, Riviere-Cinamon [2005], S. 19 für Vietnam und Le Brun und Fermet-Quinet [2006], S. 6 für Niger.

## Anhang A

# Ausmaß eines Seuchenzuges im SIR-Modell

Das einfache SIR-Modell wird durch die folgenden Gleichungen vollständig beschrieben:

$$\frac{dS(t)}{dt} = -\beta \cdot I(t) \cdot S(t) \quad (\text{A.1})$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = \beta \cdot I(t) \cdot S(t) - \alpha \cdot I(t) \quad (\text{A.2})$$

Aus den Gleichungen (A.1) und (A.2) erhalten wir:

$$\frac{dI}{dS} = -\frac{(\beta \cdot S - \alpha) \cdot I}{\beta \cdot S \cdot I} = -1 + \frac{\alpha}{\beta \cdot S}$$

Diese Gleichung wird integriert, erweitert und umgeformt:<sup>1</sup>

$$\int \frac{dI}{dt} dt = - \int \frac{dS}{dt} dt + \frac{\alpha}{\beta} \cdot \int \frac{1}{S} dS$$

$$I + c_1 = -S + c_2 + \frac{\alpha}{\beta} \cdot \ln S + c_3$$

Wir erhalten einen konstanten, also zeitunabhängigen Ausdruck von  $S$  und  $I$ , in dem die Integrationskonstanten  $c_1$ ,  $c_2$  und  $c_3$  zu einer Konstanten  $c$  zusammengefasst sind. Unter anderem gilt:

$$I(\infty) + S(\infty) - \frac{\alpha}{\beta} \cdot \ln S(\infty) = I(-\infty) + S(-\infty) - \frac{\alpha}{\beta} \cdot \ln S(-\infty) = c \quad (\text{A.3})$$

Da das reduzierte dynamische System (A.1), (A.2) in  $t > 0$  im Gleichgewicht die Bedingung  $I = 0$  erfüllen muss, gilt  $I(\infty) = 0$ . Vor der Erstinfektion ist die gesamte

---

<sup>1</sup>Vgl. Murray [1989], S. 613 f.

Population empfänglich, das heißt  $S(-\infty) = N$  und  $I(-\infty) = 0$ . Einsetzen dieser Werte in (A.3) ergibt:<sup>2</sup>

$$S(\infty) - \frac{\alpha}{\beta} \cdot \ln S(\infty) = N - \frac{\alpha}{\beta} \cdot \ln N$$

Nach einigen Umformungen erhalten wir:

$$\ln \frac{S(\infty)}{N} = \frac{N \cdot \beta}{\alpha} \cdot \left( \frac{S(\infty)}{N} - 1 \right) \approx R_0 \cdot \left( \frac{S(\infty)}{N} - 1 \right) \quad (\text{A.4})$$

Im letzten Gleichungsschritt wurde die Basis-Reproduktionsrate für den Ausdruck vor der Klammer eingesetzt. Dabei wird unterstellt, dass näherungsweise  $S(0) = N$  gilt, also dass die Erstinfektion einen vernachlässigbar geringen Anteil der Population betrifft, was bei der Untersuchung hochinfektiöser Tierseuchen realistisch erscheint.

Die letzte Gleichung zeigt, dass der Anteil der empfänglichen Population in  $t = \infty$  von der Basis-Reproduktionsrate anhängig ist. Wir bezeichnen diesen Anteil mit  $s$ . Von Interesse ist, wie groß dieser Anteil im Gleichgewicht in  $t = \infty$  für den Fall  $R_0 > 1$  ist. Der Anteil  $s$  entspricht der Nullstelle der Hilfsfunktion  $h(s)$ :<sup>3</sup>

$$h(s) = \ln s - R_0 \cdot (s - 1)$$

Die Hilfsfunktion  $h(s)$  ist eine stetige, auf positive reelle Zahlen definierte Funktion. Offensichtlich ist  $h(1) = 0$  eine im Fall von  $R_0 > 1$  irrelevante Lösung.

Es gilt:  $h_s(1) < 0$ ,  $h_{ss} < 0$  und  $h(s) \rightarrow -\infty$  für  $s \rightarrow 0^+$ . Die Funktion  $h(s)$  hat also eine weitere Nullstelle im Intervall  $]0, 1[$ . Um diese Nullstelle zu bestimmen, wenden wir die Exponentialfunktion auf (A.4) an und erhalten:

$$s = e^{R_0 \cdot s} \cdot e^{-R_0} \quad (\text{A.5})$$

Unter der Annahme, dass  $R_0 \cdot s \rightarrow 0$  für  $R_0 \rightarrow \infty$  erhalten wir folgenden Grenzwert:

$$\lim_{R_0 \rightarrow \infty} s = e^{-R_0} = 0$$

Die Annahme, dass  $R_0 \cdot s \rightarrow 0$  für  $R_0 \rightarrow \infty$  ist gerechtfertigt, denn (A.5) lässt sich nach Multiplikation beider Seiten mit  $R_0 \cdot e^{-R_0 \cdot s}$  und unter Verwendung des Symbols  $\xi := R_0 \cdot s$  schreiben als:

$$\xi \cdot e^{-\xi} = R_0 \cdot e^{-R_0}$$

Wir verwenden die Hilfsfunktion  $h(\xi)$  und halten fest:

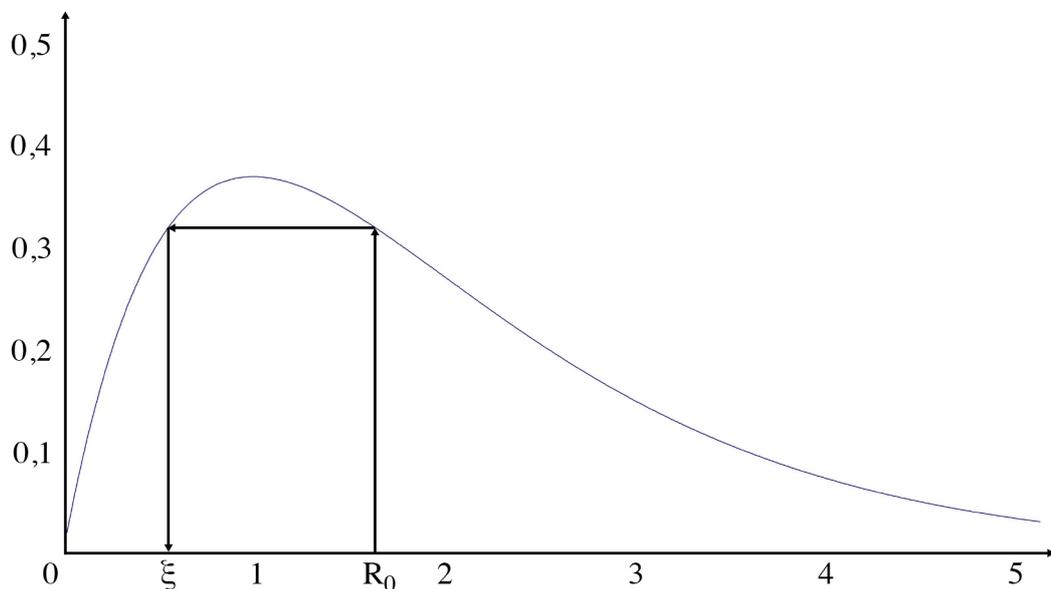
<sup>2</sup>Vgl. Diekmann und Heesterbeek [2000], S. 183.

<sup>3</sup>Vgl. Diekmann und Heesterbeek [2000], S. 181.

$$h(\xi) = h(R_0)$$

Die Gleichung (A.5) gibt den Zusammenhang zwischen  $R_0$  und  $s$  an, womit auch die Beziehung zwischen  $R_0$  und  $\xi$  festgelegt ist. Zu einem gegebenen  $R_0$  gehört genau das  $\xi$ , bei dem die Funktionswerte von  $h$  an den Stellen  $R_0$  und  $\xi$  übereinstimmen. Die Hilfsfunktion  $h(\xi)$  ist stetig und hat im Bereich  $\xi > 0$  ein Maximum bei  $\xi = 1$ . Es gilt zudem  $h_\xi > 0$  für  $\xi \in [0, 1]$  und  $h_\xi < 0$  für  $\xi > 1$ . Folglich kann jedem  $R_0 > 1$  ein  $\xi < R_0$  zugeordnet werden, für das die Funktionswerte von  $h$  an den Stellen  $R_0$  und  $\xi$  übereinstimmen. Dies wird anhand der Abbildung A.1 veranschaulicht, die den Verlauf der Funktion  $h(\xi)$  zeigt.<sup>4</sup>

Abbildung A.1: Verlauf der Hilfsfunktion  $h(\xi)$



Da  $\xi$  dem Ausdruck  $R_0 \cdot s$  entspricht, ist die Annahme  $R_0 \cdot s \rightarrow 0$  für  $R_0 \rightarrow \infty$  zutreffend und obige Grenzwertaussage richtig.

Nun wollen wir noch den Anteil  $s$  für  $R_0 \rightarrow 1^+$  ermitteln. Unter Verwendung des Symbols  $s$  und nach Ersetzen von  $s - 1$  durch  $\theta$  können wir (A.4) schreiben als:<sup>5</sup>

$$\ln(\theta + 1) = R_0 \cdot \theta$$

Wir approximieren die Funktion  $\ln(\theta + 1)$  durch das zweite Taylorpolynom<sup>6</sup> um die Stelle  $\theta = 0$  und erhalten:

<sup>4</sup>Vgl. Diekmann und Heesterbeek [2000], S. 182.

<sup>5</sup>Vgl. Diekmann und Heesterbeek [2000], S. 181.

<sup>6</sup>Vgl. Diekmann und Heesterbeek [2000], S. 181 f. zur Rechtfertigung des Abbruchs der Approximation nach dem zweiten Polynom.

$$\ln(\theta + 1) = \theta - \frac{1}{2} \cdot \theta^2$$

Unter Verwendung dieser Approximation und Rückführung von  $\theta$  zu  $s-1$  beträgt der Anteil der empfänglichen Subpopulation in  $t = \infty$ :

$$s = 1 - 2 \cdot (R_0 - 1)$$

Nach Multiplikation mit  $N$  erhalten wir den in Abschnitt 2.2 angegebenen Grenzwert für die Größe der empfänglichen Subpopulation  $S$  in  $t = \infty$  für  $R_0 \rightarrow 1^+$ .

## Anhang B

# Mathematischer Anhang zur Analyse des moralischen Risikos

### B.1 Zulässigkeit des First-Order Ansatzes

#### Teil I: Bedingung erster Ordnung (5.4)

Angesichts der Annahmen zum Verlauf von  $u^p$  ist der First-Order Ansatz zulässig, wenn das Integral  $\int_0^1 u^w(w_0 - x^R(y; \psi_m^0)) \cdot f(y, \psi_p) dy$  aus Gleichung (5.3) konkav in  $\psi_p$  ist.<sup>1</sup> Wir leiten dieses Integral zunächst nach  $\psi_p$  ab und führen eine partielle Integration durch:<sup>2</sup>

$$\int_0^1 u^w \cdot f_{\psi_p}(y, \psi_p) dy = [u^w \cdot F_{\psi_p}(y, \psi_p)]_0^1 - \int_0^1 u_w^w \cdot \frac{\delta w}{\delta y} \cdot F_{\psi_p}(y, \psi_p) dy$$

Da die Prüfsorgfalt die möglichen Prävalenzquoten nicht verändert, ist  $F_{\psi_p}(0, \psi_p) = F_{\psi_p}(1, \psi_p) = 0$ . Folglich gilt:

$$\int_0^1 u^w \cdot f_{\psi_p}(y, \psi_p) dy = - \int_0^1 u_w^w \cdot \left( - \frac{\delta x^R(y; \psi_m^0)}{\delta y} \right) \cdot F_{\psi_p}(y, \psi_p) dy > 0$$

Da der Grenznutzen des Vermögens sowie die marginale Veränderung der Reaktionskosten bei steigender Prävalenzquote positiv sind, ist die marginale Veränderung des erwarteten Vermögensnutzens bei Erhöhung der Prüfsorgfalt unter den Annahmen  $F_{\psi_p}(y, \psi_p) > 0$  für  $y \in ]0; 1[$  und  $F_{\psi_p}(0, \psi_p) = F_{\psi_p}(1, \psi_p) = 0$  positiv. Die Bedingung abnehmender stochastischer Grenzerträge,  $F_{\psi_p \psi_p}(y, \psi_p) < 0$ , garantiert somit die Konkavität des Integrals aus Gleichung (5.3) in  $\psi_p$  und damit die Zulässigkeit des First-Order Ansatzes.

<sup>1</sup>Vgl. Bender [2002], S. 111-114. Der konstante Multiplikator  $(1 - p^0)$  vor dem Integral kann unterschlagen werden.

<sup>2</sup>Vgl. Königsberger [1995], S. 217. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden die abhängigen Variablen in der Funktion  $u^w$  nicht dargestellt.

## Teil II: Bedingung erster Ordnung (5.5)

Angesichts der Annahmen zum Verlauf von  $u^p$  ist der First-Order Ansatz zulässig, wenn das um die Zusatzentschädigung  $E^+(y)$  ergänzte Integral aus Gleichung (5.3),  $\int_0^1 u^w (w_0 - x^R(y; \psi_m^0) + E^+(y)) \cdot f(y, \psi_p) dy$ , konkav in  $\psi_p$  ist.<sup>3</sup> Wir leiten dieses Integral zunächst nach  $\psi_p$  ab und führen eine partielle Integration durch:<sup>4</sup> Unter Berücksichtigung von  $F_{\psi_p}(0, \psi_p) = F_{\psi_p}(1, \psi_p) = 0$  und  $\frac{\delta w}{\delta y} = -\frac{dx^R(y; \psi_m^0)}{dy} + \frac{dE^+(y)}{dy}$  erhalten wir folgenden Ausdruck:

$$\int_0^1 u^w \cdot f_{\psi_p}(y, \psi_p) dy = - \int_0^1 u_w^w \cdot \left( -\frac{dx^R(y; \psi_m^0)}{dy} + \frac{dE^+(y)}{dy} \right) \cdot F_{\psi_p}(y, \psi_p) dy$$

Die Zulässigkeit des First-Order Ansatzes ist unter den getroffenen Annahmen  $F_{\psi_p}(0, \psi_p) = F_{\psi_p}(1, \psi_p) = 0$ , der regelmäßigen Wirkung sowie der abnehmenden stochastischen Grenzerträge der Prüfsorgfalt auch bei Berücksichtigung der Zusatzentschädigung  $E^+(y)$  gewährleistet, wenn  $-\frac{dx^R(y; \psi_m^0)}{dy} + \frac{dE^+(y)}{dy} < 0$  erfüllt ist.

---

<sup>3</sup>Der konstante Multiplikator  $(1 - p^0)$  vor dem Integral wird wieder unterschlagen.

<sup>4</sup>Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden die abhängigen Variablen in der Funktion  $u^w$  nicht dargestellt.

## B.2 Überprüfung bindender Nebenbedingung

Die Lagrange-Funktion zur Ableitung der optimalen Entschädigungsfunktion, die eine frühzeitige Meldung von Seuchenverdachtsfällen bewirkt, lautet:

$$L = (1 - p^0) \cdot \int_0^1 u^w \cdot f_{\psi_p} dy - \lambda_p \cdot \left( (1 - p^0) \cdot \int_0^1 u^w \cdot f_{\psi_p} dy - u_{\psi_p}^p \right) + \lambda_+ \cdot \left( E^{+B} - (1 - p^0) \cdot \int_0^1 E^+ \cdot f dy \right) \quad (\text{B.1})$$

Es ist zu zeigen, dass die Bedingung erster Ordnung der individuell optimalen Prüfsorgfalt bindend ist und  $\lambda_p > 0$  gilt. Nullsetzen der partiellen Ableitung der Lagrange-Funktion (B.1) nach der Prüfsorgfalt liefert folgenden Ausdruck:

$$\begin{aligned} & (1 - p^0) \cdot \int_0^1 u^w(w_0 - x^R(y; \psi_m^0) + E^+(y)) \cdot f_{\psi_p \psi_p}(y, \psi_p) dy \\ - \lambda_p \cdot & \left( (1 - p^0) \cdot \int_0^1 u^w(w_0 - x^R(y; \psi_m^0) + E^+(y)) \cdot f_{\psi_p \psi_p}(y, \psi_p) dy - u_{\psi_p \psi_p}^p(\psi_p) \right) \\ & - \lambda_+ \cdot (1 - p^0) \cdot \int_0^1 E^+(y) \cdot f_{\psi_p}(y, \psi_p) dy = 0 \end{aligned} \quad (\text{B.2})$$

Die partielle Ableitung der Lagrange-Funktion nach dem Multiplikator  $\lambda_+$  entspricht der Budgetbegrenzung für den Erwartungswert der Zusatzentschädigung:

$$(1 - p^0) \cdot \int_0^1 E^+(y) \cdot f(y, \psi_p) dy = E^{+B} \quad (\text{B.3})$$

$E^{+B}$  ist exogen gegeben, so dass die Ableitung von (B.3) nach  $\psi_p$  gleich null ist. Daher fällt der dritte Summand von (B.2) weg. Der Klammerausdruck im zweiten Summand von (B.2) entspricht der Bedingung zweiter Ordnung der Wahl des individuell optimalen Prüfsorgfaltsstandards durch den Tierproduzenten. Da wir die Anwendbarkeit des First-Order Ansatzes für dieses Optimierungsproblem gewährleistet haben, gilt im Optimum  $(1 - p^0) \cdot \int_0^1 u^w \cdot f_{\psi_p \psi_p} dy - u_{\psi_p \psi_p}^p < 0$ . Auch der erste Summand von (B.2) ist aufgrund von  $F_{\psi_p \psi_p} < 0$  negativ, wie in Teil II von Anhang B.1 gezeigt wurde. Folglich gilt  $\lambda_p > 0$ . Ferner gilt  $\lambda_p < 1$ , da der zweite Summand in (B.2) den ersten Summanden betragsmäßig übersteigt.

### B.3 Verlauf der optimalen Zusatzentschädigung

Punktweise Maximierung der Lagrange-Funktion ergibt die Optimalbedingung (B.4):

$$u_w^w = \frac{\lambda_+}{\frac{f_{\psi_p}}{f} \cdot (1 - \lambda_p)} \quad (\text{B.4})$$

Aus dieser Bedingung lassen sich Informationen über den Verlauf der optimalen Entschädigung bzw. den Verlauf des optimalen Selbstbehalts gewinnen. Zunächst leiten wir (B.4) nach  $y$  ab. Es gilt:

$$u_{ww}^w \cdot \left( -\frac{dx^R(y; \psi_m^0)}{dy} + \frac{dE^+(y)}{dy} \right) = -\lambda_+ \cdot \left( \frac{f_{\psi_p}}{f} \cdot (1 - \lambda_p) \right)^{-2} \cdot \frac{d\frac{f_{\psi_p}}{f}}{dy} \cdot (1 - \lambda_p)$$

Dieser Ausdruck wird umgeformt:

$$\frac{dx^R(y; \psi_m^0)}{dy} - \frac{dE^+(y)}{dy} = \lambda_+ \cdot \frac{1}{u_{ww}^w} \cdot \frac{d\frac{f_{\psi_p}}{f}}{dy} \cdot (1 - \lambda_p) \cdot \left( \frac{f_{\psi_p}}{f} \cdot (1 - \lambda_p) \right)^2$$

Die Funktion  $x^S(y)$  bezeichne den von der Prävalenzquote abhängigen Selbstbehalt, das heißt  $x^S(y) := x^R(y; \psi_m^0) - E^+(y)$ . Unter Verwendung von (B.4) lässt sich die Steigung des optimalen Selbstbehalts,  $\frac{dx^{S^*}(y)}{dy}$ , gemäß folgender Gleichung darstellen:

$$\frac{dx^{S^*}(y)}{dy} = \frac{d\frac{f_{\psi_p}}{f}}{dy} \cdot \frac{u_w^w}{u_{ww}^w}$$

## B.4 Überprüfung auf Konkavität

Es ist zu zeigen, dass der Grenznutzen des Vermögens bei Erhöhung der verhaltensbasierten Biosicherheit unter Gültigkeit von  $u^w(w_0) \geq \int_0^1 u^w \cdot f dy$  konkav in  $\psi_b$  ist. Der Erwartungsnutzen des Vermögens lautet:

$$\mathbb{E}[u^w] = p^0(\psi_b) \cdot u^w(w_0) + (1 - p^0(\psi_b)) \cdot \int_0^1 u^w(w_0 - x^R(y; \psi_m^0) + E^+(y)) \cdot f(y, \psi_p) dy$$

Ableiten nach  $\psi_b$  liefert folgenden Ausdruck:

$$\frac{\delta \mathbb{E}[u^w]}{\delta \psi_b} = p_{\psi_b}^0(\psi_b) \cdot \left( u^w(w_0) - \int_0^1 u^w(w_0 - x^R(y; \psi_m^0) + E^+(y)) \cdot f(y, \psi_p) dy \right)$$

Ableiten von  $\frac{\delta \mathbb{E}[u]}{\delta \psi_b}$  nach  $\psi_b$  liefert folgenden Ausdruck:

$$\frac{\delta \mathbb{E}[u]}{\delta \psi_b \delta \psi_b} = p_{\psi_b \psi_b}^0(\psi_b) \cdot \left( u^w(w_0) - \int_0^1 u^w(w_0 - x^R(y; \psi_m^0) + E^+(y)) \cdot f(y, \psi_p) dy \right)$$

Sofern  $u^w(w_0) \geq \int_0^1 u^w \cdot f dy$  gilt, stellen die Annahmen positiver und abnehmender Grenzerträge der verhaltensbasierten Biosicherheit somit sicher, dass der Grenznutzen des Vermögens konkav und steigend in  $\psi_b$  ist.

## B.5 Überprüfung bindender Nebenbedingungen

Die Lagrange-Funktion zur Ableitung der optimalen Entschädigungsfunktion, die eine frühzeitige Meldung von Seuchenverdachtsfällen bewirkt, lautet:

$$L = (1 - p^0) \cdot \int_0^1 u^w \cdot f_{\psi_p} dy - \lambda_p \cdot \left( (1 - p^0) \cdot \int_0^1 u^w \cdot f_{\psi_p} dy - u_{\psi_p}^p \right) - \lambda_b \cdot \left( p_{\psi_b}^0 \cdot u^w(w_0) - p_{\psi_b}^0 \cdot \int_0^1 u^w \cdot f dy - u_{\psi_b}^b \right) + \lambda_+ \cdot \left( E^{+B} - (1 - p^0) \cdot \int_0^1 E^+ \cdot f dy \right)$$

Es ist zu zeigen, dass die mit den Lagrange-Multiplikatoren  $\lambda_p$  und  $\lambda_b$  versehenen Nebenbedingungen bindend sind. Ableiten der Lagrange-Funktion nach  $\psi_b$  und Nullsetzen liefert folgenden Ausdruck:

$$\frac{\delta L}{\delta \psi_b} = -p_{\psi_b}^0 \cdot \int_0^1 u^w \cdot f_{\psi_p} dy + \lambda_p \cdot p_{\psi_b}^0 \cdot \int_0^1 u^w \cdot f_{\psi_p} dy - \lambda_b \cdot \left( p_{\psi_b \psi_b}^0 \cdot u^w(w_0) - p_{\psi_b \psi_b}^0 \cdot \int_0^1 u^w \cdot f dy - u_{\psi_b \psi_b}^b \right) + \lambda_+ \cdot p_{\psi_b}^0 \cdot \int_0^1 E^+ \cdot f dy = 0 \quad (\text{B.5})$$

Ableiten der Lagrange-Funktion nach  $\psi_p$  und Nullsetzen liefert folgenden Ausdruck:

$$\frac{\delta L}{\delta \psi_p} = (1 - p^0) \cdot \int_0^1 u^w \cdot f_{\psi_p \psi_p} dy - \lambda_p \cdot \left( (1 - p^0) \cdot \int_0^1 u^w \cdot f_{\psi_p \psi_p} dy - u_{\psi_p \psi_p}^p \right) + \lambda_b \cdot p_{\psi_b}^0 \cdot \int_0^1 u^w \cdot f_{\psi_p} dy - \lambda_+ \cdot (1 - p^0) \cdot \int_0^1 E^+ \cdot f_{\psi_p} dy = 0 \quad (\text{B.6})$$

Durch Ableiten der Lagrange-Funktion nach  $\lambda_+$  und Nullsetzen erhält man die Budgetbedingung  $E^{+B} = (1 - p^0) \cdot \int_0^1 E^+ \cdot f dy$ , die im vorliegenden Optimierungsproblem die Funktion einer Mindestbiosicherheitsbedingung erfüllt. Das Budget  $E^{+B}$  ist exogen gegeben und verändert sich nicht bei Variationen von  $\psi_p$  oder  $\psi_b$ , so dass jeweils die letzten Summanden der Gleichungen (B.5) und (B.6) null sind.

Der Klammerausdruck im dritten Summand der Bedingung (B.5) stellt die Bedingung zweiter Ordnung der Wahl des individuell optimalen Biosicherheitsstandards dar. Wir kürzen diesen Bestandteil im Folgenden mit dem Symbol  $BZO_{\psi_b}$  ab. In Anhang B.4 wurde gezeigt, dass  $BZO_{\psi_b} < 0$  gilt, wenn die Bedingung  $u^w(w_0) \geq \int_0^1 u^w(w_0 - x^R(y; \psi_m^0) + E^+(y)) \cdot f(y, \psi_p) dy$  erfüllt ist. Dies haben wir durch die Beschränkung  $E^{+B} \leq E^{MAX}$  sicher gestellt. Gleichung (B.5) verkürzt sich damit zu (B.7):

$$-p_{\psi_b}^0 \cdot \int_0^1 u^w \cdot f_{\psi_p} dy + \lambda_p \cdot p_{\psi_b}^0 \cdot \int_0^1 u^w \cdot f_{\psi_p} dy - \lambda_b \cdot BZO_{\psi_b} = 0 \quad (\text{B.7})$$

(B.7) kann nach  $\lambda_b$  aufgelöst werden. Wir erhalten dadurch Gleichung (B.8):

$$\lambda_b = -\frac{p_{\psi_b}^0 \cdot \int_0^1 u^w \cdot f_{\psi_p} dy}{BZO_{\psi_b}} + \lambda_p \cdot \frac{p_{\psi_b}^0 \cdot \int_0^1 u^w \cdot f_{\psi_p} dy}{BZO_{\psi_b}} \quad (\text{B.8})$$

Der Klammerausdruck im zweiten Summand der Bedingung (B.6) stellt die Bedingung zweiter Ordnung der Wahl des individuell optimalen Prüfsorgfaltsstandards dar. Wir kürzen dieses Bestandteil im Folgenden mit dem Symbol  $BZO_{\psi_p}$  ab. In Anhang B.1 wurde gezeigt, dass  $BZO_{\psi_p} < 0$  gilt, wenn die Bedingung  $-\frac{dx^R(y;\psi_m^0)}{dy} + \frac{dE^+(y)}{dy} < 0$  erfüllt ist. Davon werden wir im Folgenden ausgehen. Gleichung (B.5) verkürzt sich somit zu (B.9):

$$(1 - p^0) \cdot \int_0^1 u^w \cdot f_{\psi_p \psi_p} dy - \lambda_p \cdot BZO_{\psi_p} + \lambda_b \cdot p_{\psi_b}^0 \cdot \int_0^1 u^w \cdot f_{\psi_p} dy = 0 \quad (\text{B.9})$$

(B.9) kann nach  $\lambda_b$  aufgelöst werden. Wir erhalten den Ausdruck (B.10):

$$\lambda_b = -\frac{(1 - p^0) \cdot \int_0^1 u^w \cdot f_{\psi_p \psi_p} dy}{p_{\psi_b}^0 \cdot \int_0^1 u^w \cdot f_{\psi_p} dy} + \lambda_p \cdot \frac{BZO_{\psi_p}}{p_{\psi_b}^0 \cdot \int_0^1 u^w \cdot f_{\psi_p} dy} \quad (\text{B.10})$$

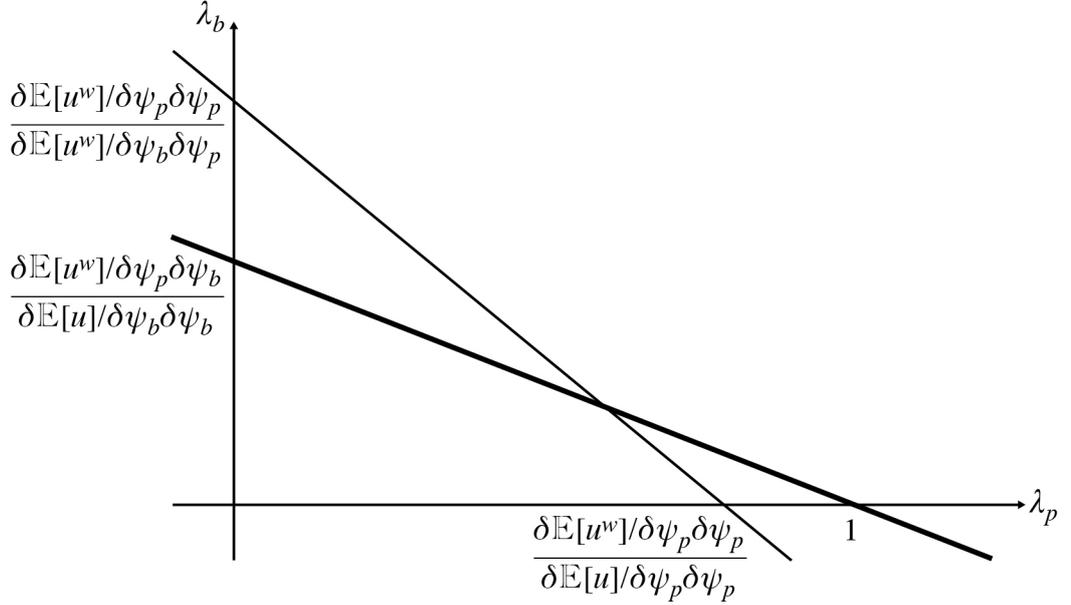
Die Gleichungen (B.8) und (B.10) stellen Geradengleichungen dar. Sie geben den Wert des Parameters  $\lambda_b$  in Abhängigkeit des Werts des Parameters  $\lambda_p$  an, bei denen die Lagrange-Bedingungen (B.5) bzw. (B.6) erfüllt sind. Im Schnittpunkt dieser Geraden sind demzufolge beide Lagrange-Bedingungen simultan erfüllt.

Wir untersuchen zunächst die Bedingung (B.8). Der erste Term gibt den Achsenabschnitt auf der Ordinate eines kartesischen Koordinatensystems an. Bei  $\lambda_p = 0$  gilt folglich  $\lambda_b = -\frac{p_{\psi_b}^0 \cdot \int_0^1 u^w \cdot f_{\psi_p} dy}{BZO_{\psi_b}} = \frac{\delta \mathbb{E}[u^w] / \delta \psi_p \delta \psi_b}{\delta \mathbb{E}[u] / \delta \psi_b \delta \psi_b} > 0$ . Bei zunehmendem  $\lambda_p$  fällt  $\lambda_b$  und schneidet die Abszisse beim Wert 1. Man erhält diesen Wert durch Nullsetzen von (B.8) und Auflösen nach  $\lambda_p$ . Die fettgedruckte Linie in Abbildung B.1 zeigt die Geradengleichung (B.8).

Nun wenden wir uns Bedingung (B.10) zu. Nullsetzen und Auflösen nach  $\lambda_p$  liefert den Achsenabschnitt der Abszisse. Wir erhalten bei  $\lambda_b = 0$  demzufolge  $\lambda_p = \frac{(1-p^0) \cdot \int_0^1 u^w \cdot f_{\psi_p \psi_p} dy}{BZO_{\psi_p}} = \frac{\delta \mathbb{E}[u^w] / \delta \psi_p \delta \psi_p}{\delta \mathbb{E}[u] / \delta \psi_p \delta \psi_p} > 0$ . Die zweite Ableitung des Vermögensnutzens nach der Prüfsorgfalt unterscheidet sich von der zweiten Ableitung des Nutzens nach der Prüfsorgfalt durch den Term  $-u_{\psi_p \psi_p}^p < 0$  in letzterer. Da beide Ableitungen negativ sind, gilt  $\frac{\delta \mathbb{E}[u^w] / \delta \psi_p \delta \psi_p}{\delta \mathbb{E}[u] / \delta \psi_p \delta \psi_p} < 1$ . Gerade (B.10) schneidet die Abszisse damit links von Gerade (B.8).

Ein Schnittpunkt der Geraden (B.10) und (B.8) im ersten Quadranten des Koordinatensystems bzw. die Parameterwerte  $\lambda_b > 0$  und  $0 < \lambda_p < 1$  sind garan-

Abbildung B.1: Werte der Lagrange-Parameter  $\lambda_b$  und  $\lambda_p$



tiert, wenn der Ordinatenabschnitt von (B.10), der Wert  $-\frac{(1-p^0) \cdot \int_0^1 u^w \cdot f_{\psi_p \psi_p} dy}{p_{\psi_b}^0 \cdot \int_0^1 u^w \cdot f_{\psi_p} dy} =$   
 $\frac{\delta \mathbb{E}[u^w]/\delta \psi_p \delta \psi_p}{\delta \mathbb{E}[u^w]/\delta \psi_b \delta \psi_p} > 0$ , den Ordinatenabschnitt von (B.8), den Wert  $-\frac{p_{\psi_b}^0 \cdot \int_0^1 u^w \cdot f_{\psi_p} dy}{BZO_{\psi_b}} =$   
 $\frac{\delta \mathbb{E}[u^w]/\delta \psi_p \delta \psi_b}{\delta \mathbb{E}[u]/\delta \psi_b \delta \psi_b} > 0$  überschreitet.

Wir zeigen im Folgenden, dass diese Voraussetzung unter den getroffenen Annahmen erfüllt ist. Damit  $\lambda_b > 0$  und  $0 < \lambda_p < 1$  sind, muss gelten:

$$\frac{\delta \mathbb{E}[u^w]/\delta \psi_p \delta \psi_p}{\delta \mathbb{E}[u^w]/\delta \psi_b \delta \psi_p} > \frac{\delta \mathbb{E}[u^w]/\delta \psi_p \delta \psi_b}{\delta \mathbb{E}[u]/\delta \psi_b \delta \psi_b}$$

Da  $\delta \mathbb{E}[u]/\delta \psi_b \delta \psi_b < \delta \mathbb{E}[u^w]/\delta \psi_b \delta \psi_b$  ist, ist diese Bedingung erst recht erfüllt, wenn die folgende Bedingung eingehalten wird:

$$\frac{\delta \mathbb{E}[u^w]/\delta \psi_p \delta \psi_p}{\delta \mathbb{E}[u^w]/\delta \psi_b \delta \psi_p} \geq \frac{\delta \mathbb{E}[u^w]/\delta \psi_p \delta \psi_b}{\delta \mathbb{E}[u^w]/\delta \psi_b \delta \psi_b}$$

Wir formulieren diese Beziehung um zu Bedingung (B.11):

$$(\delta \mathbb{E}[u^w]/\delta \psi_p \delta \psi_p) \cdot \delta \mathbb{E}[u^w]/\delta \psi_b \delta \psi_b \geq (\delta \mathbb{E}[u^w]/\delta \psi_p \delta \psi_b) \cdot \delta \mathbb{E}[u^w]/\delta \psi_b \delta \psi_p \quad (\text{B.11})$$

Alle Multiplikatoren in (B.11) sind negativ. Unter den Annahmen  $\frac{\delta \mathbb{E}[u^w]}{\delta \psi_p \delta \psi_p} \leq \frac{\delta \mathbb{E}[u^w]}{\delta \psi_p \delta \psi_b}$  und  $\frac{\delta \mathbb{E}[u^w]}{\delta \psi_b \delta \psi_b} \leq \frac{\delta \mathbb{E}[u^w]}{\delta \psi_b \delta \psi_p}$  ist (B.11) stets erfüllt. Folglich sind  $\lambda_b > 0$  und  $0 < \lambda_p < 1$ .

# Literaturverzeichnis

Adams, R. [2005], *Establishment of the cost sharing agreement for exotic animal diseases in Australia*.

Albihn, A. und B. Vinneras [2007], Biosecurity and arable use of manure and bio-waste – treatment alternatives, *Livestock Science* 112, 232-239.

Alleweldt, F., M. Nell, B. Hirsch, G. Breustedt, S. Kara, K. Schubert und M. Achten [2006], *Evaluation of the Community Animal Health Policy (CAHP) 1995-2004 and alternatives for the future – Final Report - Part II: Pre-feasibility study on options for harmonised cost-sharing schemes for epidemic livestock diseases*, Brüssel.

Alvarez, J. E. [2006], International organizations: Then and now, *The American Journal of International Law* 100, 324-347.

Andersson, H., A. Lexmon, J.-A. Robertsson, N. Lundeheim und M. Wierup [1997], Agricultural policy and social returns to eradication programs: the case of Aujeszky's disease in Sweden, *Preventive Veterinary Medicine* 29, 311-328.

*Animal Diseases Legislation Amendment (Civil Liability) Act 2004 Nr 2*, Provinz New South Wales, Australien.

Arrow, K. J. [1985], The economics of agency, in: Pratt, J. W. und R. J. Zeckhauser (Hrsg.), *Principals and Agents: The structure of business*, Boston, 37-51.

Arrow, K. J. [1963], *Social choice and individual values*, 2. Auflage, New York.

Asseldonk, M. A. P. M., M. P. M. Meuwissen, R. B. M. Huirne und E. Wilkens [2006], Public and private schemes indemnifying epidemic livestock losses in the European Union: a review, in: S. R. Koontz, D. L. Hoag, D. D. Thilmany, J. W. Green und J. L. Grannis (Hrsg.), *The Economics of Livestock Disease Insurance*, Cambridge, 115-125.

Asseldonk, M. A. P. M., M. P. M. Meuwissen und R. B. M. Huirne [2003], *A risk financing model for livestock epidemics in the European Union*, Wageningen.

Aström, K. J. und R. M. Murray [2008], *Feedback systems*, Princeton.

Azzam, A. M. [1998], Testing for vertical economies of scope: an example from US pig production, *Journal of Agricultural Economics* 49, 427-433.

Bätza, H.-J. [2007], *Anzeigepflichtige Tierseuchen*, 9. Auflage, Bonn.

- Baldwin, R. E. [1992], Measurable dynamic gains from trade, *The Journal of Political Economy* 100, 162-174.
- Barnett, P., A. J. M. Garland, R. P. Kitching und C. G. Schermbrucker [2002], Aspects of emergency vaccination against foot-and-mouth disease, *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases* 25, 345-364.
- Bender, K. [2002], *Die optimale Rückversicherungsform von Katastrophenrisiken bei Moral Hazard – Eine agencytheoretische Untersuchung des Katastrophenschadenexzedenten*, Hamburg.
- Bennett, R. und K. Willis [2007], The value of badger populations and control of tuberculosis in cattle in England and Wales: a note, *Journal of Agricultural Economics* 58, 152-156.
- Bennett, R. [2003], The ‘direct costs’ of livestock disease: The development of a system of models for the analysis of 30 endemic livestock diseases in Great Britain, *Journal of Agricultural Economics* 54, 55-71.
- Berentsen, P. B. M., A. A. Dijkhuizen und A. J. Oskam [1992], A dynamic model for cost-benefit analyses of foot-and-mouth disease control strategies, *Preventive Veterinary Medicine* 12, 229-243.
- Berg, T. van den, B. Lambrecht, S. Marché, M. Steensels, S. van Borm und M. Bublot [2008], Influenza vaccines and vaccination strategies in birds, *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases* 31, 121-165.
- Boender, G. J., R. Meester, E. Gies und M. C. M de Jong [2007], The local threshold for geographical spread of infectious diseases between farms, *Preventive Veterinary Medicine* 82, 90-101.
- Breyer, F., P. Zweifel und M. Kifmann [2005], *Gesundheitsökonomik*, 5. Auflage, Berlin.
- Bronstein, I. N., K. A. Semendjajew, G. Musiol und H. Mühlig [1999], *Taschenbuch der Mathematik*, 4. Auflage, Frankfurt am Main.
- Brown, A. G. [2003], *The livestock revolution: A pathway from poverty? Record of a conference conducted by the ATSE Crawford Fund*, Parliament House, Canberra.
- Brown, D. [1992], It all started in Kansas, *Washington Post Weekly Edition* 9, 21.
- Buhman, M., G. Dewell und D. Griffin [2007], Biosecurity basics for cattle operations and good management practices for controlling infectious diseases, *NebGuide* G1411.
- Buxton, D. [2006], Wildlife and the risk to humans and domestic animals: A case for disease surveillance, *The Veterinary Journal* 171, 204-205.

- Capua, I. und S. Marangon [2007], Control and prevention of avian influenza in an evolving scenario, *Vaccine* 25, 5645-5652.
- Casal, J., A. de Manuel, E. Mateu und M. Martín [2007], Bio-security measures on swine farms in Spain: perceptions by farmers and their relationship to current on-farm measures, *Preventive Veterinary Medicine* 82, 138-150.
- Christensen, J., B. McNab, H. Stryhn, I. Dohoo, D. Hurnik und J. Kellar [2008], Description of empirical movement data from Canadian swine herds with an application to a disease spread simulation model, *Preventive Veterinary Medicine* 83, 170-185.
- Coase, R. H. [1960], The problem of social cost, *The Journal of Law & Economics* 3, 1-44.
- Cornes, R. und T. Sandler [1996], *The theory of externalities, public goods and club goods*, 2. Auflage, Cambridge.
- Court of Auditors [2005], Special Report No. 8/2004 on the Commission's management and supervision of the measures to control foot-and-mouth disease and of the related expenditure, together with the Commission's replies, *Official Journal of the European Union* 2005/C 54/01, 1-45.
- Court of Auditors [2000], Special report no. 1/2000 on classical swine fever, together with the Commission's replies, *Official Journal of the European Communities* C 85/01, 1-29.
- Cox, N. J., S. E. Tamblin und T. Tarn [2003], Influenza pandemic planning, *Vaccine* 21, 1801-1803.
- Cross, M. L., B. M. Buddle und F. E. Aldwell [2007], The potential of oral vaccines for disease control in wildlife species, *The Veterinary Journal* 174, 472-480.
- Dasgupta, P., P. Hammond und E. Maskin [1979], The implementation of social choice rules: Some general results on incentive compatibility, *The Review of Economic Studies* 46, 185-216.
- Davies, G. [2002], Foot and mouth disease, *Research in Veterinary Science* 73, 195-199.
- DEFRA [2002], *Origin of the UK foot-and-mouth disease epidemic in 2001*.
- Diekmann, O. und J. A. P. Heesterbeek [2000], *Mathematical Epidemiology of Infectious Diseases*, Chichester.
- Donaldson, A. I., S. Alexandersen, J. H. Sorensen und T. Mikkelsen [2001], Relative risk of the uncontrollable (airborne) spread of MKS by different species, *Veterinary Record* 148, 602-604.

- Dijkhuizen, A. A., R. B. M. Huirne und A. W. Jalvingh [1995], Economic analysis of animal diseases and their control, *Preventive Veterinary Medicine* 25, 135-149.
- Dunn, St. [2007], Enterotoxaemia in cattle, *Primefact* 418.
- Edwards, S., A. Fukusho, P.-C. Lefèvre, A. Lipowski, Z. Pejsek, P. Roehe, J. Westergaard, Classical swine fever: the global situation, *Veterinary Microbiology* 73, 103-119.
- Eckhoudt, L., C. Gollier und H. Schlesinger [2005], *Economic and financial decisions under risk*, Princeton.
- Ehrlich, I. und G. S. Becker [1972], Market insurance, self-insurance, and self-protection, *The Journal of Political Economy* 80, 623-648.
- Engel, B., A. Bouma, A. Stegeman, W. Buist, A. Elbers, J. Kogut, D. Döpfer und M. C. M. de Jong [2005], When can a veterinarian be expected to detect classical swine fever virus among breeding sows in a herd during an outbreak?, *Preventive Veterinary Medicine* 67, 195-212.
- Entscheidung 90/424/EWG des Rates vom 26. Juni 1990 über bestimmte Ausgaben im Veterinärbereich, *Amtsblatt der Europäischen Union* L 224, 19-28.
- Entscheidung 80/1096/EWG des Rates vom 11. November 1980 über eine finanzielle Maßnahme der Gemeinschaft zur Ausmerzung der klassischen Schweinepest, *Amtsblatt der Europäischen Union* L 325, 5-7.
- Epple, K und R. Schäfer [1996], The transition from monopoly to competition: The case of housing insurance in Baden-Württemberg, *European Economic Review* 40, 1123-1131.
- FAO [2002], *Animal diseases: Implications for international meat trade*, Dokument zur 19. Sitzung der Intergovernmental Group on Meat and Dairy Products, Rom.
- FAO [1991], *Guidelines for strengthening animal health services in developing countries*, Rom.
- FAO [o. A.], *Prevention and control of avian flu in small scale poultry. A guide for veterinary paraprofessionals in Cambodia*, Rom.
- Faries, F. C. Jr. und L. G. Adams [o. A.], Controlling bovine tuberculosis and other infectious diseases in cattle with total health management, *Texas Agricultural Extension Service* B-6051.
- Farrell, J. [1987], Information and the Coase Theorem, *Economic Perspectives* 1, 113-129.

- Faure, M. G. [2004], Financial compensation in case of catastrophes: A European law and economics approach, *Documents de Recherche du Centre d'Analyse Economique* 10-03/04.
- Felder, S. [1996], Fire insurance in Germany: A comparison of price-performance between state monopolies and competitive regions, *European Economic Review* 40, 1133-1141.
- Friedrich-Loeffler-Institut [2006], *Bewertung des Risikos zur Einschleppung von hochpathogenem aviären Influenzavirus H5N1 in Hausgeflügelbestände in Deutschland*.
- Fritsch, M., T. Wein und H.-J. Ewers [2005], *Marktversagen und Wirtschaftspolitik*, 6. Auflage, München.
- Fudenberg, D. und J. Tirole [1991], *Game theory*, Cambridge.
- Fuente, Angel de la [2000], *Mathematical methods and models for economists*, Cambridge.
- Gerdes, U. [1996], *Die Regelungen der Entschädigungsleistungen der Europäischen Union und deren Mitgliedstaaten sowie der Schweiz im Rahmen der Tierseuchenbekämpfung*, Hannover.
- Glasserman, P. [2004], *Monte Carlo methods in financial engineering*, New York.
- Glynn, T. [2007], Swill feeding is banned in Australia, *Agriculture Notes* AG 0922.
- Gonda, M. G., Y. M. Chang, G. E. Shook, M. T. Collins und B. W. Kirkpatrick [2007], Effect of mycobacterium paratuberculosis infection on production, reproduction, and health traits in US Holsteins, *Preventive Veterinary Medicine* 80, 103-119.
- Gramig, B., B. J. Barnett, J. R. Skees und J. R. Black [2006], Incentive Compatibility in Risk Management of Contagious Livestock Diseases, in: S. R. Koontz, D. L. Hoag, D. D. Thilmany, J. W. Green und J. L. Grannis (Hrsg.), *The Economics of Livestock Disease Insurance*, Cambridge, 39-52.
- Gramig, B., R. Horan und C. Wolf [2005], *A model of incentive compatibility under moral hazard in livestock disease outbreak response*, Selected paper prepared for presentation at the American Agricultural Economics Association Annual Meeting, Providence, Rhode Island.
- Grannis, J. L., J. W. Green und M. L. Bruch [2004], *Animal health: the potential role for livestock disease insurance*, Western Economics Forum.
- Green, L. E. und G. F. Medley [2002], Mathematical modelling of the foot and mouth disease epidemic of 2001: strengths and weaknesses, *Research in Veterinary Science* 73, 201-205.

- Green, J. R. und J.-J. Laffont [1979], *Incentives in public decision-making*, Amsterdam.
- Grossman, S. J. und O. D. Hart [1983], An analysis of the principal-agent problem, *Econometrica* 51, 7-45.
- Grubman, M. J. [2005], Development of novel strategies to control foot-and-mouth disease: marker vaccines and antivirals, *Biologicals* 33, 227-234.
- Harris, M. und A. Raviv [1979], Optimal incentive contracts with imperfect information, *Journal of Economic Theory* 20, 231-259.
- Hennessy, D. A. [2007], Behavioral incentives, equilibrium endemic disease, and health management policy for farmed animals, *American Journal of Agricultural Economics* 89, 698-711.
- Hicks, J. R. [1939], The foundations of welfare economics, *The Economic Journal* 49, 696-712.
- Hirsch, B. und M. Nell [2008], Anreizkompatibilität von Entschädigungssystemen für Kosten und Verluste aus Tierseuchenausbrüchen in der Europäischen Union, *Schmollers Jahrbuch* 128, 261-289.
- Höse, A. und K. Oppermann [2008], Zwischen Wahlkampf und Weltpolitik, *Economag* 6/2008.
- Hofmann, A. [2007], Internalizing externalities of loss prevention through insurance monopoly: an analysis of interdependent risks, *Geneva Risk and Insurance Review* 32, 91-111.
- Holmström, B. und J. Tirole [1989], The theory of the firm, in: R. Schmalensee und R. D. Willig, *Handbook of Industrial Organization*, Amsterdam, 61-133.
- Holmström, B. [1979], Moral hazard and observability, *The Bell Journal of Economics* 10, 74-91.
- Horst, H. S., A. A. Dijkhuizen, R. B. M. Huirne und M. P. M. Meuwissen [1999], Monte Carlo simulation of virus introduction into the Netherlands, *Preventive Veterinary Medicine* 41, 209-229.
- Horst, H. S., A. A. Dijkhuizen, R. B. M. Huirne und P. W. de Leeuw [1998], Introduction of contagious animal diseases into the Netherlands: elicitation of expert opinions, *Livestock Production Science* 53, 253-264.
- Horst, H. S. [1998], *Risk and economic consequences of contagious animal disease introduction*, Wageningen.

- Hurwicz, L. [1986], Incentive aspects of decentralization, in: K. J. Arrow und M. D. Intriligator (Hrsg.), *Handbook of Mathematical Economics III*, Amsterdam, 1441-1482.
- Hutber, A. M., R. P. Kitching und E. Pilipcinec [2006], Predictions for the timing and use of culling or vaccination during a foot-and-mouth disease epidemic, *Research in Veterinary Science* 81, 31-36.
- International Society for Infectious Diseases [2005], OIE: new animal disease notification System, *ProMED-mail* 20050715.2016.
- International Society for Infectious Diseases [2004], OIE: new animal disease notification System, *ProMED-mail* 20040516.1319.
- Jansson, T., B. Norell und E. Rabinowicz [2005], *Modelling the impact of compulsory FMD insurance*, Paper prepared for presentation at the XIth International Congress of the EAAE (European Association of Agricultural Economists).
- Jin, X. W. und S. B. Mossad [2005], Avian Influenza: an emerging pandemic threat, *Cleveland Journal of Medicine* 72, 1129-1134.
- Kaldor, N. [1946], Community indifference: a comment, *Review of Economic Studies* 14, 49.
- Kaldor, N. [1939], Welfare propositions of economics and interpersonal comparisons of utility, *The Economic Journal* 49, 549-552.
- Kamien, M. I. und N. L. Schwartz [1991], *Dynamic optimization – The calculus of variations and optimal control in economics and management*, Amsterdam, 2. Auflage.
- Kamien, M. I. und N. L. Schwartz [1970], Revelation of preference for a public good with imperfect exclusion, *Public Choice* 9, 19-30.
- Kaplow, L. [1991], Incentives and government relief for risk, *Journal of Risk and Uncertainty* 4, 167-175.
- Karsten, S., G. Rave und J. Krieter [2005], Monte Carlo simulation of classical swine fever epidemics and control: I. General concepts and description of the model, *Veterinary Microbiology* 108, 187-198.
- Karsten, S. und J. Krieter [2005], Epidemiology of classical swine fever and models to analyse virus spread: a review, *Deutsche tierärztliche Wochenschrift* 112, 180-188.
- Karten, W. und A. Richter [1998], Risiken aus Umwelthaftung – Risk Management und Versicherung, in: K.-W. Hansmann (Hrsg.), *Umweltorientierte Betriebswirtschaftslehre*, Wiesbaden, 415-455.

- Keeling, M. J., M. E. J. Woolhouse, D. J. Shaw, L. Matthews, M. Chase-Topping, D. T. Haydon, S. J. Cornell, J. Kappey, J. Wilesmith und B. T. Grenfell [2001], Dynamics of the 2001 UK foot-and-mouth epidemic: Stochastic dispersal in a heterogeneous landscape, *Science* 294, 813-817.
- Khol, J. L., J. Damoser, M. Dünser und W. Baumgartner [2007], Paratuberculosis, a notifiable disease in Austria – Current status, compulsory measures and first experiences, *Preventive Veterinary Medicine* 82, 302-307.
- Kirchgässner, G. [2000], Staatliche Bereitstellung von Gütern: Allokative und distributive Aspekte, *Swiss Political Science Review* 6, 9-28.
- Kitching, R. P. [2005], Global epidemiology and prospects for control of foot-and-mouth disease, in: B. W. J. Mahy (Hrsg.), *Foot-and-Mouth Disease Virus*, Berlin, 133-148.
- Koenig, P., E. Lange, I. Reimann und M. Beer [2007], CP7\_E2alf: a safe and efficient marker vaccine strain for oral immunisation of wild boar against classical swine fever virus (CSPV), *Vaccine* 25, 3391-3399.
- Königsberger, K. [1995], *Analysis 1*, 3. Auflage, Berlin.
- Korn, R. und E. Korn [1999], *Optionsbewertung und Portfolio-Optimierung*, Braunschweig/Wiesbaden.
- Kunreuther, H. und G. Heal [2004], Interdependent security: A general model, *NBER Working Paper* 10706.
- Kunreuther, H. und G. Heal [2003], Interdependent Security, *Journal of Risk and Uncertainty* (Special Issue on the Risks of Terrorism) 26, 231-249.
- Le Brun, Y. und E. Fermet-Quinet [2006], *Elements for planning the control of avian influenza outbreaks in Africa*, Paris.
- Leforban, Y. [1999], Prevention measures against foot-and-mouth disease in Europe in recent years, *Vaccine* 17, 1755-1759.
- Lester, R. J. G. [2002], Review of OIE International Aquatic Animal Health Code, 3rd edition, *International Journal for Parasitology* 32, 487-488.
- Loehr, W. [1973], Collective goods and international cooperation: Comments, *International Organization* 27, 421-430.
- Mack, T. [2002], *Schadenversicherungsmathematik*, 2. Auflage, Karlsruhe.
- Mahy, B. W. J. [2005], Introduction and history of foot-and-mouth disease virus, in: B. W. J. Mahy (Hrsg.), *Foot-and-Mouth Disease Virus*, Berlin, 1-8.

- Mamelund, S.-E. [2001], The Spanish Influenza among Norwegian ethnic minorities 1918-1919, *CDE Working Paper 11*, Center for Demography and Ecology, University of Wisconsin-Madison.
- Manelli, A., L. Busani, M. Toson, S. Bertolini und S. Marangon [2007], Transmission parameters of highly pathogenic avian influenza (H7N1) among industrial poultry farms in northern Italy in 1999-2000, *Preventive Veterinary Medicine* 81, 318-322.
- Manelli, A., N. Ferre und S. Marangon [2006], Analysis of the 1999-2000 highly pathogenic avian influenza (H7N1) epidemic in the main poultry-production area in northern Italy, *Preventive Veterinary Medicine* 73, 273-285.
- Mankiw, N. G. [2004], *Principles of economics*, 3. Auflage, Mason (Ohio).
- Marsh, T. L., T. Wahl und T. Suyambulingam [2005], *Animal disease outbreaks and trade bans*, Southern Regional Trade Research Comittee, New Orleans.
- Martínez-López, B., A. M. Perez, A. de la Torre und J. M. Sánchez-Vizcaíno Rodríguez [2008], Quantitative risk assessment of foot-and-mouth disease introduction into Spain via importation of live animals, *Preventive Veterinary Medicine* 86, 43-56.
- Mas-Colell, A., M. D. Whinston und J. R. Green [1995], *Microeconomic Theory*, Oxford.
- Matthews, C. [2006], *New crisis management centre launched by FAO*, Pressemitteilung der FAO vom 12. Oktober 2006, Rom.
- McInerney, J. P., K. S. Howe und J. A. Schepers [1992], A framework for the economic analysis of disease in farm livestock, *Preventive Veterinary Medicine* 13, 137-154.
- McLaws, M., C. Ribble, C. Stephen, B. McNab und P. R. Barrios [2007], Reporting of suspect cases of foot-and-mouth disease during the 2001 epidemic in the UK, and the herd sensitivity and herd specificity of clinical diagnosis, *Preventive Veterinary Medicine* 78, 12-23.
- Meuwissen, M. P. M., M. A. P. M. van Asseldonk und R. B. M. Huirne [2003], Alternative risk financing instruments for swine epidemics, *Agricultural Systems* 75, 305-322.
- Meuwissen, M. P. M., S. D. Horst, R. B. M. Huirne und A. D. Dijkhuizen [1999], A model to estimate the financial consequences of classical swine fever outbreaks: Principles and outcomes, *Preventive Veterinary Medicine* 42, 249-270.
- Mirrlees, J. A. [1999], The theory of moral hazard and unobservable behaviour: Part I, *Review of Economic Studies* 66, 3-21.

- Moennig, V. [2000], Introduction to classical swine fever: virus, disease and control policy, *Veterinary Microbiology* 73, 93-102.
- Morgan, N. und A. Prakash [2006], International livestock markets and the impact of animal disease, *OIE Scientific and Technical Review* 25, 517-528.
- Muermann, A. und H. Kunreuther [2008], Self-protection and insurance with interdependencies, *Journal of Risk and Uncertainty* 36, 103-123.
- Murray, J. D. [1989], *Mathematical Biology*, Berlin.
- National Audit Office [2002], *The 2001 outbreak of foot-and-mouth disease*, London.
- Niemi, J. K., K. Pietola und M. L. Sevón-Aimonen [2004], Hog producer income losses under contagious animal disease restrictions, *Acta Agriculturae Scandinavica C* 1, 185-194.
- Nissen, B. [2001], *Qualitative und quantitative Risikofaktoren für die Einschleppung und Verbreitung von Viruskrankheiten am Beispiel der Klassischen Schweinepest (KSP) und der Maul- und Klauenseuche (MKS)*, Hannover.
- Obi, T. U., T. L. Roeder und W. A. Geering [1999], *Manual on the preparation of Rinderpest contingency plans*, Rom.
- OIE [2007], Terrestrial animal health code, Paris. Oliveira, J., F. J. Guitián und E. Yus [2007], Effect of introducing piglets from farrow-to-finish breeding farms into all-in all-out fattening batches in Spain on productive parameters and economic profit, *Preventive Veterinary Medicine* 80, 243-256.
- Orszag, P. R. und J. E. Stiglitz [2002], Optimal fire departments: evaluating public policy in the face of externalities, *Working Paper Brookings Institution*.
- Osborne, M. J. und A. Rubinstein [1998], *A course in game theory*, 5. Auflage, Cambridge.
- Panjer, H. H. und G. E. Willmot [1992], *Insurance Risk Models*, Schaumburg.
- Paton, D. J. und I. Greiser-Wilker [2003], Classical swine fever – an update, *Research in Veterinary Science* 75, 169-178.
- Pigou, A. C. [1946], *The economics of welfare*, 4. Auflage, London.
- Pinto, C. J. und V. S. Urcelay [2003], Biosecurity practices on intensive pig production systems in Chile, *Preventive Veterinary Medicine* 59, 139-145.
- Polinsky, A. M. und S. Shavell [2000], The economic theory of public enforcement of law, *Journal of Economic Literature* 33, 45-76.

Pratt, J. W. und R. J. Zeckhauser [1985], Principals and agents: an overview, in: Pratt, J. W. und R. J. Zeckhauser (Hrsg.), *Principals and Agents: the structure of business*, Boston, 1-35.

Productivity Commission [1998], *International air services - Inquiry report*, Melbourne.

Rafai, P. [2006], Foot-and-mouth disease: new values, innovative research agenda's and policies (book review), *Livestock Science* 104, 218-219.

Raviv, A. [1979], The design of an optimal insurance policy, *The American Economic Review* 69, 84-96.

Ray, D. und R. Vohra [2001], Coalitional power and public goods, *Journal of Political Economy* 109, 1355-1384.

Reilly, L. A. und O. Courtenay [2007], Husbandry practices, badger sett density and habitat composition as risk factors for transient and persistent bovine tuberculosis on UK cattle farms, *Preventive Veterinary Medicine* 80, 129-142.

Richtlinie für die Ermittlung des gemeinen Wertes von Rindern vom 11. September 2008, Niedersachsen, *Ministerialblatt* vom 01.10.2008, 1003.

Richtlinie 91/496/EWG des Rates vom 15. Juli 1991 zur Festlegung von Grundregeln für die Veterinärkontrollen von aus Drittländern in die Gemeinschaft eingeführten Tieren und zur Änderung der Richtlinien 89/662/EWG, 90/425/EWG und 90/675/EWG, *Amtsblatt der Europäischen Union* L 268, 56.

Richtlinie 90/423/EWG des Rates vom 26. Juni 1990 zur Änderung der Richtlinie 85/511/EWG zur Einführung von Maßnahmen der Gemeinschaft zur Bekämpfung der Maul- und Klauenseuche, der Richtlinie 64/432/EWG zur Regelung viehseuchenrechtlicher Fragen beim innergemeinschaftlichen Handelsverkehr mit Rindern und Schweinen und der Richtlinie 72/462/EWG zur Regelung viehseuchenrechtlicher und gesundheitlicher Fragen bei der Einfuhr von Rindern und Schweinen, von frischem Fleisch oder von Fleischerzeugnissen aus Drittländern, *Amtsblatt der Europäischen Union* L 224, 13-18.

Richtlinie 85/511/EWG des Rates vom 18. November 1985 zur Einführung von Maßnahmen der Gemeinschaft zur Bekämpfung der Maul- und Klauenseuche, *Amtsblatt der Europäischen Union* L 315, 11.

Richtlinie 84/645/EWG des Rates vom 11. Dezember 1984 zur Änderung der Richtlinie 80/217/EWG über Maßnahmen der Gemeinschaft zur Bekämpfung der klassischen Schweinepest, *Amtsblatt der Europäischen Union* L 339, 33-35.

- Richtlinie 80/217/EWG des Rates vom 22. Januar 1980 über Maßnahmen der Gemeinschaft zur Bekämpfung der klassischen Schweinepest, *Amtsblatt der Europäischen Union* L 47, 11-23.
- Riviere-Cinnamond, A. [2005], Compensation and related financial support policy strategy for avian influenza: emergency recovery and rehabilitation of the poultry sector in Vietnam, *FAO Animal Production and Health Working Paper* Juni 2005.
- Rohling, H. [2007], *Stochastische Prozesse (Skript zur Vorlesung)*, Technische Universität Hamburg-Harburg.
- Rossi-Hansberg, E. [2005], A spatial theory of trade, *The American Economic Review* 95, 1464-1491.
- Rubel, F. [2004], *Pilotstudie MATHEPI – Entwicklung moderner Methoden zur Unterstützung der Tierseuchenbekämpfung*, Wien.
- Russett, B. M. und J. D. Sullivan [1971], Collective goods and international organization, *International Organization* 25, 845-865.
- Samuelson, P. A. [1954], The pure theory of public expenditure, *Review of Economics and Statistics* 36, 387-389.
- Samuelson, P. A. [1955], Diagrammatic exposition of a theory of public expenditure, *Review of Economics and Statistics* 37, 350-356.
- Savill, J. N., D. J. Shaw, R. Deardon, M. J. Tildesley, M. J. Keeling, M. E. J. Woolhouse, S. P. Brooks und B. T. Grenfell [2006], Topographic determinants of foot and mouth disease transmission in the UK 2001 epidemic, *BMC Veterinary Research* 2:3.
- Satsuma, J., R. Willox, A. Ramani, B. Grammaticos und A. S. Carstea [2004], Extending the SIR epidemic model, *Physica A* 336, 369-375.
- Schäfer, H.-B. und C. Ott [2000], *Lehrbuch der ökonomischen Analyse des Zivilrechts*, 3. Auflage, Berlin.
- Schauerte, N. und H. Kück [2008], Beschreibung und Durchführung der Impfaktion bei Zoovögeln im Zoo am Meer Bremerhaven gegen aviäre Influenza, hervorgerufen durch das Virus H5N1, *Der Zoologische Garten* N. F. 77, 172-181.
- Schmidt, K. M. [1995], *Lecture Notes: Vertragstheorie für Doktoranden*.
- Schweizer, U. [1996], Vertragstheorie, in: Hagen, J. von, A. Börsch-Supan. P. J. J. Welfens (Hrsg.), *Handbuch der Volkswirtschaftslehre*, Berlin, 229-268.
- Scientific Committee on Animal Health and Animal Welfare [1999], *Strategy for Emergency Vaccination against Foot-and-Mouth Disease*.

- Selbitz, H.-J. und W. Bisping [1995], *Tierseuchen und Zoonosen: Alte und neue Herausforderungen*, Jena.
- Shavell, S. [1986], The judgment proof problem, *International Review of Law and Economics* 6, 45-58.
- Shavell, S. [1979], On moral hazard and insurance, *Quarterly Journal of Economics* 92, 541-562.
- Shulaw, W. P. und G. L. Bowman [2001a], Biosecurity for youth livestock exhibitors, *Ohio State University Extension Fact Sheet* 7.
- Shulaw, W. P. und G. L. Bowman [2001b], On-farm biosecurity: traffic control and sanitation, *Ohio State University Extension Fact Sheet* 6.
- Siebert, H. [2008], The concept of a world economic order, *Kiel Working Paper* 1392.
- Skeik, N. und F. I. Jabr [2008], Influenza viruses and the evolution of avian influenza virus H5N1, *International Journal of Infectious Diseases* 12, 233-238.
- Spence, M. und R. Zeckhauser [1971], Insurance, information, and individual action, *The American Economic Review* 61, 380-387.
- Sumner, D. A., J. E. Bervejillo und L. Jarvis [2006], The role of public policy in controlling animal disease, in: S. R. Koontz, D. L. Hoag, D. D. Thilmany, J. W. Green und J. L. Grannis (Hrsg.), *The Economics of Livestock Disease Insurance*, Cambridge, 29-38.
- Stegeman, A., A. Bouma, A. R. Elbers, M. C. de Jong, G. Nodelijk, F. de Klerk, G. Koch, M. van Boven [2004], Avian influenza A virus (H7N7) epidemic in the Netherlands in 2003: Course of the epidemic and effectiveness of control measures, *The Journal of Infectious Diseases* 190, 2088-2095.
- Stegeman, A., A. Elbers, H. de Smit, H. Moser, J. Smak und F. Pluimers [2000], The 1997-1998 epidemic of classical swine fever in the Netherlands, *Veterinary Microbiology* 73, 183-196.
- Stiglitz, J. E. [1977], Monopoly, non-linear pricing and imperfect information: The insurance market, *The Review of Economic Studies* 44, 407-430.
- Tagesspiegel [2001], Maul- und Klauenseuche – Alarm auf immer mehr britischen Höfen, *Meldung des Tagesspiegels* vom 19. März 2001.
- Tierseuchengesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 22. Juni 2004, *Bundesgesetzblatt* 1, S. 1260.

- Tildesley, M. J. und M. J. Keeling [2008], Modelling foot-and-mouth disease: A comparison between UK and Denmark, *Preventive Veterinary Medicine* 85, 107-124.
- Tsang, K. W. T., P. Eng, C. K. Liam, Y.-S. Shim und W. K. Lam [2005], H5N1 influenza pandemic: contingency plans, *The Lancet* 366, 533-534.
- Tsebelis, G. [1990], Are sanctions effective? A game-theoretic analysis, *Journal of Conflict Resolution* 34, 3-28.
- Tyran, J.-R. und L. P. Feld [2006], Achieving compliance when legal sanctions are non-deterrent, *Scandinavian Journal of Economics* 108, 135-156.
- Ungern-Sternberg, T. von [2002], *Gebäudeversicherung in Europa – Die Grenzen des Wettbewerbs*, Bern.
- Ungern-Sternberg, T. von [1996], The limits of competition: housing insurance in Switzerland, *European Economic Review* 40, 1111-1121.
- University of Georgia [2001], *Foot-and-mouth disease – frequently asked questions*, online unter <http://interests.caes.uga.edu/galivestock/issues/footandmouth/faq.htm> am 17. Januar 2006.
- Vallat, B. und E. Mallet [2006], Ensuring good governance to address emerging and re-emerging animal disease threats: supporting the Veterinary Services of developing countries to meet OIE international standards on quality, *OIE Scientific and Technical Review* 25, 389-401.
- Valle, P. S., G. Lien, O. Flaten, M. Koesling und M. Ebbesvik [2007], Herd health and health management in organic versus conventional dairy herds in Norway, *Livestock Science* 112, 123-132.
- Veen, Tjaart W. Schillhorn van und Cees de Haan [1995], Trends in the organization and financing of livestock and animal health services, *Preventive Veterinary Medicine* 25, 225-240.
- Verordnung 349/2005 der Kommission vom 28. Februar 2005 zur Festlegung der Regeln für die gemeinschaftliche Finanzierung der Dringlichkeitsmaßnahmen und der Bekämpfung bestimmter Tierseuchen gemäß der Entscheidung 90/424/EWG des Rates, *Amtsblatt der Europäischen Union* L 55, 12-25.
- Verordnung 1774/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 3. Oktober 2002 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte, *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften* L 273, 1-95.

- Vos, C. J. de, H. W. Saatkamp und R. B. M. Huirne [2005], Cost-effectiveness of measures to prevent classical swine fever introduction into the Netherlands, *Preventive Veterinary Medicine* 70, 235-256.
- Walsh, R. [2005], Animal disease cost sharing arrangements in other countries, Präsentation im Rahmen der Joint Industry / Government Working Group des Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA).
- Weber, W. [1954], Zur Problematik der neueren "Welfare Economics", *Zeitschrift für Nationalökonomie* 14, 487-535.
- Weltbank [2006], *Enhancing control of Highly Pathogenic Avian Influenza in developing countries through compensation*, Washington DC.
- Werner, O. [2006], Klassische Geflügelpest – eine Übersicht, *Berliner und Münchener tierärztliche Wochenschrift* 119, 140-150.
- Whiting, T. [2006], Welfare slaughter of livestock in emergency situations, *Canadian Veterinary Journal* 47, 737.
- Wilson, D. W. und A. B. Thiermann [2003], Approaches to resolving trade disputes, *OIE Scientific and Technical Review* 22, 743-751.
- Wilson, J. G. [1986], Subjective probability and the prisoner's dilemma, *Management Science* 32, 45-55.
- Winter, R. [2000], Optimal insurance under moral hazard, in: Dionne, G. (Hrsg.), *Handbook of Insurance*, Boston.
- Wit, E. de und R. A. M. Fouchier [2008], Emerging influenza, *Journal of Clinical Virology* 41, 1-6.
- Yee, K. S., T. E. Carpenter und C. J. Cardona [2009], Epidemiology of H5N1 influenza, *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases* 32, 325-340.
- Yong, Jiongmin und Xun Yu Zhou [1999], *Stochastic controls – Hamiltonian systems and HJB Equations*, New York.
- Zhang, Q., D. Li, X. Liu, Z. Liu, X. Cai, G. Wu, S. Qi, S. Yang, X. Yan, Y. Shang, J. He, J. Ma, J. Li, W. Ma, R. Han, X. Liu, J. Zhang, Q. Xie und Z. Zhang [2008], Experimental studies with foot-and-mouth disease virus type Asia-1, responsible for the 2005 epidemic in China, *Research in Veterinary Science* 85, 368-371.
- Zijpp, A. J. van der [1999], Animal food production: the perspective of human consumption, production, trade and disease control, *Livestock Production Science* 59, 199-206.