

# **Modellierung eines „Farm-to-Fork-Modells“ als Ansatz zur Durchführung einer gesundheits-ökonomischen Analyse**

am Beispiel von Maßnahmen zur Senkung der Prävalenz bestimmter *Salmonella*-Serotypen in den Beständen von Schlachtschweinen

Dissertation  
vorgelegt von Nadine Adrian

eingereicht an der  
Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät  
Humboldt-Universität zu Berlin  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor rerum agriculturalarum  
(Dr. rer. agr.)

Gefördert durch die H. Wilhelm Schaumann Stiftung

Gutachter:   1. Prof. Dr. Dr. h.c. Dieter Kirschke  
              2. PD Dr. Helmut Schafft  
              3. Prof. Dr. Uwe Rösler

Tag der mündlichen Prüfung: 14.05.2012

Berlin 2012

## **Impressum**

Dissertationen

vorgelegt von Nadine Adrian

Modellierung eines „Farm-to-Fork-Modells“ als Ansatz zur Durchführung einer gesundheitsökonomischen Analyse am Beispiel von Maßnahmen zur Senkung der Prävalenz bestimmter *Salmonella*-Serotypen in den Beständen von Schlachtschweinen

Bundesinstitut für Risikobewertung  
Pressestelle  
Max-Dohrn-Str. 8-10  
10589 Berlin

Berlin 2012 (Dissertationen 01/2012)  
158 Seiten, 80 Abbildungen, 32 Tabellen  
€ 10,-

Druck: Druck, Umschlag, Inhalt und buchbinderische Verarbeitung  
BfR-Hausdruckerei

**ISBN 3-938163-93-3**

**ISSN 1863-852 (Print) ISSN 2191-3137 (Internet)**

**Inhalt**

<b>Abstract</b>		<b>7</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>		<b>9</b>
<b>1 Einleitung</b>		<b>11</b>
<b>1.1 Problemstellung</b>		<b>11</b>
<b>1.2 Zielsetzung des Promotionsvorhabens</b>		<b>12</b>
<b>1.3 Vorgehensweise</b>		<b>12</b>
<b>2 Die Bakteriengattung <i>Salmonella</i></b>		<b>15</b>
<b>2.1 Spezifische Eigenschaften der Salmonellen</b>		<b>15</b>
2.1.1 Taxonomie und serologische Eigenschaften		15
2.1.2 Epidemiologie		18
2.1.3 Tenazität und Persistenz in der Umwelt		20
2.1.4 Diagnostik		21
2.1.4.1 Bakteriologische Nachweisverfahren		22
2.1.4.2 Serologische Nachweisverfahren mittels ELISA-Test		22
<b>2.2 Salmonelleninfektion und Salmonellose des Schweines</b>		<b>23</b>
2.2.1 Pathogenese und Klinik		23
2.2.2 Latente Salmonelleninfektion		24
2.2.3 Übertragungswege beim Schwein		24
2.2.4 Vorkommen beim Schwein		25
<b>2.3 Gesetzliche Rahmenbedingungen</b>		<b>26</b>
2.3.1 Rechtliche allgemeine Rahmenbedingungen in Deutschland		26
2.3.2 Rechtliche Rahmenbedingungen in Bezug auf Zoonosen auf EU-Ebene		27
2.3.3 Nationale Seroprävalenzstudien		27
2.3.4 Schweine-Salmonellen-Verordnung – nationales Bekämpfungsprogramm		28
<b>2.4 Salmonelleninfektion und Salmonellose des Menschen</b>		<b>30</b>
2.4.1 Pathogenese und Klinik		30
2.4.1.1 Allgemeininfektion mit Typhus und Paratyphus		30
2.4.1.2 Gastroenteritische Salmonellose		30
2.4.2 Übertragungswege von Salmonellen auf den Menschen		31
2.4.3 Salmonellen in Lebensmitteln – Bedeutung von Salmonellen als Erreger humaner Salmonellosen		32
2.4.4 Vorkommen der humanen Salmonellosen in Deutschland		33
2.4.5 Zusammenfassung des Kapitels		35
<b>3 Darstellung von Salmonelleneintragsquellen im Betrieb sowie von Maßnahmen zur Vermeidung eines Salmonelleneintrags auf der Stufe der Primärproduktion</b>		<b>37</b>
<b>3.1 Einleitendes</b>		<b>37</b>
<b>3.2 Mechanismen der Erregerausbreitung – Vertikaler Eintrag</b>		<b>39</b>
<b>3.3 Mechanismen der Erregerausbreitung – Horizontaler Eintrag</b>		<b>42</b>
3.3.1 Tierfutter und Tränkwasser		42
3.3.1.1 Prävention bzw. Minimierung der Belastung mit Salmonellen		43
3.3.1.2 Dekontaminationsverfahren		43

3.3.1.3	Prävention einer Rekontamination	44
3.3.2	Kontakt zum Menschen zu Haustieren, Schadinsekten und Insekten	44
3.3.3	Transport und Aufenthalt im Wartestall	45
<b>3.4</b>	<b>Mechanismen der Erregerausbreitung – Infektions-Kontaminations-Kreislauf</b>	<b>46</b>
3.4.1	Risikofaktoren der Verbreitung von Salmonellen im Bestand	47
3.4.2	Maßnahmen zur Verhinderung einer Verbreitung von Salmonellen im Bestand	48
3.4.2.1	Management-, Hygiene- und Desinfektionsmaßnahmen	48
3.4.2.2	Verbesserung des allgemeinen Gesundheitsstatus	49
3.4.2.3	Immunprophylaxe	50
<b>4</b>	<b>Ansätze zur ökonomischen Analyse im Bereich des gesundheitlichen Verbraucherschutzes</b>	<b>53</b>
4.1	Ökonomie im Gesundheitswesen	53
4.2	Nicht vergleichende gesundheitsökonomische Analyseansätze	54
4.2.1	Kostenanalyse	54
4.2.2	Krankheitskostenanalyse	56
4.3	Vergleichende gesundheitsökonomische Analyseansätze	57
4.3.1	Kosten-Nutzen-Analyse	57
4.3.2	Kosten-Wirksamkeits-Analyse/Kosten-Effektivitäts-Analyse	59
4.3.3	Kosten-Nutzwert-Analyse	60
4.4	Das „Disability Adjusted Life Years“ (DALY)-Konzept	61
4.4.1	Berechnung der DALYs	61
4.4.2	Datengrundlage zur Ermittlung der DALYs in Bezug auf humane Salmonellose - „Years of Life Lost“ (YLL)	62
4.4.3	Datengrundlage zur Ermittlung der DALYs in Bezug auf humane Salmonellose - „Years lived with Disability“ (YLD)	64
4.4.4	Diskussion und Relevanz des DALY-Konzepts für die vorliegende Arbeit	64
<b>5</b>	<b>„Farm-to-Fork-Modelle“ zur Schätzung der Effekte von im Betrieb angewendeten Maßnahmen auf den Verbraucher</b>	<b>67</b>
5.1	Einleitendes	67
5.2	Darstellung vorhandener Modelle	69
5.2.1	Modell von Miller et al. (2004)	69
5.2.2	Quantitative Microbiological Risk Assessment (QMRA) – EFSA (2010)	71
<b>6</b>	<b>Modellierung eines „Farm-to-Fork-Modells“ für Deutschland</b>	<b>79</b>
6.1	Aufbau des Modells	79
6.2	Modul 1 – Betrieb	80
6.3	Modul 2 – Transport und Wartestall	84
6.4	Modul 3 – Schlachtprozess	90
6.5	Modul 4 – Produktverarbeitung	99
6.5.1	Frischfleisch	103
6.5.2	Hackfleisch	104
6.5.3	Hitzebehandelte Fleischerzeugnisse	105
6.5.4	Anderweitig konservierte Fleischerzeugnisse	107

<b>6.6</b>	<b>Modul 5 – Verbraucher</b>	<b>108</b>
6.6.1	Fleisch	108
6.6.2	Hackfleisch	114
6.6.3	Hitzebehandelte bzw. anderweitig konservierte Fleischerzeugnisse	117
<b>6.7</b>	<b>Output des Modells</b>	<b>121</b>
6.7.1	Erkrankungszahlen	121
6.7.2	Todesfälle	121
<b>7</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion des Modells – ökonomische Bewertung</b>	<b>123</b>
<b>7.1</b>	<b>Ausgangsszenario</b>	<b>123</b>
7.1.1	Output des Modells	123
7.1.2	DALYs des Ausgangsszenarios	123
<b>7.2</b>	<b>Beispielszenarien</b>	<b>127</b>
7.2.1	Szenario Impfen der Schweine – Output des Modells	127
7.2.2	Szenario Testen der Läufer – Output des Modells	127
7.2.3	Szenario Impfen der Schweine – DALYs und Kosten-Nutzen- Verhältnis	128
7.2.4	Szenario Testen der Läufer – DALYs und Kosten-Nutzen- Verhältnis	129
<b>7.3</b>	<b>Ranking der Szenarien</b>	<b>132</b>
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Schlussfolgerungen</b>	<b>133</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>135</b>
<b>10</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>153</b>
<b>11</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>157</b>



## Abstract

Auch wenn Skandale von Gammelfleisch und BSE oft die Schlagzeilen der Presse füllen, geht eine viel größere gesundheitliche Gefahr von den sogenannten Zoonosen aus. Unter dem Begriff der Zoonosen werden Krankheiten subsumiert, welche direkt oder indirekt zwischen Tier und Mensch übertragen werden können. Die Salmonellose zählt weltweit zu den am häufigsten vorkommenden Zoonosen. Im Jahr 2007 wurden alleine in Deutschland mehr als 55.400 Fälle von Salmonellen-Erkrankungen und daraus resultierende 76 Todesfälle gemeldet (RKI SURVSTAT, 2010). Darüber hinaus ist von einer enormen Dunkelziffer auszugehen. Es wird angenommen, dass die tatsächliche Erkrankungszahl etwa zwölfmal so hoch ist wie die Anzahl der gemeldeten Salmonellen-Erkrankungen.

Nach Angaben der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) stellen Schweinefleischprodukte nach den Geflügelprodukten die zweithäufigste Übertragungsquelle in Bezug auf Salmonellen dar. Eine alleinige Reduzierung der gesundheitlichen Risiken der Verbraucher durch Maßnahmen im Bereich der Lebensmittelerzeugung oder der Lebensmittelzubereitung ist nicht ausreichend, dies zeigen immer wiederkehrende Salmonelleninfektionen. Diese Zahlen und Erfahrungen unterstreichen die Notwendigkeit einer effektiven Salmonellenbekämpfung beginnend bereits auf der Stufe der Primärproduktion.

Neben ihrem zoonotischen Potential sind Salmonellen durch eine hohe Überlebensfähigkeit in der Umwelt sowie durch ein weites Erregerreservoir, verbunden mit einem effektiven Übertragungsmechanismus, gekennzeichnet. Das sind Eigenschaften, welche eine vollständige Eliminierung von Salmonellen aus der Schweinefleischproduktionskette nahezu unmöglich machen. Zusätzlich zu Schmerz und Leid verursachen die Salmonellose-Erkrankungen auch erhebliche Kosten durch die Behandlung, den Krankenhausaufenthalt sowie durch den Verlust an Arbeitsproduktivität. Aufgrund knapper Ressourcen ist es daher eine wichtige Aufgabe, die aus gesundheitsökonomischer Sicht effektivsten salmonellenprävalenzreduzierenden Maßnahmen auf den verschiedenen Stufen der Schweinefleischproduktionskette herauszufiltern, auch unter dem Aspekt einer international wettbewerbsfähigen Schweineproduktion.

Um zur Salmonellenbekämpfung die effektivsten Bekämpfungsmaßnahmen einsetzen zu können, ist es notwendig einen methodischen Ansatz zu formulieren, mit dem die gesamtwirtschaftlichen Effekte unterschiedlicher salmonellosereduzierender Maßnahmen auf Ebene der Primärproduktion ökonomisch verglichen werden können.

Ein auf die deutschen Gegebenheiten und Daten abgestimmtes Modell gibt es derzeit jedoch noch nicht. Für die genannte Fragestellung erschien keines der vorhandenen Modelle anderer Nationen als so gut geeignet, dass es ohne Modifikationen übernommen und angewendet werden konnte. Aus diesem Grund wird in der vorliegenden Arbeit ein eigenes Modell entwickelt, welches auf Grundlage bereits vorhandener Modelle erstellt wurde und insbesondere an deutsche Besonderheiten (z. B. hoher Verzehr von rohem Fleisch) und die vorhandene Datengrundlage angepasst ist. Die Formulierung eines methodischen Ansatzes, mit dem die gesamtwirtschaftlichen Effekte unterschiedlicher salmonellosereduzierender Maßnahmen auf Ebene der Primärproduktion ökonomisch verglichen werden können, ist das Ziel der vorliegenden Arbeit.

Um dieses Ziel zu erreichen, werden zunächst die Grundlagen bezüglich der Bakteriengattung *Salmonella* sowie die Salmonelleneintragsquellen auf Betriebsebene und verschiedene mögliche Maßnahmen, welche bereits im Betrieb zur Vermeidung eines Salmonelleneintrags beitragen können, dargestellt. In einem weiteren Schritt wird mit der gesundheitsökonomischen Analyse das methodische Grundgerüst vorgestellt. Der Schwerpunkt liegt auf dem „Disability Adjusted Life Years“ (DALY)-Konzept. Hierbei wird erstmals für Deutschland eine Kombination der Lebensmittelkettenbetrachtung in Verbindung mit dem DALY-Konzept zur Bewertung verschiedener Maßnahmen systematisch angegangen.

Die Effekte der bereits auf der Stufe der Primärproduktion eingesetzten Maßnahmen wirken nicht direkt auf den Verbraucher, es liegen vielmehr verschiedene Stufen der Lebensmittelkette zwischen Primärproduktion und Verbraucher. Diese beeinflussen den Zusammenhang auf vielfältige Art und Weise. Eine Lösung zur Darstellung solch komplexer Zusammenhänge ist deren Vereinfachung anhand von Modellen. Kern dieser Arbeit ist die Modellierung eines „Farm-to-Fork-Modells“ mithilfe des Programmes @Risk. Mithilfe dieses Modells soll eine Abschätzung der Auswirkungen von im Betrieb eingesetzten Maßnahmen auf den Verbraucher in Form von verschiedenen Szenarien vorgenommen werden. Das Ausgangsszenario wird anhand von Daten aus Deutschland für das Jahr 2007 modelliert.

Abschließend erfolgt eine erste Anwendung des Modells anhand der Beispielszenarien „Impfen der Schweine“ und „Testen der Läufer“. Es werden jeweils die Erkrankungszahlen und Todesfälle als Output des Modells angegeben sowie die Kosten und der Nutzen der Maßnahme errechnet. Um die Beispielszenarien vergleichen zu können, erfolgt ein Ranking der Szenarien.



## Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AVV LmH	AVV Lebensmittelhygiene
AVV-RÜb	AVV-Rahmen-Überwachung
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
BU	Bakteriologische Fleischuntersuchungen
DALY	Disability Adjusted Life Years
DIMDI	Deutsches Institut für medizinische Dokumentation und Information
DTU	Danmarks Tekniske Universitet
DVG	Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft
EFSA	Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit
EG	Europäische Gemeinschaft
EU	Europäische Union
ELISA	Enzyme-linked Immunosorbent Assay
ERS	Economic Research Service
EVS	Einkommens- und Verbrauchsstichproben
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FLI	Friedrich-Loeffler-Institut
GE	Gastroenteritis
GP	General Practitioner
Hrsg.	Herausgeber
IBD	Inflammatory Bowel Disease
IfSG	Infektionsschutzgesetz
i. e. S.	im engeren Sinne
LFGB	Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetzbuch
LPS	Lipopolysaccharide
MPRM	Modular Process Risk Model
MS	Mitgliedsstaaten
QMRA	Quantitative mikrobiologische Risikobewertung
ReA	Reactive Arthritis
RIVM	National Institute for Public Health and the Environment
RKI	Robert Koch-Institut
S.	<i>Salmonella</i>
SchwSalmV	Schweine-Salmonellen-Verordnung
Tab.	Tabelle
TierSeuchAnzV	Verordnung über anzeigepflichtige Tierseuchen
TierSG	Tierseuchengesetz
TSN	Tierseuchen-Nachrichten-System
USDA	United States Department of Agriculture
VLA	Veterinary Laboratories Agency
WHO	World Health Organisation
WHOCC-Salm	WHO Collaborating Centre for Reference and Research on <i>Salmonella</i>
YLD	Years lived with Disability
YLL	Years of Life Lost
ZMP	Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle



## 1 Einleitung

### 1.1 Problemstellung

Infektionskrankheiten sind weltweit weiterhin die häufigste Todesursache. Die durch Infektionen oder Intoxikationen ausgelösten Magen-Darm-Erkrankungen (Gastroenteritiden) gehören dabei zu den häufigsten Infektionskrankheiten überhaupt. Hierfür verantwortlich sind insbesondere in den Entwicklungsländern, vor allem die schlechten sozioökonomischen und hygienischen Bedingungen. Dort sind lebensmittel- und wasserbedingte Durchfallerkrankungen durch die damit einhergehende Austrocknung des Körpers und den stattfindenden Nährstoffverlust, vor allem unter Kindern, eine sehr häufige Todesursache. In den Industrieländern konnte mit der Zeit durch die Verbesserung der allgemeinen Lebensbedingungen und Hygiene sowie durch den medizinischen Fortschritt die Anzahl der Erkrankungen zwar zurückgedrängt werden, dennoch stellen vor allem die sogenannten Zoonosen – unter denen Erkrankungen subsumiert werden, welche direkt zwischen Tier und Mensch übertragen werden können – eine ernst zu nehmende gesundheitliche Gefahr für den Verbraucher dar. Von besonderer Bedeutung sind hier Erkrankungen wie etwa die Salmonellose oder *Campylobacter*-Infektionen.

Im Jahr 2007 wurden alleine in Deutschland 55.400 Fälle von Salmonellen-Erkrankungen und daraus resultierende 76 Todesfälle gemeldet (RKI SURVSTAT, 2010). Bei der Salmonellose handelt es sich um eine in Deutschland nach § 7 Infektionsschutzgesetz (IfSG) der Meldepflicht unterliegende Krankheit, die Anzahl der Salmonellen-Erkrankungen sowie die Todesfälle werden durch das Robert Koch-Institut (RKI) statistisch erfasst. Da jedoch nicht alle Erkrankten einen Arzt aufsuchen, wird von einer großen Dunkelziffer ausgegangen. Für Deutschland wird angenommen, dass für jeden dem RKI gemeldeten Fall tatsächlich etwa zwölf Fälle in der Bevölkerung auftreten (Krug/Rehm, 1983).

Hauptinfektionsquelle für den Verbraucher mit Salmonellen ist kontaminierte Nahrung tierischen Ursprungs. Eine direkte Übertragung von Mensch zu Mensch spielt bei den Salmonellen nur eine sehr untergeordnete Rolle und ist allenfalls im Kleinkindesalter von Bedeutung (RKI, 2000). Nach Angaben der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) werden die meisten Fälle von Salmonelleninfektionen beim Menschen durch Eier, Eiprodukte sowie Hühnerfleisch ausgelöst. Aber auch Schweinefleisch stellt eine wichtige Übertragungsquelle dar. Schweinefleisch ist nach den Geflügelprodukten die zweithäufigste Infektionsquelle in Bezug auf Salmonellen (EFSA, 2008a; 2008b). Insbesondere unter Beachtung des hohen Pro-Kopf-Verzehrs von Schweinefleisch – Schweinefleisch ist mit einem jährlichen Pro-Kopf-Verzehr von 39,9 kg im Jahr 2007 (BVDF, 2009; 2010) weiterhin das beliebteste Fleisch der Deutschen – und aufgrund des Verzehrs auch von rohem Schweinefleisch, wie Mett oder Hackepeter in Deutschland (CVUA, 2006), kann mit Blick auf die Salmonellose auch beim Schweinefleisch von einem hohen gesundheitlichen Risiko für den Verbraucher gesprochen werden. Schätzungen gehen davon aus, dass ca. 20 % aller lebensmittelbedingten Salmonellosen in Deutschland auf den Verzehr von kontaminiertem Schweinefleisch zurückzuführen sind (Steinbach/Hartung, 1999; Hellwig, 2003; Blaha, 2006).

Neben dem Schmerz und dem Leid, welche durch Salmonellen-Erkrankungen hervorgerufen werden, entstehen durch diese auch erhebliche volkswirtschaftliche Kosten. Die Folgen von Erkrankungen an Salmonellose sind aus gesamtgesellschaftlicher Sicht die Minderung der Arbeitsproduktivität sowie geringere Arbeitszeiten. Laut Angaben des Economic Research Service des United States Department of Agriculture belaufen sich die durch Salmonellose verursachten jährlichen Kosten, welche sich alleine auf die Krankenbehandlung, den Wert der entstehenden Arbeitsausfälle sowie den Wert des vorzeitigen Todes der Erkrankten beziehen, alleine in den USA auf 2,47 Milliarden US \$ (ERS, 2010).

## 1.2 Zielsetzung des Promotionsvorhabens

Vor dem Hintergrund der skizzierten Problematik ist es notwendig, einen methodischen Ansatz zu formulieren, mit dem die gesamtwirtschaftlichen Effekte von verschiedenen salmonellose-reduzierenden Maßnahmen auf Ebene der Primärproduktion ökonomisch bewertet werden können. Die Formulierung eines solchen Ansatzes ist das Ziel der vorliegenden Arbeit. Der Fokus zur Bekämpfung von Salmonellen soll in dieser Arbeit in Anlehnung an die Zielrichtung der „neuen Zoonosenverordnung“ auf der Stufe der Primärproduktion liegen – genauer: in den Mastschweinebeständen, dem Kettenglied/Bindeglied zwischen Ferkelerzeuger und Schlachtung. Dabei soll das noch recht junge gesundheitsökonomische Konzept der „Disability Adjusted Life Years“ (DALY) beispielhaft angewendet werden.

Folgende Unterziele ergeben sich:

- Erarbeitung von Grundlagen zum Salmonelleneintrag sowie von Maßnahmen zur Verhinderung eines Salmonelleneintrags auf Betriebsebene
- Erarbeitung von Grundlagen zur gesundheitsökonomischen Bewertung und Aufarbeitung gesundheitsökonomischer Konzepte
- Erstellung eines „Farm-to-Fork-Modells“
- Anwendung des Modells anhand der Beispielszenarien „Impfen der Schweine“ und „Testen der Läufer“ sowie Erstellen eines Rankings der Maßnahmen.

## 1.3 Vorgehensweise

Zur Erreichung der Zielsetzung des Promotionsvorhabens ist die vorliegende Arbeit in acht Kapitel gegliedert.

Nachdem im einleitenden **Kapitel 1** die Problemstellung, Zielsetzung und Vorgehensweise beschrieben wurden, folgt mit dem **zweiten Kapitel** das Heranführen an die Grundlagen bezüglich der Bakteriengattung *Salmonella*. Hierzu wird zunächst näher auf die spezifischen Eigenschaften der Salmonellen wie ihre Taxonomie, serologischen Eigenschaften, Tenazität (Überlebensfähigkeit in der Umwelt), Persistenz (Überdauern in der Umwelt) und die diagnostischen Verfahren eingegangen. Weiterhin werden die Salmonelleninfektion und Salmonellose beim Schwein, die gesetzlichen Rahmenbedingungen und die Salmonelleninfektion und Salmonellose beim Menschen näher erläutert.

Im **dritten Kapitel** werden die Risikobereiche, aus welchen eine Salmonelleninfektion der Schweine eines Betriebes herrühren kann, vorgestellt. Außerdem erfolgt die Darstellung verschiedener möglicher Maßnahmen, welche bereits auf Betriebsebene zur Vermeidung eines Salmonelleneintrags beitragen können.

In **Kapitel 4** wird das methodische Grundgerüst zur ökonomischen Analyse im Bereich des gesundheitlichen Verbraucherschutzes dargelegt. Dabei werden zunächst verschiedene gesundheitsökonomische Ansätze vorgestellt. Der Schwerpunkt des Kapitels liegt dabei auf dem aus der Gesundheitsökonomie stammenden Konzept der DALYs. Es wird die Berechnung der DALYs erläutert; außerdem wird auf die zur Ermittlung der DALYs notwendige Datengrundlage eingegangen.

Im **fünften Kapitel** werden zwei ausgewählte Modelle, welche sich bereits mit der Salmonellenproblematik entlang der Schweinefleischproduktionskette beschäftigt haben, dargestellt. Darüber hinaus wird auf die Notwendigkeit der Modellierung eines eigenen Modells, welches an die deutschen Gegebenheiten angepasst ist, hingewiesen.

Kern der Arbeit stellt das **Kapitel 6** dar. In diesem Kapitel wird das Modell entwickelt, auf dessen Grundlage eine gesundheitsökonomische Bewertung von verschiedenen Maßnahmen, welche auf der Stufe der Primärproduktion angewendet werden, vorgenommen werden soll. Neben der Modellierung stellt dabei die Aufarbeitung der in das Modell einfließenden Daten den Hauptteil der vorliegenden Arbeit dar.

Im **siebten Kapitel** wird für das Ausgangsszenario der Output anhand der geschätzten Gesamterkrankungszahlen sowie der Todesfälle für das Jahr 2007 diskutiert. Zusätzlich erfolgt abschließend die Darstellung der beiden Beispielszenarien „Impfen der Schweine im Betrieb“ und „Testen der Läufer vor dem Einstellen“. Für diese Szenarien werden jeweils der Output des Modells anhand der geschätzten Gesamterkrankungszahlen und der Todesfälle dargestellt sowie unter Anwendung des DALY-Konzeptes die Kosten und der Nutzen der Maßnahme in DALYs errechnet. Um die Beispielszenarien vergleichen zu können, erfolgt ein Ranking der Szenarien anhand der durch das Szenario verhinderten DALYs.

Abschließend werden in **Kapitel 8** die Ergebnisse der Arbeit sowie Implikationen für die Politikgestaltung zusammenfassend diskutiert.



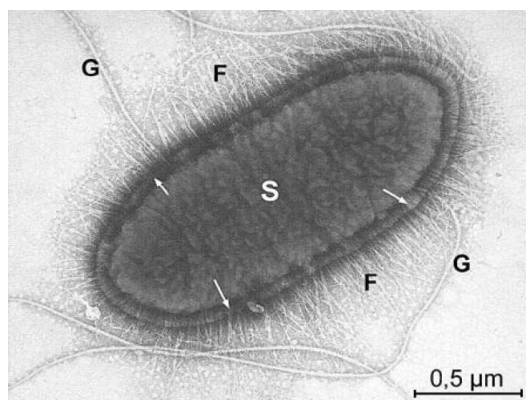
## 2 Die Bakteriengattung *Salmonella*

Bereits im Mittelalter war das durch Salmonellen (*Salmonella enterica* Subsp. *enterica* Serovar Typhi) verursachte Krankheitsbild Typhus gefürchtet, da immer wieder Tausende von Menschen in verheerenden Seuchenzügen durch diese Erkrankung starben. Obwohl somit Salmonellen-Erkrankungen bereits im Mittelalter auftraten, gelang der Nachweis der Seuchenerreger erst durch die moderne Mikrobiologie. Im Jahre 1886 wurde *Salmonella choleraesuis* (seit 2005 offiziell in *Salmonella enterica* umbenannt) im Labor des amerikanischen Veterinärmediziners C. D. Salmon – dem sie auch ihren Namen *Salmonella* verdanken – entdeckt (HAHN et al., 1994).

### 2.1 Spezifische Eigenschaften der Salmonellen

#### 2.1.1 Taxonomie und serologische Eigenschaften

Bei Salmonellen handelt es sich um 0,7–1,5 x 2,0–5,0 µm große, gramnegative, sporenlose, meist bewegliche begeißelte Stäbchenbakterien (siehe Abbildung 1) Salmonellen gehören zu der Familie der *Enterobacteriaceae* (Selbitz, 1992; Rolly/Mayr, 2002). Mithilfe biochemischer Eigenschaften wie der Fermentation von Kohlenhydraten sowie der Enzymreaktionen und aufgrund des Wachstums in verschiedenen Medien können Salmonellen von den übrigen Genera (Gattungen) der *Enterobacteriaceae* abgegrenzt werden (Pietzsch, 1981). Erst im Jahre 1926 konnten mithilfe der Antigenanalyse durch White<sup>1</sup> die sich durch Wirkung und Epidemiologie recht stark unterscheidenden verschiedenen Salmonellenarten als zu einem Genus (Gattung) gehörig erkannt werden (Selbitz et al., 1995).



Quelle: Rolle/Mayr (2002)

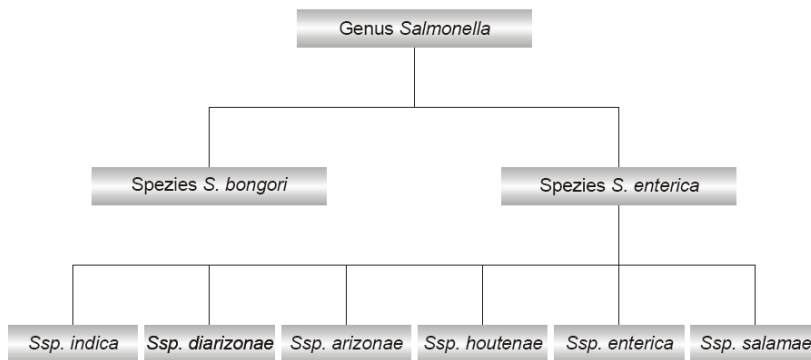
**Abbildung 1:** *Salmonella* Typhimurium mit Geißeln (G) und 7-nm-Fimbrien (F), die an der Plasmamembran entspringen

Der Genus gliedert sich in zwei Spezies (Arten); zum einen in die Spezies *Salmonella bongori* und zum anderen in die Spezies *Salmonella enterica*, welche sich in sechs Subspezies *enterica*, *salamea*, *arizonae*, *diarizonae*, *houtenae* und *indica* unterteilt (siehe Abbildung 2). Im Jahr 2004 wurde in den USA aus Umweltproben eine weitere Spezies entdeckt – diese wurde als *Salmonella subterranea* benannt. Für Stämme der Subspezies *enterica* wird zur korrekten Bezeichnung zunächst der Gattungsname, gefolgt von der Subspeziesbezeichnung und dem Serovar<sup>2</sup>, genannt. Zur Vereinfachung wird jedoch meist etwa statt *S. enterica*

<sup>1</sup> Kauffmann baute später auf den Arbeiten von White auf und entwickelte im Jahre 1934 die erste Antigentabelle, welche die Grundlage für das noch heute gebräuchliche Kauffmann-White-Schema bildete (Selbitz et al., 1995).

<sup>2</sup> *Serovare* = Serotypen sind Mikroorganismen innerhalb einer Serogruppe, die anhand eines typischen Antigenmusters mithilfe eines spezifischen Antiserums identifizierbar sind (Roche Lexikon Medizin, 2003a).

spp *enterica* ser. Typhimurium die Kurzbezeichnung *S. Typhimurium* verwendet (Le Minor/Popoff, 1987; Rolle/Mayr, 2002).



Quelle: Popoff et al. (2000)

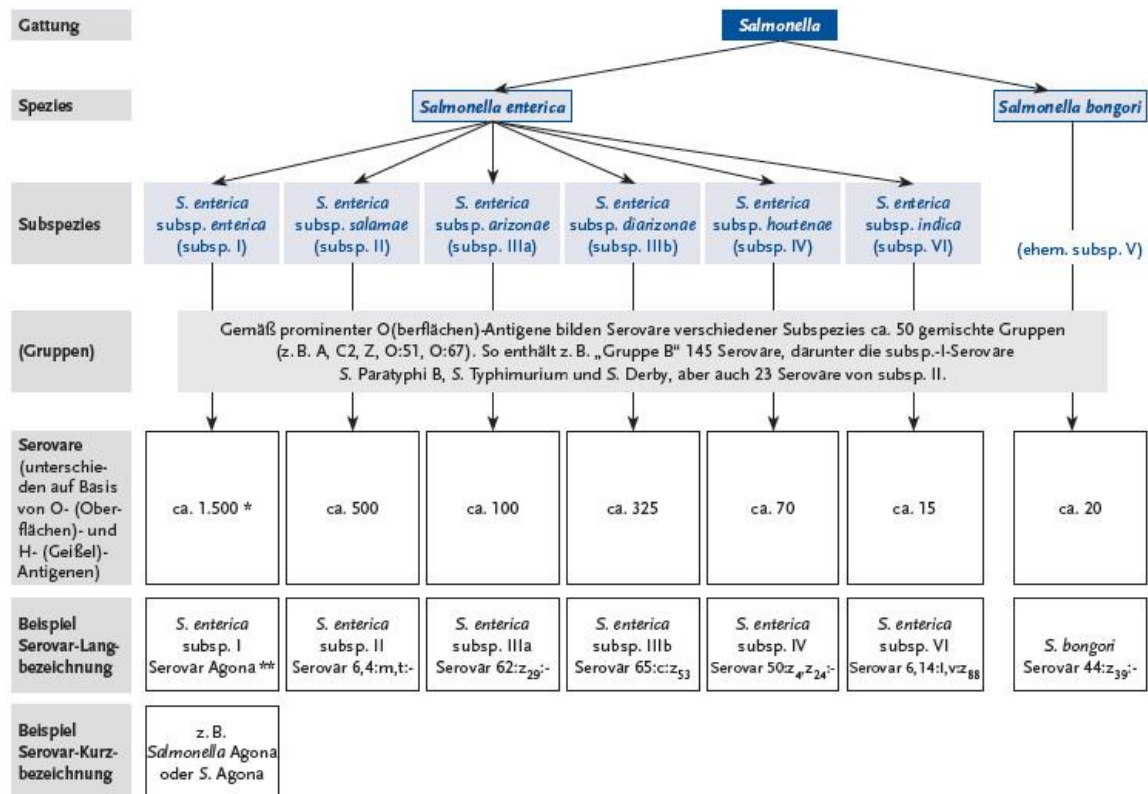
**Abbildung 2: Taxonomie des Genus *Salmonella***

Die Grundlage für die Ordnung der Salmonellen liefert das White-Kauffmann-Le Minor-Schema (früher Kauffmann-White-Schema) (siehe Abbildung 3), welches regelmäßig vom WHO Collaborating Centre for Reference and Research on *Salmonella* (WHOCC-Salm) am Pariser Pasteur-Institut aktualisiert wird (Grimont/Weill, 2007).

Die verschiedenen Serovare werden dabei unter Verwendung des Kauffmann-White-Schemas serologisch differenziert. Bei Salmonellen kann zwischen somatischen (O-Antigene), Geißel- (H-Antigene), Kapsel- (K-Antigene) und Fimbrien-Antigenen (F-Antigene) unterschieden werden. Für die auf dem Kauffmann-White-Schema aufbauende Diagnostik sind jedoch die in der Zellwand lokalisierten O-Antigene sowie die mit den Geißeln verbundenen H-Antigene von besonderer Bedeutung. Die hitzestabilen O-Antigene (Bestandteile des LPS<sup>3</sup>-Komplexes der Zellwand) werden mit arabischen Ziffern bezeichnet, dabei werden Salmonellen, welche das gleiche O-Antigen haben, Gruppen mit gleichem lateinischem Großbuchstaben zugeordnet. H-Antigene sind hitzelabile Proteine, die in zwei Phasen vorliegen können. Der Zustand in Phase 1 wird mit kleinen lateinischen Buchstaben und jener in Phase zwei mit arabischen Ziffern bezeichnet. So können nun alle zur Gattung *Salmonella* gehörenden Isolate über ihre Antigenformel eingeordnet werden (Bisping/Amtsberg, 1988; Hahn et al., 1994, Rolle/Mayr, 2002).

<sup>3</sup> LPS = Lipopolysaccharide sind aus dem toxischen fettähnlichen Lip(o)id A und Polysacchariden (Zucker-Bestandteilen) bestehende Moleküle, die an die Membranoberfläche gramnegativer Bakterien gebunden sind; der Polysaccharidanteil entspricht dem O-Antigen (Roche Lexikon Medizin, 2003b).





\* Darunter auch *S. Typhi* und *S. Paratyphi* A, B oder C, aber auch *S. Enteritidis* (Gruppe D1) und *S. Typhimurium* (Gruppe B)  
 \*\*Nur Serovare der Subsp. I tragen krankheitsbeschreibende, Personen- oder Ortsnamen (z. B. *S. Enteritidis*, *S. Virchow*, *S. London*), Serovar-Varianten werden mit der Antigenformel bezeichnet.  
 Quelle: RKI (2010)

Abbildung 3: Stammbaum der Gattung *Salmonella*

Im Kauffmann-White-Schema sind 2.541 Serovare definiert (Rolle/Mayr, 2002), wobei die Subspezies *Salmonella enterica* Subsp. *enterica* (Enteritis-Salmonellen) mit 1.519 Serovaren die meisten Serovare beinhaltet (siehe Tabelle 1). Zu dieser Subspezies zählen etwa 99,5 % aller beim Menschen isolierten Stämme (RKI, 1996). Hierunter fallen auch die Serovare *S. Typhi*, *S. Paratyphi*, *S. Enteritidis* und *S. Typhimurium*.

Tabelle 1: Übersicht zu den Spezies und Subspezies der Gattung *Salmonella*

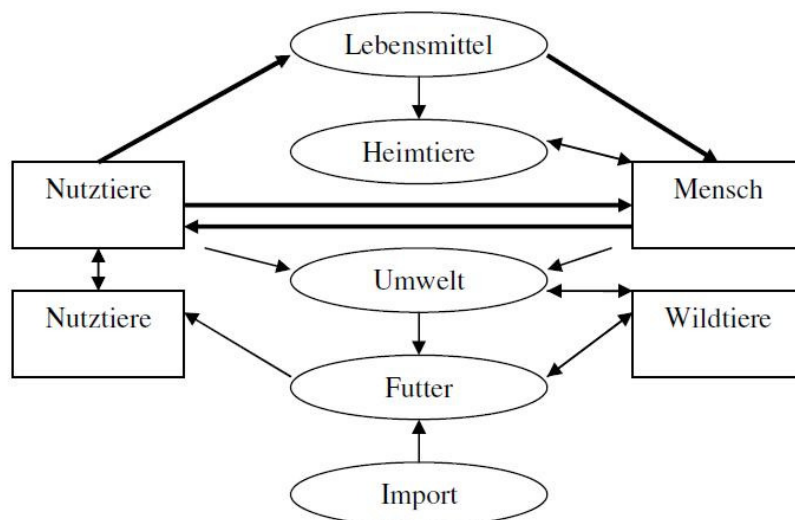
Spezies	<i>S. enterica</i>						<i>S. bongori</i>
ssp.	ssp.	ssp.	ssp.	ssp.	ssp.	ssp.	ssp.
Subspezies	<i>enterica</i>	<i>salamae</i>	<i>arizonae</i>	<i>diarizonae</i>	<i>houtenae</i>	<i>indica</i>	
frühere Bezeichnung	ssp. I	ssp. II	ssp. III a	ssp. III b	ssp. IV	ssp. VI	ssp. <i>bongori</i> ssp. V
Anzahl der Serovaren	1504	502	95	333	72	13	22

Quelle: Popoff et al. (2004)

### 2.1.2 Epidemiologie

Gegenstand der Epidemiologie ist die Beschreibung der Verteilung von Krankheiten und jener Faktoren, die diese Verteilung beeinflussen (Kreienbrock/Schach, 2005).

Salmonellen kommen weltweit ubiquitär im Boden, in der Pflanze sowie im Tier vor, wobei die vorherrschenden Serotypen geographisch, zeitlich und teilweise tierartspezifisch variieren. Insbesondere in Ländern mit intensiver Tierhaltung spielt ihr Vorkommen vermehrt eine Rolle, wobei das Ausmaß ihrer Verbreitung von dem Haltingsmanagement (Stallhygiene) und der Fütterung der Tiere sowie von der Lebensmittel- und Umwelthygiene abhängen. Insbesondere im Magen-Darm-Trakt und Faeces von Tieren besteht eine hohe Vermehrungsrate, so dass sie weltweit unter anderem in Geflügel, Schweinen, Rindern, aber auch Reptilien zu finden sind. Abhängig vom Serovar können sie auch spezieübergreifend zu Infektionen und Erkrankungen von Organismen führen. Sie verfügen dadurch über eine große Anzahl von möglichen Wirten, sowie über eine effiziente Verbreitungsmethode - die Ausscheidung durch den Kot der Trägartiere. Die Übertragung der Salmonellen kann direkt von einem infizierten Organismus auf einen anderen oder indirekt mit Hilfe unbelebter Faktoren erfolgen (SELBITZ, 1992; BLAHA, 1996; ROLLY/MAYR, 2002) (siehe Abbildung 4). Durch diese Vielzahl an möglichen Übertragungsmechanismen kann es schon in kurzer Zeit über große Distanzen zu schwer nachvollziehbaren Infektionsketten oder Kreisläufen kommen (GAREIS, 1995). Ein Infektionskreislauf entsteht von der Ausscheidung mit dem Kot und dem Eintrag in die Umwelt, über die Kontamination der drei Hauptkomponenten Wasser, Boden und Luft bis zur Reinfektion oder Neuinfektion eines anderen Organismus, wobei die Infektion hierbei vorrangig auf oralem Wege erfolgt.



Quelle: Rolle/Mayr (2002)

**Abbildung 4: Grundzüge der Epidemiologie der Salmonellosen**

Der Genus *Salmonella* lässt sich epidemiologisch in drei Gruppen einteilen (Blaha, 1993):

- **epidemisch vorkommende, spezieadaptierte Serovare**
- **endemisch vorkommende, nicht spezieadaptierte Serovare**
- **sporadisch vorkommende, nicht spezieadaptierte Serovare**

Die **epidemisch vorkommenden, spezieadaptierten Serovare** können bei der betroffenen Spezies sogenannte primäre Salmonellosen hervorrufen, welche zu schweren Erkrankungen und zu hohen Verlusten im Bestand führen. Sie stellen jedoch für andere Spezies meist keine große Gefahr dar. Für den Menschen gehören die zu der Spezies *Salmonella*

*enterica* Subsp. *S. enterica* angehörenden Serovare *S. Typhi* und *S. Paratyphi* zu den spezialadaptierten Serovaren. Für Schweine zählen *S. Choleraesuis* und *S. Typhisuis* zu den artspezifischen Erregern (siehe Tabelle 2). Diese verursachten früher schwere wirtschaftliche Verluste in Schweinebeständen (Selbitz et al., 1995). Die akute Infektion führte zu Fieber bis 42 °C sowie zu wässrigem, gelb-grauem, z. T. auch blutigem Kot (Blobel/Schliesser, 1981, Loula, 1992). Dabei ist *S. Choleraesuis* weniger stark an eine Tierart gebunden als *S. Typhisuis* und auch für den Menschen als pathogen einzustufen. Infektionen beim Menschen sind ausgesprochen selten, können für den Fall einer Erkrankung jedoch sogar tödlich verlaufen.

Zu den **endemisch vorkommenden, nicht spezialadaptierten Serovaren** können die ebenfalls der Spezies *Salmonella enterica* und Subsp. *enterica* angehörenden Serovare *S. Typhimurium*, *S. Enteritidis*, *S. Infantis* sowie *S. Bovismorbificans* gezählt werden. Diese Serovare werden als hochvirulent eingestuft und können neben subklinischen Infektionen bei Mensch und Tier auch schwere Krankheitsbilder hervorrufen (Selbitz, 1992; Blaha, 1993). *S. Typhimurium* und *S. Enteritidis* sind jene Serovare mit der größten humanpathogenen Bedeutung (siehe Tabelle 2).

Zur letzten Gruppe, den **sporadisch vorkommenden, nicht spezialadaptierten Serovaren** gehören Serovare wie *S. Agona*, *S. Derby*, *S. London*, *S. Manhattan* etc. Diese Serovare kommen nur gelegentlich bei Tieren vor und verursachen dort, wenn überhaupt, lediglich geringe klinische Erkrankungen. Da sie vom Tier auf den Menschen übertragbar sind, haben sie zwar eine punktuelle zoonotische Bedeutung, welche jedoch aus epidemiologischer Sicht als gering einzustufen ist (Blaha, 1993).

**Tabelle 2: Einteilung der Salmonellen nach Wirtsanpassung und Bedeutung für Tiere und Menschen**

Hauptmerkmale	Vertreter	Bedeutung für Tiere	Bedeutung für den Menschen
Anpassung an den Menschen	<i>S. Typhi</i>	bedeutungslos	Erreger des Typhus
	<i>S. Paratyphi</i>	bedeutungslos	Erreger des Paratyphus
Anpassung an bestimmte Tierarten	<i>S. Dublin</i> (Rind) <i>S. Choleraesuis</i> (Schwein) <i>S. Gallinarum</i> (Huhn)	ausgeprägte Krankheitsbilder, seuchenhafte Krankheitsverläufe	Infektionen selten, in Einzelfällen schwere Erkrankungen ( <i>S. Dublin</i> , <i>S. Choleraesuis</i> )
Keine Anpassung an bestimmte Tierarten, aber z.T. Invasivität	<i>S. Enteritidis</i> <i>S. Typhimurium</i>	schwere seuchenhafte Krankheitsverläufe bis latente Infektionen	Haupterreger von Zoonosen (Enteritis infectiosa)
Keine Anpassung an bestimmte Tierarten, nicht invasiv	Mehr als 2000 weitere Serovare	vorwiegend latente Infektionen, Erkrankungen möglich	punktuelle Bedeutung als Zoonoseerreger

Quelle: Rolle/Mayr (2002)

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Spezies *Salmonella enterica* alle für Warmblüter bedeutsamen Serovare vereint. Die Subspezies *S. arizonae* und *S. diarizonae* kommen vor allem bei wechselwarmen Tieren vor. Die übrigen Serovare der Spezies *Salmonella enterica* sowie die Spezies *S. bongorie* werden hingegen hauptsächlich in Umweltproben nachgewiesen (Selbitz, 1992).

### 2.1.3 Tenazität und Persistenz in der Umwelt

Salmonellen sind generell recht unempfindlich gegenüber äußeren Faktoren (Persistenz<sup>4</sup>), sie besitzen eine hohe Widerstandsfähigkeit, welche ihnen das wochen- bis monatelange Überleben in der Umwelt sowie in Medien wie Futter oder Lebensmitteln ermöglicht (Tenazität<sup>5</sup>) (Gareis, 1995; Rolle/Mayr, 2002). Dadurch können sie Vektoren wie Futter, Gerätschaften, Schädlinge, Fahrzeuge usw. sehr effektiv nutzen (Schwartz, 1999). Ihr Überleben ist von vielen Faktoren abhängig: Sowohl die Ausgangskeimzahl, die Temperatur, die relative Luftfeuchte, einwirkende Strahlung sowie konservierende Schutzsubstanzen spielen eine Rolle (Böhm, 1993). In der folgenden Tabelle 3 wird ein Überblick über die maximale Überlebenszeit von Salmonellen in verschiedenen Substraten angegeben sowie in der Tabelle 4 die Überlebenszeit der Serovare *S. Typhimurium* und *S. Choleraesuis* im Stallmilieu.

**Tabelle 3: Überlebenszeit von *Salmonella*, angegeben in d = Tagen in verschiedenen Substraten**

Material	Überlebenszeit	Literaturquelle
Kot (Kuh), trocken	2136 d	FORSHELL and EKESBO (1996)
Kuhdung	183–204 d	FORSHELL and EKESBO (1993)
Kuhdung, kompostiert	bis 7 d	FORSHELL and EKESBO (1993)
Schweinekot, trocken	364 d	GRAY and FEDORKA-GRAY (2001)
Schweinekot, feucht	84 d	GRAY and FEDORKA-GRAY (2001)
Hühnermist	14–154 d	HIMATHONGKHAN et al. (2000)
Kuhurin	Bis 5 d	FORSHELL and EKESBO (1996)
Futter	bis 553 d (7°C)	NASHED (1986)
Stallwände, -gebäudeteile mit trockenem Kuhkot	2136 d	FORSHELL and EKESBO (1996)
Erdboden	28–77 d	PLATZ (1981)
Wasser	bis 54 d	MOORE et al. (2003)
Bodensatz im Wassertank	bis 119 d	MOORE et al. (2003)
Aerosole	mind. 2 h	MC DERMID and LEVER (1996)

Quelle: Marburger (2006)

Die Wachstumsrate von Salmonellen ist vor allem abhängig von Temperatur (Temperaturoptimum zwischen 35 und 37 °C), pH-Wert (pH-Optimum zwischen 6,5 und 7,5) und Nährstoffgehalt des umgebenden Mediums. Salmonellen vermehren sich durch Teilung, unter für sie günstigen Bedingungen kann eine Teilung alle 20 min erfolgen. Dadurch kann aus einer einzigen Bakterie innerhalb von sechs Stunden eine Millionen Bakterien werden (Gesundheitsamt Rhein-Sieg-Kreis, 2009). Die verschiedenen Serovare zeigen aber auch spezifische Wachstumseigenschaften und Unterschiede in der Interaktion mit der Begleitflora (Sinell, 1992). Laut Böhm (1993) können sich *S. Enteritidis* sowie *S. Typhimurium* noch bei einem minimalen Nährstoffangebot von ca. 60 mg Protein/l im Temperaturbereich von 7–47 °C vermehren. Gegenüber Hitze sind sie recht empfindlich, so werden sie in der Regel bei 80 °C innerhalb von Minuten abgetötet (Libby, 2004; Waldmann/Wendt, 2004). Bei Minustemperaturen bleiben sie hingegen viele Monate lebensfähig, ein Überleben ist ihnen sogar in tiefge-

<sup>4</sup> Persistenz: ist die Eigenschaft von Stoffen, unverändert durch physikalische, chemische oder biologische Prozesse über lange Zeiträume in der Umwelt zu verbleiben (WISSEN. DE, 2010).

<sup>5</sup> Tenazität: ist ein Begriff aus der Biologie für die Widerstandsfähigkeit von Mikroorganismen gegen äußere Einflüsse, wie z. B. Chemikalien, Hitze, Kälte oder Strahlung (WISSEN. DE, 2010).



fronen Lebensmitteln möglich (Gareis, 1995). D'Aoust (1989) berichtet, dass noch nach sieben Jahren aus bei -23 °C aufbewahrtm Speiseeis *S. Enteritidis* und *S. Typhimurium* isoliert werden konnten.

Nach dem Überleben unter solch extremen Bedingungen können sie sich unter dann folgenden günstigeren Bedingungen durch ihre hohe Teilungsrate wieder rasend schnell vermehren.

Salmonellen sind darüber hinaus in der Lage, sowohl organischen als auch anorganischen Säuren zu widerstehen. Diese Resistenz gegenüber Säuren wird durch Säure-Schock-Proteine vermittelt, für deren Produktion Säure-Resistenzmechanismen verantwortlich sind. Sobald Salmonellen einem pH-Wert von 4,5 oder niedriger ausgesetzt sind, wird ein kurzzeitiger Säure-Schutzmechanismus aktiviert (Lee et al., 1995; Audia et al., 2001).

**Tabelle 4: Überlebenszeit von *Salmonella* im Stallmilieu**

Serovar	Substrat	Nachweisdauer
<b><i>S. Typhimurium</i></b>	Glatte Metalloberflächen	2 Wochen
	Wasser	1 Monat
	feuchte Erde	1 Jahr
	trockene Erde	1,3 Jahre
	Kontaminierter Klärschlamm	1,4 Jahre
	Getrockneter Kot	2,5 Jahre
	Abwasser	2,7 Jahre
	Staub (Raumtemperatur)	4 Jahre
<b><i>S. Choleraesuis</i></b>	Trockener Kot	1,6 Jahre
	Schweinegülle Sommer / Winter	bis 1 Monat / 2,5 Monate
	Holzeinrichtung des Stalles	2-3 Monate

Quelle: Beer (1982); Schöning (1999)

In stark saurem Milieu (unter pH-Wert 4) werden sie jedoch abgetötet, sofern sie nicht durch umgebende Schutzsubstanzen (z. B. Kotreste, Futterbrei) abgeschirmt sind. Gleiches gilt für gebräuchliche Desinfektionsmittel (auf der Basis von Phenolen, Chlor oder Jod) sowie für direkte Sonneneinstrahlung (Marburger, 2006).

#### 2.1.4 Diagnostik

Nach Nielsen/Baggesen (1997) ist der perfekte Test zum Nachweis von Salmonellen charakterisiert durch eine sehr hohe Spezifität<sup>6</sup> und Sensitivität<sup>7</sup>, ist leicht durchzuführen, günstig, schnell, und es ist möglich, sehr viele Proben zu bearbeiten. Es kann einerseits zwischen bakteriologischen Testverfahren und andererseits serologischen Antikörpernachweistestverfahren (ELISA) unterschieden werden.

<sup>6</sup> Spezifität: Mit dieser wird die Wahrscheinlichkeit ausgedrückt, mit der ein in Wirklichkeit erregerefreies Tier bei Anwendung des Nachweisverfahrens auch als negativ beurteilt werden würde (Steinbach, 1997).

<sup>7</sup> Sensitivität: Diese gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit es zu einem positiven Befund kommt, wenn eine Infektion auch in der Wirklichkeit vorliegt (Steinbach, 1997).

#### 2.1.4.1 Bakteriologische Nachweisverfahren

Die Diagnose am lebenden Tier erweist sich durch die überwiegende Lokalisation des Erregers in den Darmlymphknoten und den Tonsillen (Mandeln) der Tiere als äußerst schwierig. Darüber hinaus ist der Erreger auch im Kot in einigen Fällen schwer nachweisbar (Waldmann/Plonait, 1997; Schwartz, 1999; Selbitz, 2002). Laut Nielsen et al. (1995) werden in der akuten Phase einer Salmonelleninfektion massiv Salmonellen mit dem Kot ausgeschieden. Im Gegensatz dazu scheiden chronisch infizierte Schweine oder latente Keimträger nur intermittierend geringe Konzentrationen an Salmonellen aus. Die Spezifität bakteriologischer Untersuchungen liegt bei 100 %. Jedoch ist die Sensitivität durch die zum Teil geringen Ausscheidungsmengen deutlich niedriger. Durch wiederholte Probenahme von Schweinekot innerhalb einer Herde oder eines Stalles sowie durch große Probengrößen kann die Sensitivität des Nachweises von *Salmonella* erhöht werden (Wierup, 1997; Nielsen/Baggesen, 1997; Funk et al., 1997; Hurd et al., 2002a). Um auch bei latenten Infektionen eine sinnvolle Einschätzung in Bezug auf die Belastung im Bestand vornehmen zu können, empfehlen Nielsen/Baggesen (1997) die Untersuchung von Kotproben mit einem Volumen zwischen 5 g und 25 g.

#### 2.1.4.2 Serologische Nachweisverfahren mittels ELISA-Test

Durch die Salmonelleninfektion kommt es bei Tieren und Menschen zu einer Antikörperproduktion gegen eine Vielzahl von Antigenen. Je kürzer der Infektionszeitpunkt dabei zurückliegt und je intensiver der Salmonellenkontakt war, desto höher sind die Antikörpergehalte (LVL, 2010). Diese Antikörperantwort kann durch den Enzyme Linked Immunoabsorbent Assay (ELISA-Test) nachgewiesen werden, welcher die Antikörper im Fleischsaft einer Muskelprobe oder im Serum der Tiere bestimmt. Hierzu werden die Antigene auf einer Mikrotiterplatte gebunden; nach Zugabe eines Substrates kommt es zu einer Färbung, deren Intensität mithilfe eines Photometers in % optischer Dichte (OD %) gemessen werden kann (Hahn et al., 1994). Durch dieses Verfahren können dann indirekte Aussagen zur Salmonellensituation in Schweinebeständen getroffen werden (Nielsen et al., 1998).

Erste Testsysteme wurden 1977 entwickelt. Der Vorteil des Testsystems liegt in der schnellen Durchführung im Gegensatz zum kulturellen Nachweis (Beumer et al., 1991), außerdem sind sie kostengünstiger als die Durchführung von bakteriologischen Verfahren. In Deutschland stehen heute verschiedene ELISA-Testsysteme für den Nachweis von *Salmonella*-Antikörpern zur Verfügung. Bei einem Vergleich der drei anerkannten und im Handel erhältlichen Testkits konnte Blaha (2003) feststellen, dass sie zu ähnlichen Ergebnissen führten. Die Serologie ist sensibler als die bakteriologische Untersuchung, da Antikörper nach einer Infektion länger anwesend sind, als Salmonellen nachgewiesen werden können. Generell beweisen positive serologische Salmonellenbefunde mit hoher Sicherheit eine vorliegende oder vorausgegangene Infektion; die Salmonellenfreiheit eines Tieres oder Bestandes kann dagegen durch den serologisch negativen Befund bzw. durch ausschließlich negative Befunde unter den Tieren eines Bestandes nicht belegt werden (Steinbach, 2002). Die Sensitivität ist nicht 100 %, da zum einen nicht alle beteiligten Serovaren durch den ELISA erfasst werden und zum anderen die Bildung der Antikörper eine Zeitspanne von sieben bis zehn Tagen benötigt; dadurch können zu früh entnommene Proben negativ ausfallen. Außerdem können Salmonellen den Organismus passieren, ohne eine Immunantwort auszulösen (Van der Wolf, 2002).

## 2.2 Salmonelleninfektion und Salmonellose des Schweines

### 2.2.1 Pathogenese und Klinik

Infektionen können in allen Altersgruppen auftreten. Sie kommen jedoch gehäuft bei Tieren in der Zeit nach dem Absetzen bis zum dritten bzw. vierten Lebensmonat auf (Clarke/Gyles, 1993; Wendt/Plonait, 2004). Saugferkel hingegen sind vermutlich durch die maternalen Antikörper aus dem Kolostrum geschützt und dadurch recht selten betroffen (Dahl et al., 1997). Beim Absetzen der Ferkel entsteht durch die Umstallung sowie Futter- und Klimaumstellung Stress, welcher als fördernd für die Anfälligkeit für eine Salmonelleninfektion angesehen werden kann (Rolle/Mayr, 2002). Durch den Stress wird die Katecholaminausschüttung massiv erhöht, die dadurch einhergehende Hemmung der Magensäureproduktion bewirkt durch den Anstieg des pH-Wertes im Magen, dass mehr Salmonellen die Passage durch den Darm überleben (Selbitz et al., 1995; Schwartz, 1999).

Beim Schwein sind sowohl **subklinische** als auch **klinische Infektionen** möglich. Die minimale orale Aufnahme einer infektiösen Dosis ist Voraussetzung für die Erkrankung an einer Salmonellose. Die klinischen Salmonellosen können in eine **primäre (artspezifisch)** sowie eine **sekundäre Form (nicht artspezifisch)** unterteilt werden.

Für Schweine zählen *S. Choleraesuis* und *S. Typhisuis* zu den **artspezifischen Erregern (primäre Salmonellose)**, welche eine meist **klinische Salmonellose** auslösen. Diese verursachen früher schwere wirtschaftliche Verluste (Selbitz et al., 1995). Die akute Infektion führte zu Fieber bis 42 °C, sowie zu wässrigem, gelb-grauem, z. T. auch blutigem Kot. Eine *Choleraesuis*-Infektion verläuft in Form einer Allgemeinerkrankung, bei welcher plötzliche Todesfälle auftreten. Die Mortalität<sup>8</sup> liegt bei 5–10 % (zum Teil 70 %) (Steinbach/Kroell, 1999). Nach der oralen Infektion tritt nach etwa 24 bis 48 Stunden Fieber bis zu 42 °C auf, zusätzlich treten Mattheit und Fressunlust auf. Typisch ist die blau-rote Verfärbung der Ohrmuscheln, der Rüsselscheibe, des Unterbauches sowie der Gliedmaßen. Nach drei bis vier Tagen können wässrige, gelb-graue Durchfälle beobachtet werden, zudem können Pneumoniesymptome und bei Sauen Aborte auftreten (Rolle/Mayr, 2002). *S. Typhisuis* kommt nur in seltenen Fällen vor, hier sind vor allem Absatzferkel betroffen. Die Erkrankung hat meist einen schleichenden Verlauf mit intermittierenden Durchfällen, Abmagerung und chronischen Pneumonien (Rolle/Mayr, 2002).

Das häufigste Serovar beim Schwein ist jedoch seit Jahren das zu der Spezies *Salmonella enterica* (Enteritis-Salmonellen) gehörende *S. Typhimurium*, welches zu den endemisch vorkommenden, **nicht speziesadaptierten (sekundäre Salmonellose)** Serovaren gehört. Im Jahre 2007 machte es wie auch bereits in den vorigen Jahren bei bakteriologischen Untersuchungen über 70 % der isolierten Salmonellen aus (Hartung, 2009). Diese nicht speziell an das Schwein adaptierten Salmonellenarten verursachen meist nur eine **latente Infektion (subklinische Salmonellose)**, welche erst bei zusätzlichen Stressfaktoren in eine manifeste Erkrankung übergeht (**klinische Salmonellose**). Die **klinischen** Erscheinungen der *S. Typhimurium*-Infektion sind von Durchfall sowie Fieber von drei bis sieben Tagen gekennzeichnet. Auch bei genesenen Tieren kann eine langfristige Erregerausscheidung stattfinden (Waldmann/Wendt, 2004). Werden die Erreger länger als ein Jahr ausgeschieden, spricht man von Dauerausscheidern (Sander, 1993).

<sup>8</sup> Unter dem Begriff der Mortalität = Sterblichkeit (statistisch Sterbeziffer) wird die Verminderung der Bevölkerung durch Tod verstanden, i. e. S. Prozentzahl der Todesfälle in einem bestimmten Zeitraum, bezogen auf die Gesamtbevölkerung oder auf Bevölkerungssteile (Roche Lexikon Medizin, 2003c).

Grundsätzlich lassen sich nach Wray/Soyka (1977) drei Arten von Keimträgern unterscheiden:

- **Aktive Ausscheider:** Der Erreger wird meist in Folge einer klinischen Erkrankung über Monate hinweg ausgeschieden.
- **Passive Ausscheider:** Die Salmonellen werden oral aufgenommen und nach der Passage des Magen-Darm-Traktes wieder ausgeschieden.
- **Latente Träger:** Salmonellen werden aufgenommen, persistieren jedoch anschließend in den inneren Organen. Die Erreger werden nicht ständig mit dem Kot ausgeschieden.

### 2.2.2 Latente Salmonelleninfektion

Die subklinische, latente oder inapparente (Rolle/Mayr, 2002) Salmonelleninfektion ist von der Salmonellose durch das Fehlen klinischer Symptome zu unterscheiden, sie ist die heute am häufigsten auftretende Form. Sie entwickelt sich häufig aus einem Zusammenspiel verschiedener Faktoren. Hierbei stehen insbesondere die Art des Serovars, das Alter des Tieres sowie die Erregerdosis im Vordergrund.

Einige Serovaren neigen mehr als andere dazu, subklinisch verlaufende Infektionen zu verursachen, wie etwa viele speziesadaptierte Serovare. Zum Beispiel lösen die nicht speziesadaptierten Serovare *S. Typhimurium* und *S. Enteritidis* oft solch eine latente, subklinische Salmonelleninfektion aus – sie sind jene Serovare mit der größten humanpathogenen Bedeutung.

Junge Tiere scheiden die Erreger meist nur während der Genesung aus, während ältere Tiere hingegen häufiger zu chronischen Ausscheidern werden. Aber auch die Aufnahme einer geringen, für die Auslösung einer Erkrankung unzureichenden Erregermenge kann zu einer andauernden, subklinischen Infektion führen (Clarke/Gyles, 1993). Nach Dedie et al. (1993) führt die Aufnahme geringer Keimzahlen ( $10^3$ – $10^5$ ) nur zu einer vorübergehenden Haftung der Erreger im Darm und einer damit verbundenen Ausscheidung über den Kot. Höhere Infektionsdosen ( $10^7$ – $10^9$ ) können jedoch auch eine langanhaltende Dauerausscheidung hervorrufen, die nur vereinzelt vom Auftreten klinischer Symptome begleitet wird.

Durch das Fehlen der klinischen Symptome deuten oft lediglich Wachstumseinbußen und ein erhöhter Anteil von Kümmerern im Bestand auf eine Salmonellenerkrankung hin. Meist wird erst am Schlachthof mittels Fleischsaft-Enzyme-linked Immunosorbent Assay (ELISA) eine frühere Salmonellenerkrankung im Bestand erkannt. Durch diese Tatsache bleibt ein erheblicher Anteil von mit Salmonellen infizierten Trägertieren im Betrieb unbemerkt und stellt ein ernstes lebensmittelhygienisches Problem dar, da infizierte Tiere den Erreger unerkant ausscheiden und dadurch eine ständige Infektionsquelle für Mensch und Tier darstellen können (Rolle/Mayr, 2002; Gareis, 1995; Blaha, 1993).

### 2.2.3 Übertragungswege beim Schwein

Als Hauptinfektionsquelle schweineadaptierter Serovare werden andere Schweine, welche als Ausscheider dienen, angesehen. Die Verbreitung des Erregers erfolgt über die Aufnahme von kontaminiertem Kot (fäkal-orale Infektion) oder über nasopharyngeale Sekrete bei nasalem Kontakt (Selbitz, 1995; Rolle/Mayr, 2002). Eine Infektion kann dabei entweder vertikal durch die Übertragung von der Sau auf ihre Nachkommen oder horizontal durch direkten oder indirekten Kontakt erfolgen (Blaha, 1993; Fedorka-Cray, 1997; Schwartz, 1999). Außerdem spielt die Zirkulation der Salmonellen im Bestand eine große Rolle. Weitere Ausführungen folgen im Kapitel 3.4.



Es können dabei drei Infektionskreise unterschieden werden:

- **Enzoonotischer Infektionskreis:** Bei dieser typischen Verbreitungsform scheiden akut erkrankte Tiere große Mengen an Salmonellen aus. Durch die Kontamination von Futter und Tränke werden weitere Tiere infiziert. Außerdem führt die hohe Tenazität der Salmonellen in der Umwelt zu einer erhöhten Verschleppung über Vektoren wie Personal, Geräte, Schadhager und andere Haustiere oder Insekten.
- **Infektion über kontaminiertes Wasser:** Siedlungsabwässer sind oft salmonellenhaltig. In 80–90 % der Proben von Frischschlamm aus Kläranlagen von städtischen Einzugsgebieten konnten Salmonellen festgestellt werden. Überschwemmungen von belasteten Gewässern sowie das Ausbringen von belasteter Gülle können das Weideland von Tieren kontaminieren.
- **Infektion über kontaminierte Futtermittel:** Futtermittel stellen oft eine Quelle für Salmonellen dar. Meist erfolgt eine Sekundärkontamination durch falsche Verpackung oder Lagerung (Rolle/Mayr, 2002).

Die quantitative Ausprägung der Ausbreitung der Salmonellen innerhalb der Bestände wiederum ist in erster Linie von der Exposition (Infektionsdosis) und der Disposition (Anfälligkeit der Wirte) abhängig. Beide stehen in einer wechselseitigen Beziehung. Niedrige Expositionen in Beständen mit einer guten Abwehrlage können u. U. zu keinerlei Infektketten führen, währenddessen geringere Infektionsdosen bei abwehrgeschwächten Individuen hohe Ausscheidungsraten bewirken können (Blaha, 1993). Die Inkubationszeit variiert von zwei Tagen bis zu mehrere Wochen. Untersuchungen von Blaha et al. (1997) über den zeitlichen Verlauf der Nachweismuster von Salmonellen in Organen von Schweinen nach oraler Aufnahme ergaben schon nach zwei Stunden den Nachweis von Salmonellen im Rektum. Hurd et al. (2001a; 2001b) wiesen sogar nach, dass Schweine bereits nach 30 Minuten Aufenthalt in kontaminierter Umgebung infiziert sein können und Salmonellen mit dem Kot ausscheiden.

#### 2.2.4 Vorkommen beim Schwein

Zur Darstellung des Vorkommens von Salmonellen bei Schweinen in Deutschland sollen im Folgenden Daten aus dem Bericht „Erreger von Zoonosen in Deutschland im Jahr 2007 – Mitteilungen der Länder zu Lebensmitteln, Tieren, Futtermitteln und Umweltproben“ (Hartung, 2009), welcher durch das nationale Referenzlaboratorium für die Epidemiologie der Zoonosen (Bundesinstitut für Risikobewertung Fachgruppe 43, Berlin) verfasst wird, für das Jahr 2007 zusammenfassend dargestellt werden.

Bei den Beprobungen von Schweinen wurde im Jahr 2007 bei den **bakteriologischen Untersuchungen** in Herden bei etwa 12.000 Untersuchungen ein Rückgang der Salmonellenbelastung auf 7,14 % (2006: 8,22 %) festgestellt. Bei den Untersuchungen der Einzeltiere konnte ein geringer Anstieg auf 4,74 % (2006: 3,47 %) verzeichnet werden. *S. Typhimurium* machte bei diesen Untersuchungen etwa 70 % der isolierten Salmonellen aus. Wie bereits im Vorjahr wurde bei Schweinen *S. Enteritidis* nur in wenigen Fällen nachgewiesen (Hartung, 2009). Die *Salmonella*-Rate von Zuchtschweinen in bakteriologischen Einzeltieruntersuchungen ist zum Jahre 2007 angestiegen auf 6,16 % (2006: 1,88 %).

Bei den **immunologischen Untersuchungen** wurden 2007 für 68,52 % der untersuchten Herden positive Nachweise geführt (37 von 54 Herden). Bei den Einzeltieruntersuchungen wurden wie im Vorjahr in 14 % der Fälle *Salmonella*-Antikörper nachgewiesen. Dabei waren 28 % routinemäßig nach Stichprobenplan durchgeführte Proben (Planproben) und 38 % Anlassproben<sup>9</sup> (Hartung, 2009).

<sup>9</sup> Anlassproben sind Proben, welche aufgrund eines Verdachtes, einer Verfolgung oder aufgrund einer Wiederholung genommen werden (Hartung, 2009).

Anhand dieser Daten kann festgestellt werden, dass in den heutigen Schweinebeständen nach wie vor Salmonellen präsent sind, wodurch eine Gefahr für den Verbraucher ausgeht. Für eine detaillierte Beschreibung der aktuellen Lage zur Prävalenz<sup>10</sup> (Krankheitshäufigkeit) von *Salmonella* in den Beständen von Schlachtschweinen sind die Daten jedoch nicht ausreichend. Aus diesem Grund wurde die Fachgruppe 43 des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) beauftragt, im Rahmen einer Grundlagenstudie vergleichbare Daten über die Prävalenz von Salmonellen in Schlachtschweinebeständen zu erheben. Nähere Ausführungen hierzu folgen im Abschnitt 2.3.3.

## 2.3 Gesetzliche Rahmenbedingungen

### 2.3.1 Rechtliche allgemeine Rahmenbedingungen in Deutschland

Im Humanbereich regelt das am 1. Januar 2001 in Kraft getretene Infektionsschutzgesetz (IfSG), welche Krankheiten bei Verdacht, Erkrankung oder Tod meldepflichtig sind. Ein Auftreten der Salmonellose unterliegt in Deutschland bei indirektem oder direktem Nachweis der Meldepflicht nach § 7 IfSG. Die Meldung hat unverzüglich und namentlich beim zuständigen Gesundheitsamt (§ 8 (3) IfSG) zu erfolgen, wobei alle verfügbaren Patientendaten anzugeben sind (§ 9 (2) IfSG). Die zentrale Dokumentation der Meldungen sowie die Veröffentlichung der Daten erfolgt durch das Robert Koch-Institut in Berlin (RKI) (§ 4 IfSG). Dabei werden die Daten im wöchentlich erscheinenden Epidemiologischen Bulletin und im Infektionsepidemiologischen Jahrbuch veröffentlicht.

Tierseuchen sind nach der „Verordnung über anzeigepflichtige Tierseuchen“ (TierSeuchAnzV) auf Grundlage des Tierseuchengesetzes (Tiers § 10) beim Auftreten dem zuständigen Amtstierarzt anzuzeigen. Die Meldungen werden in das Tierseuchen-Nachrichtensystem (TSN) eingegeben und jährlich im Tiergesundheitsjahresbericht vom Friedrich-Loeffler-Institut (FLI) veröffentlicht. Impfstoffe, Sera und Antigene müssen nach § 17 des Tierseuchengesetzes zugelassen werden.

Es werden regelmäßig bakteriologische Fleischuntersuchungen (BU) auf dem Schlachthof mittels Stichproben durchgeführt (Planproben). Darüber hinaus werden bei Verdachtsmomenten während der Schlachtung Untersuchungen veranlasst (Anlassproben). Die Ausführung der Untersuchungen ist in der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift über die Durchführung der amtlichen Überwachung der Einhaltung von Hygienevorschriften für Lebensmittel tierischen Ursprungs und zum Verfahren zur Prüfung von Leitlinien für die gute Verfahrenspraxis“ (AVV LmH, Anlage 4, Kap. 3) geregelt.

Aufgrund der europäischen Verordnung (EG) Nr. 882/2004 müssen die Mitgliedstaaten sicherstellen, dass amtliche Kontrollen der Lebensmittel durchgeführt werden. Diese sind regelmäßig und mit angemessener Häufigkeit durchzuführen. In Deutschland wird dies durch das „Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände und Futtermittelgesetzbuch“ (LFGB) und die AVV-Rahmen-Überwachung (AVV-RÜb) geregelt. Die Planproben werden durch die Lebensmittelkontrolleure aus im Handel befindlichen Lebensmitteln mit einem bestimmten Stichprobenschlüssel gezogen (§ 10 und § 11 der AVV-RÜb). Durch den § 43 des LFGB werden die amtlichen Probenahmen für Futtermittel tierischer Herkunft festgelegt.

<sup>10</sup> Unter dem Begriff der „Prävalenz“ wird die epidemiologische Häufigkeit aller Fälle einer bestimmten Krankheit in einer Population zum Zeitpunkt der Untersuchung verstanden (Roche Lexikon Medizin, 2003d).

### 2.3.2 Rechtliche Rahmenbedingungen in Bezug auf Zoonosen auf EU-Ebene

Die neue EU-weit geltende Zoonoseverordnung „Verordnung (EG) Nr. 2160/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Bekämpfung von Salmonellen und anderen durch Lebensmittel übertragbaren Zoonoseerregern“ wurde zum Schutz der menschlichen Gesundheit vor Zoonosen sowie zur Vereinheitlichung der Maßnahmen und zur Verbesserung der Bekämpfung bezüglich spezifischer Zoonoseerreger im Jahre 2003 verabschiedet. Damit wurde durch diese Verordnung die Grundlage zur Etablierung der nationalen Bekämpfungsprogramme für Salmonellen und andere Zoonoseerreger geschaffen. Mit der neuen Zoonoseverordnung liegt der Fokus vor allem auf der Stufe der Primärproduktion; hier sollen die auftretenden Zoonosen bereits im Keim bekämpft werden. Auch wenn auf jeder Stufe des Produktionsprozesses eine Salmonellenkontamination erfolgen kann, macht der Eintrag durch den „Rohstoff“ Schlachtschwein den größten Anteil aus und bestimmt darüber hinaus das Level des Salmonellenrisikos für die nachfolgenden Produktionsstufen (Blaha, 2003).

Laut der neuen Zoonoseverordnung sollen Gemeinschaftsziele zur Senkung der Prävalenz spezifischer Zoonosen und Zoonoseerreger bei bestimmten Tierpopulationen festgelegt werden. Bei der Festlegung der Gemeinschaftsziele für Zoonosen und Zoonoseerreger in der Tierpopulation sollen vor allem beachtet werden:

1. die Häufigkeit und die epidemiologischen Entwicklungstendenzen in der Tier- und Humanpopulation sowie in Lebensmittel und Futtermitteln,
2. die Schwere der Krankheitsfälle beim Menschen,
3. die potentiellen wirtschaftlichen Konsequenzen,
4. wissenschaftliche Gutachten und das Vorhandensein angemessener Maßnahmen zur Senkung der Zoonosen- und Erregerprävalenz.

Den rechtlichen Rahmen zur Erreichung des Gemeinschaftszieles „Senkung der Salmonellenprävalenz in Schweinebeständen mit Bedeutung für die öffentliche Gesundheit“ bilden die Richtlinie 2003/99/EG und die Verordnung (EG) Nr. 2160/2003 über die Bekämpfung von Salmonellen und bestimmten anderen durch Lebensmittel übertragbaren Zoonoseerregern (EG, 2003a; EG, 2003b).

Die Richtlinie 2003/99/EG verfolgt das Ziel einer Verbesserung der bestehenden Überwachungs- und Datenerfassungssysteme (Monitoring von Zoonoseerregern) für das Vorkommen von Salmonellen bei Tieren, Lebensmitteln sowie von menschlichen Erkrankungen (Ellerbroek, 2007).

Um auf vergleichbare Daten über die Prävalenz von Salmonellen bei Schlachtschweinen zugreifen zu können, waren die Mitgliedsstaaten (MS) zunächst dazu aufgerufen, nationale Seroprävalenzstudien bei Schweinen zu entwickeln und durchzuführen, um dann im Folgenden die Gemeinschaftsziele festzulegen und konkrete Bekämpfungsmaßnahmen ergreifen zu können (RKI, 2005; Ellerbroek, 2007).

### 2.3.3 Nationale Seroprävalenzstudien

Basierend auf der „Entscheidung der Kommission vom 29. September 2006 über eine Finanzhilfe der Gemeinschaft für eine Grundlagenerhebung in den Mitgliedstaaten über die Prävalenz von Salmonellen bei Schlachtschweinen“ wurde die Fachgruppe 43 des Bundesinstituts für Risikobewertung durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) beauftragt, im Rahmen einer Grundlagenstudie vergleichbare Daten über die Prävalenz von Salmonellen in Schlachtschweinebeständen zu erheben. Die Studie ist Teil eines EU-weiten Monitoringprogramms, das erstmals einen repräsentati-

ven Überblick darüber liefert, in welchem Umfang Mastschweine in der EU mit Salmonellen belastet sind. Auf der Grundlage der Ergebnisse können europaweit und länderspezifisch Bekämpfungsprogramme zur Verringerung der Salmonellenbelastung bei Mastschweinen festgelegt werden. In dieser Studie wurden 2.569 Proben von Darmlymphknoten bei der Schlachtung der Schweine entnommen und bakteriologisch untersucht. In den Lymphknoten lassen sich Salmonellen besonders gut nachweisen. Die Proben von 326 Tieren (12,7 %) waren dabei *Salmonella*-positiv. Das Nationale Referenzlabor für Salmonellen am BfR differenzierte 23 Untergruppen und stellte fest, dass die humanpathogenen Serovare *Salmonella* Enteritidis und *Salmonella* Typhimurium auch bei Mastschweinen vorkommen. *Salmonella* Typhimurium war mit 180 Isolaten (55,2 % der *Salmonella*-positiven Proben) am häufigsten vertreten, während *Salmonella* Enteritidis mit zehn Isolaten (3,1 %) relativ selten nachgewiesen wurde. Die Ergebnisse zeigen, dass auch Mastschweine potentielle Infektionsquellen für den Menschen sind (siehe Tabelle 5) (BfR, 2008).

**Tabelle 5: Prävalenz von *Salmonella* spp. bei Schlachtschweinen nach Studienquartal**

Zeitraum	Anzahl der untersuchten Tiere	Anzahl der positiven Tiere	Anteil der positiven Tiere in %
1. Quartal (Oktober-Dezember 2006)	600	63	10,5
2. Quartal (Januar-März 2007)	667	78	11,7
3. Quartal (April-Juni 2007)	658	92	14,0
4. Quartal (Juli-September 2007)	644	93	14,4
<b>Gesamt</b>	<b>2.569</b>	<b>326</b>	<b>12,7</b>

Quelle: BfR (2008)

Die Grundlagenstudie zur Erhebung von Daten zur Prävalenz von Salmonellen bei Schlachtschweinen wurde im Oktober 2007 abgeschlossen; der Bericht ist auf der Internetseite des BfR abrufbar (BfR, 2008).

Mit der Entscheidung der Kommission vom 28. September 2007 erfolgte eine weitere „Grundlagenstudie zum Vorkommen von *Salmonella* spp. in Zuchtschweinen“. Die Erhebung erstreckte sich über einen Zeitraum von einem Jahr ab dem 01. Januar 2008. Von den 2010 untersuchten Kotproben aus 201 Beständen wiesen 125 Proben (6,2 %) Salmonellen auf. Der Anteil war in den Zuchtbetrieben geringfügig höher als in den Ferkelerzeugerbetrieben (7,6 % vs. 5,8 %). Auf Bestandesebene erwiesen sich 45 Bestände (22,4 %) als positiv für *Salmonella*. Der Anteil positiver Bestände war auf der Zuchtebene geringfügig höher als auf der Ebene der Erzeugerbetriebe (28,3 % vs. 20,6 %). Der abschließende Bericht ist ebenfalls auf der Internetseite des BfR verfügbar (BfR, 2009).

#### 2.3.4 Schweine-Salmonellen-Verordnung – nationales Bekämpfungsprogramm

In Deutschland gilt seit März 2007 für alle Mastschweine-produzierenden Betriebe die „Verordnung zur Verminderung der Salmonellenverbreitung durch Schlachtschweine“ (Schweine-Salmonellen-Verordnung, SchwSalmV), mit der Deutschland letztlich die EG-Zoonosen-Bekämpfungsverordnung EG 2160/2003 umsetzt. Danach sind alle Schweinemastbetriebe verpflichtet, innerhalb von zwölf Monaten nach Verordnungserlass ihren Salmonellen-Status gemäß festgelegtem Stichprobenschlüssel ermitteln zu lassen und im Folgenden vierteljährlich zu aktualisieren. Eine Statusermittlung erfolgte erstmalig am 25. März 2008. Bei Beständen mit weniger als 45 zur Schlachtung gebrachten Schweinen pro Jahr ist die gesamte Anzahl der Schlachtschweine serologisch zu untersuchen, bei bis zu 100 abgegebenen

Schlachtschweinen müssen 38 Tiere, bei bis zu 200 Schlachttieren 47 Tiere und bei mehr als 200 Schlachttieren 60 Schweine untersucht werden (siehe Tabelle 6).

**Tabelle 6: Stichprobenschlüssel der zu untersuchenden Schweine nach der Schweine-Salmonellen-Verordnung**

Anzahl der voraussichtlich zur Schlachtung abgegebenen Schweine pro Jahr	Anzahl der zu untersuchenden Schweine
< 45	26 <sup>1</sup>
45 – 100	38
101 – 200	47
> 200	60

<sup>1</sup> sofern weniger als 26 Schweine sind alle Tiere zu untersuchen

Quelle: Bundesgesetzblatt (2007: Anlage 1)

Für die Untersuchungen können einerseits (frühestens 14 Tage vor dem Schlachtzeitpunkt gewonnene) Blutproben oder aber während des Schlachtprozesses gewonnene ELISA-Fleischsaftproben zum Einsatz kommen. Verantwortlich für die Probenentnahme und die Untersuchung ist der Tierhalter, der dazu jedoch eine professionelle Institution beauftragen kann. Für die vorgeschriebene Kategorisierung stehen derzeit drei durch das Friedrich-Loeffler-Institut zugelassene ELISA-Testsysteme zur Verfügung; einen Vergleich der Testsysteme hat Blaha (2003) vorgenommen. Entsprechend der so ermittelten serologischen Befunde erfolgt eine Kategorisierung (Kategorie I bis III) der einzelnen Schweinemastbetriebe. Als gering Salmonellen-belasteter Bestand werden Betriebe mit bis zu 20 % serologisch positiven Tieren eingestuft, als mittelgradig Salmonellen-belastet solche Betriebe mit mehr als 20 bis 40 % serologisch positiven Tieren und als stark Salmonellen-belastete Betriebe schließlich Bestände mit mehr als 40 % serologisch *Salmonella*-positiven Tieren (siehe Tabelle 7). Durch getrennte Schlachtung von Fleisch aus Kategorie-III-Betrieben und anschließende Reinigung und Desinfektion soll die Verschleppung der Salmonellen im Schlachtbetrieb eingedämmt werden (Blaha, 2003; Nowak/Klein, 2005), darüber hinaus soll Fleisch aus Kategorie-III-Betrieben nicht für anfällige Produkte wie Frischfleisch, Hackfleisch oder Rohwurst verwendet werden. Nur Fleisch aus Kategorie-I- und -II-Betrieben ist frei verzehrs- und verkehrsfähig. Preisabschläge oder Anlieferungsverbote für Kategorie-III-Betriebe bleiben den Schlachthöfen vorbehalten.

**Tabelle 7: Bewertung und Kategorisierung der Ergebnisse nach der Schweine-Salmonellen-Verordnung**

Salmonellenrisiko des Bestandes	Kategorie	positive Befunde in der Stichprobe in %
niedrig	I	bis 20
mittel	II	> 20 bis 40
hoch	III	> 40

Quelle: Bundesgesetzblatt (2007: Anlage 2)

Die serologische Kategorisierung als stark Salmonellen-belasteter Betrieb der Kategorie III hat der Landwirt der zuständigen Veterinärbehörde innerhalb von 14 Tagen mitzuteilen. Diese lässt daraufhin epidemiologische Untersuchungen zur Abklärung der Erregereintrags- und der Persistenz-Quellen durchführen. In deren Folge sind wirksame Maßnahmen der Salmonellen-Kontrolle und -Bekämpfung unter Einbeziehung eines Bestand-Tierarztes (nach Schweinehaltungshygiene-VO) durchzuführen und nachzuweisen. Laut Verordnung sind als Salmonellen-Bekämpfungsprogramme hier insbesondere Desinfektions- und Entwesungsmaßnahmen vorzunehmen, es ist jedoch darüber hinaus eine Vielzahl weiterer Maßnahmen im Rahmen eines verbesserten Hygienemanagements wie eine verbesserte Diagnostik, optimierte Fütterungshygiene sowie Vakzinierungen in Betracht zu ziehen (Bundesgesetzblatt, 2007). Ziel der Salmonellen-Bekämpfungsprogramme ist es, die Anzahl der Kategorie-III-

Betriebe zu reduzieren; dabei ist es generell sinnvoll, solche Salmonellen-Bekämpfungsmaßnahmen einzusetzen, welche das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis aufweisen.

## 2.4 Salmonelleninfektion und Salmonellose des Menschen

Wie bereits eingangs erwähnt, liegt die Bedeutung von Salmonellen für die heutige moderne Tierproduktion weniger in den wirtschaftlichen Verlusten bei den Schweinen, welche mit der Erkrankung einhergehen können, als vielmehr in ihrer Rolle als potentielle Zoonoseerreger (Battenberg, 2007).

### 2.4.1 Pathogenese und Klinik

Beim durch *Salmonella* verursachten Krankheitsbild steht Durchfall im Vordergrund. Daneben sind Bauchschmerzen, Übelkeit, Erbrechen und Fieber möglich. Die Symptome dauern in der Regel nur wenige Stunden oder Tage an, führen bei einem Teil der Betroffenen aber auch zu mehrtägigen Krankenhausaufenthalten und können letal enden (RKI, 2008).

Die Salmonellose des Menschen kann in zwei Gruppen eingeteilt werden, welche nachfolgend diskutiert werden.

#### 2.4.1.1 Allgemeininfektion mit Typhus und Paratyphus

Typhus und Paratyphus führten bereits im Mittelalter zu zahlreichen Todesfällen. Sie werden durch die beiden Salmonellen-Serovare *S. Typhi* und *S. Paratyphi* verursacht, unterscheiden sich im Krankheitsbild deutlich von den übrigen Salmonellosen und sollen daher hier nur der Vollständigkeit halber kurz umrissen werden. In den nachfolgenden Kapiteln werden diese beiden Serovare aus der Betrachtung ausgeschlossen. Auch spätere Fallzahlen beziehen Erkrankungen, welche durch diese Serovare ausgelöst wurden, nicht mit ein (RKI, 2008).

Typhus und Paratyphus werden zu den schweren, zyklisch verlaufenden Allgemeinerkrankungen mit Durchfall und hohem Fieber gezählt. Die humanpathogenen Serovare *S. Typhus* und *S. Paratyphus* kommen noch heute endemisch in Afrika, Südamerika und Südostasien (Rolle/Mayr, 2002) vor. Im Zuge der Infektion kann es auch zu Organschäden an Darm, Herz, Niere, Leber und Galle kommen. Eine Übertragung ist auch von Mensch zu Mensch möglich und wird durch die Erreger *S. Typhi*, *S. Paratyphi A*, *B* und *C* verursacht (RKI, 2010).

#### 2.4.1.2 Gastroenteritische Salmonellose

Die restlichen nichttyphoidalen Enteritissalmonellen<sup>11</sup> (im Folgenden als Salmonellen i. e. S. bezeichnet) lösen meist eine akute Gastroenteritis<sup>12</sup> (GE) mit heftigem Durchfall, Erbrechen, Fieber, Mattigkeit, Kopfschmerzen und teilweise abdominalen Krämpfen hervor – diese wird auch als *Salmonella*-Enteritis oder gastroenteritische Salmonellose bezeichnet. Obwohl zahlreiche Serovare vorkommen, sind klinisch gesehen vor allem *S. Enteritidis* und *S. Typhimurium* von Bedeutung (Tschäpe/Bockemühl, 2002). *S. Enteritidis* hat in Deutschland einen Anteil von etwa 60 % und *S. Typhimurium* einen Anteil von etwa 20 % an allen an das RKI übermittelten Salmonellosen (RKI, 2010). Die Infektionsdosis für einen erwachsenen Men-

<sup>11</sup> Bakterien der Gattung *Salmonella enterica* mit Ausnahme der Serovare *Typhi* und *Paratyphi* (Alpers et al., 2004).

<sup>12</sup> Gastroenteritis (Magen-Darm-Katarrh) ist eine Entzündung von Magen und Darm durch Krankheitserreger wie Viren, Bakterien oder Parasiten (WISSEN. DE, 2010).

schen ist mit  $10^4$ – $10^6$  Keimen recht hoch, es sind jedoch auch insbesondere bei stark fetthaltigen Lebensmitteln Erkrankungen durch eine Infektionsdosis unter 100 Keimen beobachtet worden (RKI, 2010). Die Inkubationszeit ist abhängig von der Infektionsdosis und dem Serovar und beträgt 6–72 Stunden, in der Regel 12–36 Stunden (Heymann, 2004). Die Ausscheidung von Enteritis-Salmonellen dauert bei Erwachsenen im Durchschnitt einen Monat an, jedoch wurden vor allem bei Kleinkindern mit schweren Erkrankungsverläufen auch öfter Erregerausscheidungen über einen Zeitraum von mehr als sechs Monaten berichtet (Böhme et al. 2009a; 2009b). Etwa 5 % der Erkrankten bleiben nach Ausheilen der Krankheit Dauerausscheider. Sie scheiden über Wochen, Monate und sogar Jahre hinweg Salmonellen aus, ohne weitere Anzeichen einer Erkrankung zu zeigen (D'Aoust, 1989; Rolle/Mayr, 2002).

Die Symptome dauern je nach Schwere der Erkrankung meist zwischen zwei bis drei Tage, vereinzelt jedoch auch bis zu mehreren Wochen. Vor allem bei gefährdeten Risikogruppen, wie Kleinkindern, immungeschwächten Personen und alten Menschen (> 60 Jahre) kann es zu sehr schweren Infektionen mit letalem Ausgang kommen (Meyer, 1999; RKI, 2010). Es wird angenommen, dass etwa 86 % der Patienten nicht zum Arzt gehen, etwa 14 % gehen zum Arzt und etwa 12 % der Patienten, die beim Arzt waren, werden an das Krankenhaus überwiesen (in Anlehnung an Kemmeren et al., 2006). Bei gastroenteritischem Verlauf wird keine Antibiotikatherapie vorgenommen, in Anlehnung an Nelson et al. (1980) wird hierdurch die Bakterienausscheidung verlängert. Eine Therapie ist meist darauf beschränkt, den Flüssigkeits- und Elektrolytverlust auszugleichen. Bei schweren Verlaufsformen ist jedoch eine antimikrobielle Therapie vorzunehmen (RKI, 2010).

Nach Schätzungen von Kemmeren et al. (2006) führt die Erkrankung dazu, dass im Durchschnitt ein Arbeitsausfall von 1,48 Tagen für Personen, welche einen Arzt aufgesucht haben, auftritt. Erkrankte Personen, welche keinen Arzt konsultiert haben, bleiben immerhin im Durchschnitt ebenfalls 0,49 Tage der Arbeit fern. Neben der akuten Gastroenteritis können in einigen Fällen auch Folgeerkrankungen, wie etwa das Reiter-Syndrom = Reactive Arthritis (ReA)<sup>13</sup> oder eine chronisch entzündliche Darmerkrankung (CED) = Inflammatory Bowel Disease (IBD)<sup>14</sup>, auftreten. Dabei liegt die Wahrscheinlichkeit, nach einer akuten Gastroenteritis an ReA zu erkranken, bei geschätzten 8 % (Raybourne et al., 2003) und die Wahrscheinlichkeit, an IBD zu erkranken, bei 0,02 % (Kemmeren et al., 2006).

#### 2.4.2 Übertragungswege von Salmonellen auf den Menschen

Eine Infektion mit Salmonellen erfolgt in der Regel durch die orale Erregeraufnahme. Hauptinfektionsquelle für den Verbraucher stellt dabei primär oder sekundär kontaminierte Nahrung tierischen Ursprungs dar (Sander, 1993). Nach Mead et al. (1999) wurden mehr als 95 % der nichttyphoidalen Salmonellose beim Menschen durch Lebensmittel verursacht. „Die Salmonellose ist die klassische Lebensmittelinfektion“ (RKI, 2010). Da die für eine Infektion erforderliche Mindestkeimzahl recht hoch liegt (siehe auch Abschnitt 2.4.1.2), müssen sich die Bakterien in den Lebensmitteln zunächst vermehren, um eine Infektion auszulösen zu können (BDI, 2010). Die Übertragung über Trinkwasser ist aus diesem Grund ebenfalls recht unwahrscheinlich und tritt nur unter extremer Fäkalienbelastung des Trinkwassers auf (BDI, 2010).

Nach Angaben der EFSA werden die meisten Fälle von Salmonelleninfektionen beim Menschen durch das in Deutschland dominierende Serovar *S. Enteritidis* über Eier, Eiprodukte

<sup>13</sup> Das Reiter-Syndrom ist eine rheumatische Erkrankung, die nach einer bakteriellen Infektion, welche meist im Magen und Darm lokalisiert war, entsteht. Die Gelenkentzündungen betreffen meist nur wenige Gelenke und treten wenige Tage bis mehrere Wochen nach der abgeklungenen Gastroenteritis auf (DRGH, 2010).

<sup>14</sup> Der Begriff chronisch entzündliche Darmerkrankung, auch IBD (Inflammatory Bowel Disease) genannt, umfasst eine ganze Gruppe von Darmveränderungen. Diese Darmveränderungen sind gekennzeichnet durch das vermehrte Vorhandensein von Entzündungszellen im Darm (TSH, 2010).

sowie Hühnerfleisch ausgelöst. Schweinefleisch ist nach den Geflügelprodukten die zweithäufigste Ansteckungsquelle durch tierische Lebensmittelprodukte (EFSA, 2008a; 2008b). Hier ist meist das Serovar *S. Typhimurium* für einen Ausbruch der Erkrankung verantwortlich.

Eine direkte Übertragung von Mensch zu Mensch spielt bei den Salmonellen nur eine untergeordnete Rolle (RKI, 2000). Wie bereits in Abschnitt 2.4.1.2 erwähnt, können Salmonellen von infizierten Personen über recht lange Dauer ausgeschieden werden (D'Aoust, 1989; Rolle/Mayr, 2002). In dieser Zeit sind die infizierten Menschen ansteckend. Durch den direkten Kontakt mit einer infizierten Person besteht prinzipiell die Möglichkeit einer Salmonellenübertragung auf eine bisher nicht infizierte Person. Außerdem können infizierte Personen Salmonellen auf primär nicht infizierte Lebensmittel oder Oberflächen übertragen (sogenannte Kreuzkontamination). Insbesondere als Hospitalinfektion bei hygienisch mangelhaften Bedingungen oder im Umgang mit Kleinkindern tritt eine direkte oder indirekte Übertragung von Mensch zu Mensch auf (RKI, 2007).

#### 2.4.3 Salmonellen in Lebensmitteln – Bedeutung von Salmonellen als Erreger humaner Salmonellosen

Daten über im Handel kontaminierte Schweinefleischprodukte werden für Deutschland im Bericht über die „Erreger von Zoonosen in Deutschland“ jährlich durch das BfR veröffentlicht (Hartung, 2009). Diese Daten stammen aus den Lebensmittel-Planprobenuntersuchungen auf Salmonellen, welche von Lebensmittelkontrolleuren bei den regelmäßig durchgeführten amtlichen Kontrollen aus im Handel befindlichen Lebensmitteln gezogen werden (siehe auch Abschnitt 2.3.1). Der Salmonellen-Nachweis bei Schweinefleisch stieg im Jahre 2007 auf einen Wert von 3,73 % an (2006: 2,95 %). Dabei wurde in erster Linie das Serovar *S. Typhimurium* isoliert. Dies machte einen Anteil von 60 % der Nachweise aus. Zerkleinertes Rohfleisch (Hackfleisch), welches aus Schweinefleisch stammte, wurde in 4,73 % der Proben als *Salmonella*-positiv erkannt. Hitzebehandelte Fleischerzeugnisse aus Schweinefleisch waren zu 0,08 % und anderweitig stabilisierte Fleischerzeugnisse aus Schweinefleisch zu 0,86 % kontaminiert (Hartung, 2009) (Tabelle 8).

**Tabelle 8: Lebensmittel-Planprobenuntersuchungen auf Salmonellen, 2007**

	Anzahl der Proben	<i>S.</i> positive Proben	%
Schweinefleisch	2.040	76	3,73
Zerkleinertes Rohfleisch	169	8	4,73
Hitzebehandelte Fleischerzeugnisse	1.182	1	0,0008
Anderweitig konservierte Fleischerzeugnisse	1.513	13	0,86

Quelle: Hartung (2009)

Insbesondere unter Beachtung des hohen Pro-Kopf-Verzehrs von Schweinefleisch und aufgrund des Verzehrs auch von rohem Schweinefleisch wie Mett oder Hackfleisch (Hackepeter) in Deutschland (CVUA, 2006) kann auch beim Schweinefleisch von einem hohen gesundheitlichen Risiko für den Verbraucher gesprochen werden. Schweinefleisch ist mit einem jährlichen Pro-Kopf-Verzehr von 39,9 kg im Jahr 2007 (BVDF, 2009; BVDF, 2010) weiterhin das beliebteste Fleisch der Deutschen. Das Risiko, nach dem Fleischverzehr an einer Salmonellose zu erkranken, wird als besonders hoch eingestuft, wenn das Fleisch roh verzehrt wird bzw. ein Garprozess nicht vollständig abgeschlossen wurde. Da Salmonellen, empfindlich gegenüber Hitze reagieren, wird das Risiko bei vollständig durcherhitztem Fleisch als deutlich geringer eingestuft. Jedoch bleibt die Gefahr einer Rekontamination mit



Salmonellen durch Kreuzkontamination oder schlechte Herstellungspraxis grundsätzlich bestehen (SCVPH, 2003).

Für eine sekundäre Kontamination oder Rekontamination der Lebensmittel ist meist der Mensch verantwortlich, der mit dem Lebensmittel umgeht. Der Erreger wird dabei über verschiedene Vektoren, wie beispielsweise das kontaminierte Messer oder das kontaminierte Schneidebrett, auf das zuvor nicht kontaminierte Lebensmittel übertragen.

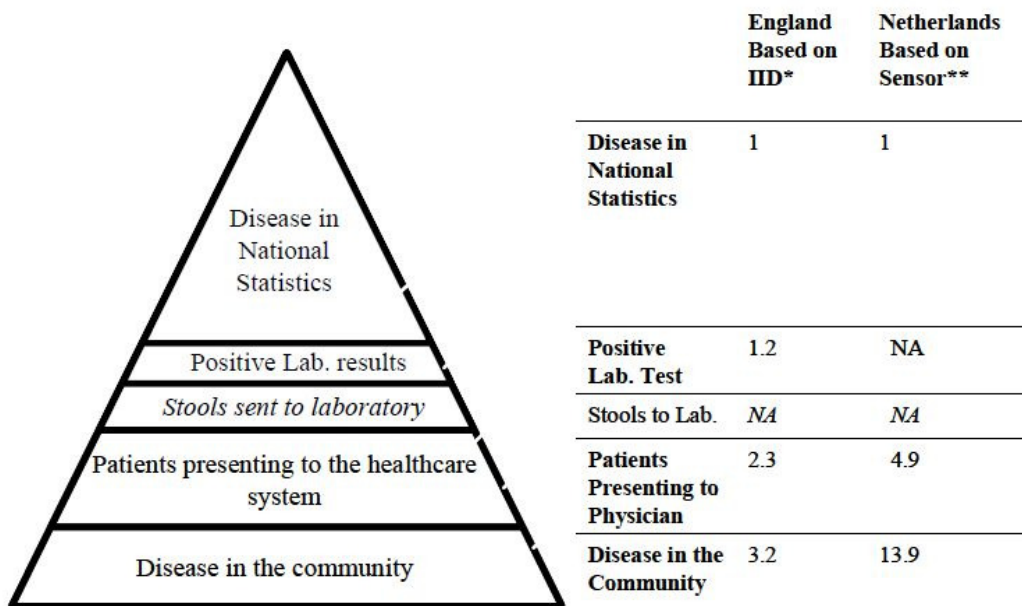
Schätzungen gehen davon aus, dass ca. 20 % aller lebensmittelbedingten Salmonellosen in Deutschland auf den Verzehr von kontaminiertem Schweinefleisch zurückzuführen sind (Steinbach/Hartung, 1999; Hellwig, 2003, Blaha, 2006). *Salmonella*-kontaminiertes Schweinefleisch stellt somit ein potentiellies Risiko für den Verbraucher dar.

#### 2.4.4 Vorkommen der humanen Salmonellosen in Deutschland

Die nachfolgende Auswertung bezieht sich auf Salmonellen i. e. S. und schließt die Fälle von *Salmonella* Typhi und Paratyphi aus. Im Jahr 2007 wurden in Deutschland insgesamt 55.400 Salmonellen-Erkrankungen gemeldet. Die Salmonellose war damit nach den Norovirus-, *Campylobacter*- und Rotavirus-Infektionen die vierthäufigste gemäß IfSG (Infektionsschutzgesetz) an das RKI übermittelte Erkrankung. Bei den meisten Salmonellosen (95 %) wurde ein Infektionsland angegeben. Bei 95 % der Angaben wurde Deutschland als Infektionsland genannt. Die restlichen Angaben entfielen vor allem auf typische Urlaubsländer (RKI, 2008).

Bei der Betrachtung der Daten ist generell zu berücksichtigen, dass nach Schätzungen des RKI in Deutschland lediglich 10 bis 20 % der tatsächlichen Erkrankungen an Salmonellose gemeldet werden. Die Ursachen für die hohe Dunkelziffer liegen darin begründet, dass viele Infektionsfälle aufgrund eines milden Verlaufes nicht erkannt oder trotz Diagnose nicht gemeldet werden (RKI, 2008). Für England und Wales wird angenommen, dass für jeden gemeldeten Fall von Salmonellose 3,2 Fälle in der Bevölkerung auftreten (Adak et al., 2002). In den Niederlanden liegt dieser sogenannte Multiplikator bei 13,4 (Kemmeren et al., 2006) (siehe Abbildung 5).

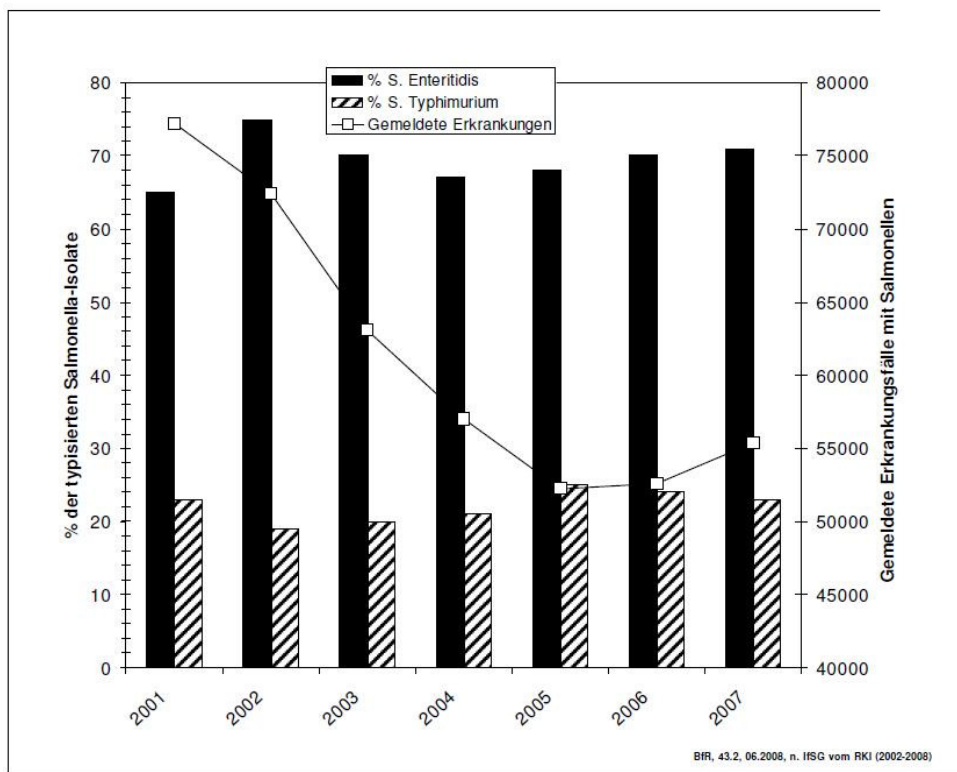
Für Deutschland liegen derzeit keine auf epidemiologischen Studien basierenden Schätzungen vor. In einer älteren Studie ergab sich für Deutschland für das Jahr 1978 eine Dunkelziffer, die etwa das 12-Fache der gemeldeten Salmonellosen betrug – Multiplikator  $M = 12$  (Krug/Rehm, 1983). Das bedeutet: Für jeden gemeldeten Salmonellosefall treten in Wirklichkeit zwölf Fälle in der Bevölkerung auf.



Quelle: EFSA (2008b)

Abbildung 5: Multiplikatoren der Erkrankungszahlen für England und Niederlande

Dieses Problem der Unterschätzung, welches sowohl von Pathogen zu Pathogen als auch von Land zu Land unterschiedlich ist, soll zukünftig anhand der Ergebnisse eines vom RKI durchgeführten Telefonsurveys besser eingeschätzt werden können.

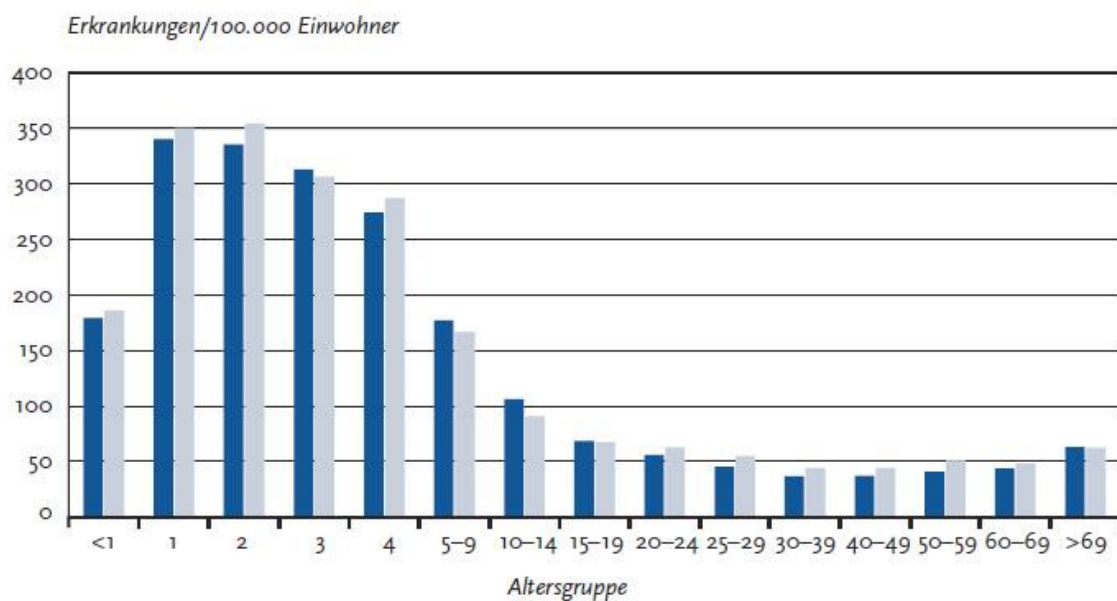


Quelle: RKI (2008)

Abbildung 6: Die Entwicklung der Salmonellosen beim Menschen, 2001–2007

Wie anhand der Abbildung 6 ersichtlich ist, nahm die Anzahl der Erkrankungen an Salmonellose seit dem Jahre 1997 bis zum Jahre 2006 kontinuierlich ab. Erstmalig wurde 2007 (2007: 55.400) im Vergleich zum Vorjahr (2006: 52.602) wieder ein Anstieg um 5 % verzeichnet. Wie schon in den Vorjahren wiesen die meisten östlichen Bundesländer (ohne Berlin) höhere Inzidenzen<sup>15</sup> als die meisten westlichen Bundesländer auf. Es ist unklar, ob dies mit dem Meldeverhalten oder mit einer tatsächlich höheren Erkrankungsinzidenz in den östlichen Bundesländern zusammenhängt (RKI, 2008).

Wie in den Vorjahren zeigten sich die höchsten altersspezifischen Inzidenzen bei Kindern unter zehn Jahren mit einem Maximum bei Kleinkindern. Beide Geschlechter waren nahezu gleichermaßen betroffen (siehe Abbildung 7).



Quelle: RKI (2008)

**Abbildung 7: Übermittelte Salmonellosen pro 100.000 Einwohner nach Alter und Geschlecht in Deutschland, 2007**

Die häufigsten Serovare von *Salmonella enterica*, welche für die Erkrankungen von Menschen ursächlich waren, waren im Jahr 2007 *S. Enteritidis* mit 71 % der gemeldeten Erkrankungen, gefolgt von *S. Typhimurium* mit 23 % der Erkrankungen. Mit weitem Abstand folgten *S. Infantis* (0,8 %) und *S. Virchow* (0,4 %) sowie *S. Derby*, *S. Newport* und *S. Bovismorbificans* mit 0,3 %. Alle anderen übermittelten Serovare kamen zusammen auf 4 %. Im Zusammenhang mit Salmonelleninfektionen wurden für das Jahr 2007 nach ICD-10 76 Todesfälle bestätigt (Statistisches Bundesamt, 2008a). Betroffen waren Männer (46 %) und Frauen (53 %) zwischen 58 und 95 Jahren bei einem Median von 80 Jahren (RKI, 2008). Die Meldedaten unterschätzen die Anzahl der Todesfälle jedoch erheblich, da einmal gemeldete Infektionen nicht bis zum Ende der Erkrankung nachverfolgt werden (RKI, 2010). Näheres zur Verteilung der Todesfälle folgt im Abschnitt 4.4.2.

<sup>15</sup> Die Inzidenz ist eine epidemiologische Maßzahl. Sie gibt die Anzahl der Neuerkrankungen an einer bestimmten Krankheit in einer Bevölkerungsgruppe mit definierter Größe (meist 100.000 Einwohner) während einer bestimmten Zeit (meist in einem Jahr) an (WIKIPEDIA, 2010).

#### 2.4.5 Zusammenfassung des Kapitels

Im Kapitel 2 wurden Grundlagen zur Bakteriengattung *Salmonella* beschrieben. Zunächst wurde näher auf die spezifischen Eigenschaften der Salmonellen eingegangen. Dabei wurde festgehalten, dass Salmonellen alle Eigenschaften besitzen, welche für eine weite Verbreitung notwendig sind. Ihr Habitat ist der Darm von Tieren und Menschen, sie verfügen somit über eine große Zahl an Wirten als Reservoir sowie über eine effiziente Übertragungsmethode durch den Kot von Trägertieren. Durch ihre hohe Tenazität ist ihnen ein wochen- bis monatelanges Überleben in der Umwelt möglich (Rolle/Mayr, 2002). Darüber hinaus weisen sie eine hohe Persistenz in der Umwelt auf und nutzen Vektoren wie Futter, Gerätschaften, Schadhager, Fahrzeuge usw. effektiv (Schwartz, 1999). Im Rahmen des Kapitels wurden auch die beiden möglichen diagnostischen Verfahren – bakteriologisches bzw. serologisches Nachweisverfahren – erläutert.

Als nächstes beschäftigte sich das Kapitel mit der Salmonelleninfektion und Salmonellose des Schweines. Es wurde insbesondere auf die verschiedenen Arten von Keimträgern eingegangen, mit besonderem Schwerpunkt auf der latenten Salmonelleninfektion, welche durch das Fehlen von klinischen Symptomen besonders schwer zu erkennen ist.

Im Abschnitt zu den gesetzlichen Rahmenbedingungen wurden die allgemein geltenden Rahmenbedingungen in Deutschland, jene Rahmenbedingungen in Bezug auf Zoonosen auf EU-Ebene, die nationalen Seroprävalenzstudien und die Schweine-Salmonellen-Verordnung als Grundlage für die anschließenden Kapitel vorgestellt.

Abschließend wurde die Salmonelleninfektion und Salmonellose des Menschen erläutert. Hierbei wurde vor allem auf die Übertragungswege von Salmonellen auf den Menschen und das Vorkommen humaner Salmonellosen in Deutschland eingegangen. Als Hauptinfektionsquelle mit Salmonellen wurde für den Menschen kontaminierte Nahrung tierischen Ursprungs wie Fleisch, Milch oder Eier ermittelt (Neser, 1994). Schweinefleisch ist nach den Geflügelprodukten die zweithäufigste Infektionsquelle (EFSA, 2008a; 2008b).

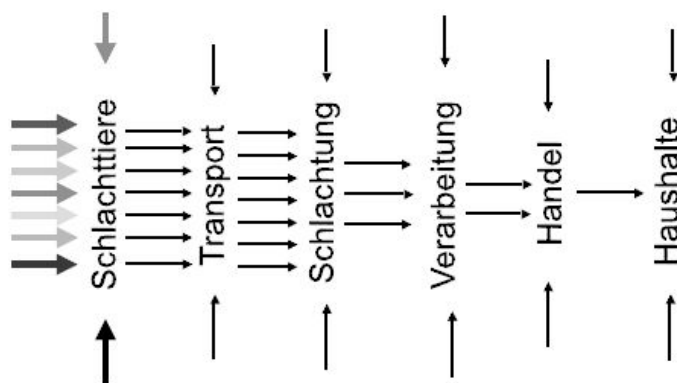
### 3 Darstellung von Salmonelleneintragsquellen im Betrieb sowie von Maßnahmen zur Vermeidung eines Salmonelleneintrags auf der Stufe der Primärproduktion

#### 3.1 Einleitendes

Wie im Kapitel 2 näher erläutert, besitzen Salmonellen alle Eigenschaften, welche für eine weite Verbreitung notwendig sind. Hauptinfektionsquelle für den Menschen stellt kontaminierte Nahrung tierischen Ursprungs dar (Neser, 1994). Schätzungen gehen davon aus, dass ca. 20 % aller lebensmittelbedingten Salmonellosen beim Menschen in Deutschland auf den Verzehr von kontaminiertem Schweinefleisch zurückzuführen sind (Steinbach/Hartung, 1999; Hellwig, 2003, Blaha, 2006). Schweinefleisch besitzt demnach eine hohe Bedeutung als Erreger humaner Salmonellosen.

Um eine Bekämpfung gegen die Salmonelleninfektion des Menschen effektiv zu gestalten, ist der Einsatz von Maßnahmen entlang der gesamten Produktionskette erforderlich. Eine Bekämpfung der Salmonellen sollte demnach nach dem Prinzip „From Farm to Fork“ erfolgen. Salmonellenbekämpfungsmaßnahmen sollten bereits im Tierbestand beginnen und im Bereich der fleischverarbeitenden Industrie, des Handels bis hin zum Verbraucher fortgeführt werden (Meyer, 1993; Gareis, 1995).

Mit der neuen Zoonoseverordnung liegt der Fokus vor allem auf der Stufe der Primärproduktion<sup>16</sup>. Nach dieser sollen die auftretenden Zoonosen bereits im Ursprung angemessen bekämpft werden (EG, 2003a). Auch wenn auf jeder Stufe des Produktionsprozesses eine Salmonellenkontamination erfolgen kann, macht der Eintrag durch den „Rohstoff“ Schlachtschwein den größten Anteil aus und bestimmt darüber hinaus das Level des Salmonellenrisikos für die nachfolgenden Produktionsstufen (siehe Abbildung 8) (Blaha, 2003).



Quelle: Blaha (2003)

**Abbildung 8: Der Eintrag von zoonotischen Salmonellen in die Lebensmittelkette**

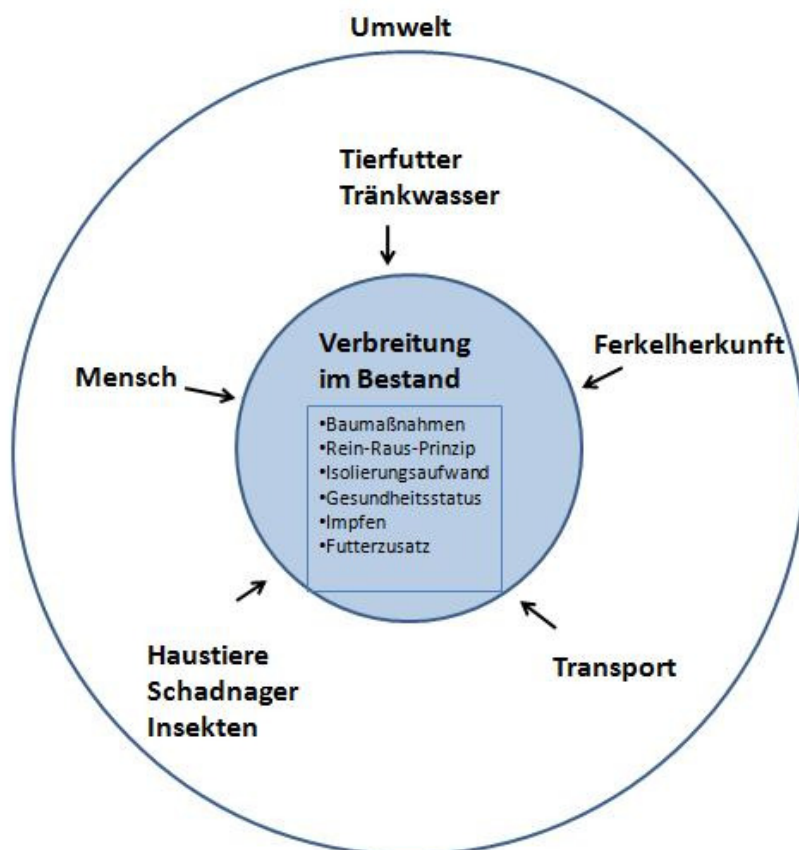
Durch die sorgfältige Zubereitung in den Haushalten (vollständiges Erhitzen, Vermeidung von Kreuzkontamination) kann durch den Verbraucher eine weitgehende Eliminierung der Salmonellen in den tatsächlich verzehrten Lebensmitteln erreicht werden (LVL, 2010). Es liegt jedoch auch in der Verantwortung der Schweinehalter, der Schlachthöfe, der Zerlege-

<sup>16</sup> „Primärproduktion“ bezeichnet die Erzeugung, die Aufzucht oder den Anbau von Primärprodukten einschließlich Ernten, Melken und landwirtschaftlicher Nutztierproduktion vor dem Schlachten. Sie umfasst auch das Jagen und Fischen und das Ernten wild wachsender Erzeugnisse (EG, 2002, Art. 3, Nr. 17).

und weiterverarbeitenden Betriebe und des Lebensmitteleinzelhandels, ein Lebensmittel anzubieten, welches auch bei falscher Handhabung noch genügend Lebensmittelsicherheit gewährleistet. Auch im Sinne der Wettbewerbsfähigkeit von deutschem Schweinefleisch ist es notwendig, dass auch anfällige Produkte wie Hackfleisch oder Rohwurst nicht nur schmackhaft, sondern auch sicher sind.

In dieser Arbeit soll der Fokus zur Bekämpfung von Salmonellen in Anlehnung an die Zielrichtung der „neuen Zoonosenverordnung“ auf der Stufe der Primärproduktion liegen – genauer in den Mastschweinebeständen zwischen Ferkelerzeuger und Schlachtung. Um adäquate Bekämpfungsmaßnahmen gegen die Salmonelleninfektionen der Schweine herausfiltern zu können, müssen zunächst die Risikofaktoren für das Auftreten dieser Infektionen ermittelt werden (Van der Wolf et al., 2002).

Es werden daher in diesem Abschnitt die Risikobereiche, aus welchen eine Salmonelleninfektion der Mastschweine herrühren kann, ermittelt und alle in der Literatur beschriebenen Maßnahmen zur Senkung der Prävalenz in Schlachtschweinebeständen dargestellt. Eine vollständige Erregerfreiheit im Bestand ist kaum erreichbar. Es gibt jedoch einige Faktoren, welche die Einschleppung von Salmonellen und die Verbreitung im Bestand deutlich senken können. Abbildung 9 gibt einen Überblick über die verschiedenen Risikofaktoren.



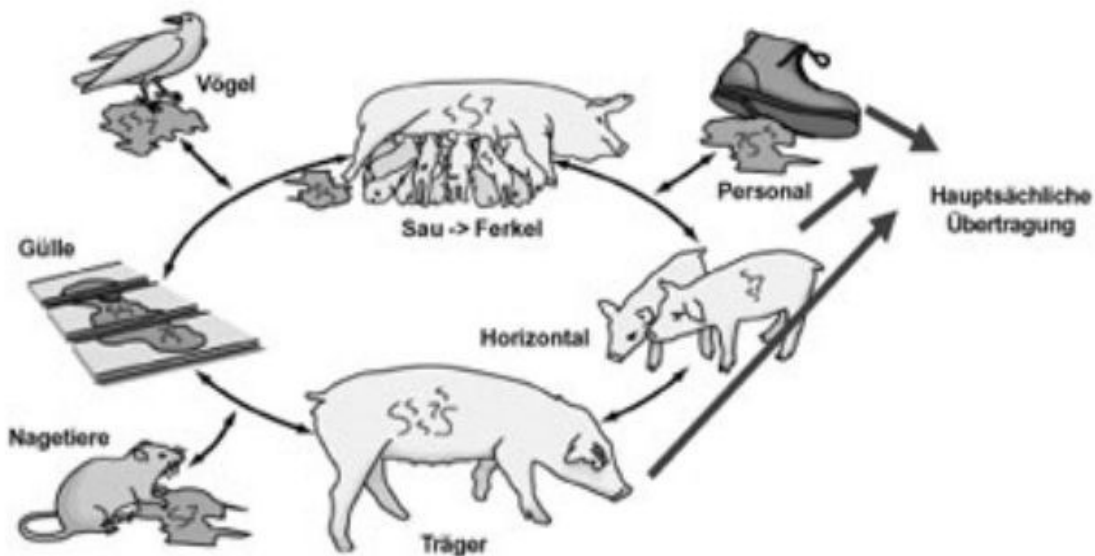
Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 9: Risikofaktoren des Eintrages von Salmonellen**

Dabei können diese Risikofaktoren nach den Mechanismen der Erregerausbreitung in Anlehnung an Blaha (1993) in die folgenden Kategorien eingegliedert werden:

- **Vertikaler Eintrag:** in Form einer Übertragung der Erreger von der Sau über das Ferkel und somit auf das Mastschwein (Ferkelherkunft)
- **Horizontaler Eintrag:** infolge einer Infektion *Salmonella*-negativer Tiere durch ihre kontaminierte Umwelt (Futter, Wasser, Transport, Geräte, Menschen sowie andere Tiere)
- **Infektions-Kontaminations-Kreislauf:** Zirkulieren und Verbreitung der Salmonellen im Bestand

In der Abbildung 10 sind eben jene Risikofaktoren bzw. Mechanismen der Erregerausbreitung nochmals anschaulich in bildlicher Form dargestellt. Dabei stellt das Bild „Sau → Ferkel“ den vertikalen Eintrag = Risikofaktor Ferkelherkunft dar. Der horizontale Eintrag wird durch die am Kreis befindlichen Risikofaktoren „Vögel“, „Personal“, „Nagetiere“ und „Gülle“ veranschaulicht. Der in Anlehnung an Blaha (1993) genannte Infektions-Kontaminations-Kreislauf, also das Zirkulieren und die Verbreitung im Bestand, werden durch den Pfeil von „Träger“ zu dem Bild der anderen Schweine verdeutlicht.



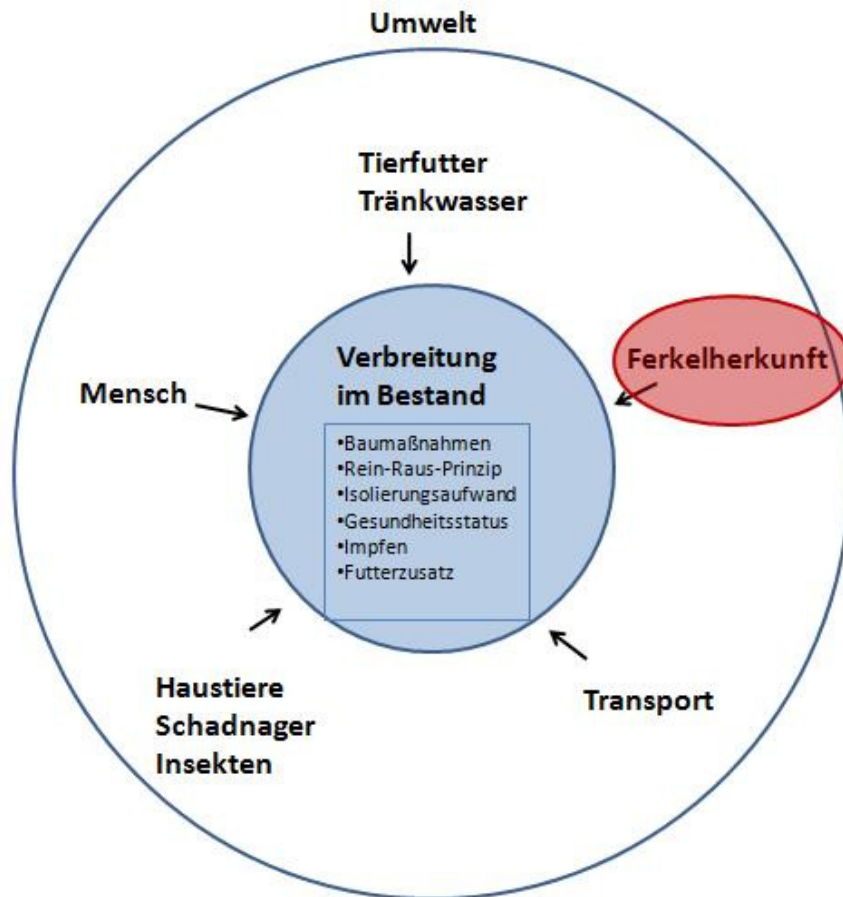
Quelle: Hellwig (2010)

**Abbildung 10: Infektionswege der Salmonellose**

Die Einteilung der Mechanismen der Erregerausbreitung in Anlehnung an Blaha (1993) wird für dieses Kapitel als Grundlage für die Gliederung der Risikofaktoren dienen.

### 3.2 Mechanismen der Erregerausbreitung – Vertikaler Eintrag

In Anlehnung an die Systematik von Blaha (1993) wird als Erstes der vertikale Eintrag beschrieben. Der vertikale Eintrag ist die mögliche Übertragung der Erreger von der Sau auf das Ferkel und somit auf das Mastschwein. Dies entspricht dem Risikofaktor Ferkelherkunft. Der Risikofaktor Ferkelherkunft wird in diesem Abschnitt näher erläutert und ist daher in der folgenden Übersicht (Abbildung 11) rot markiert.

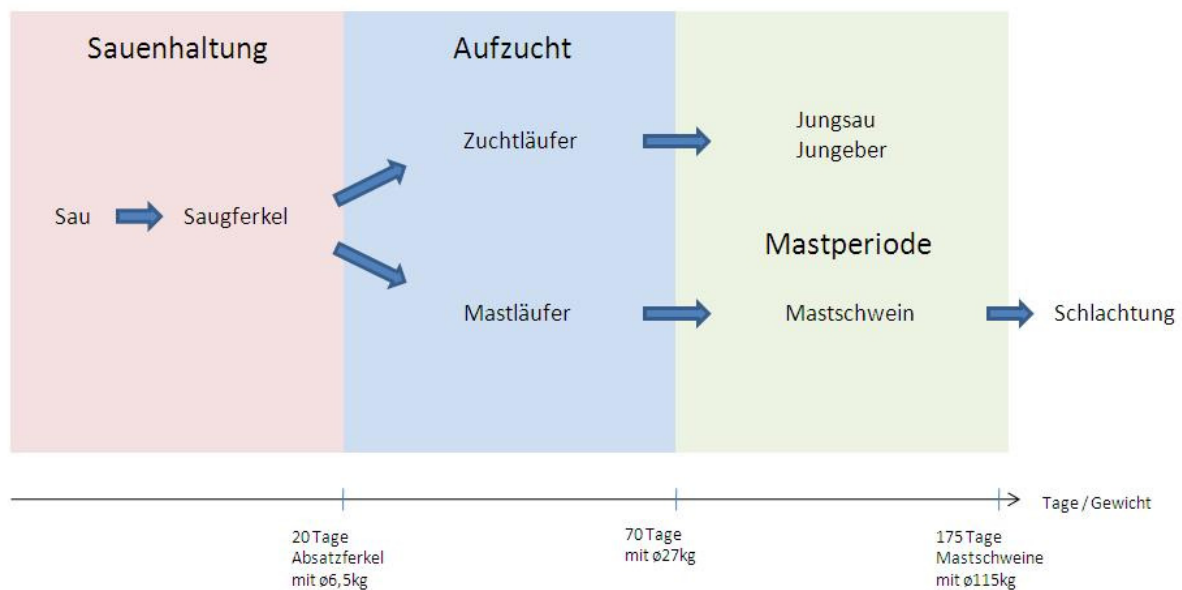


Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 11: Vertikaler Eintrag = Ferkelherkunft**

Bei der Ermittlung der Ursache einer Salmonelleninfektion in einem Mastbestand stellt sich häufig die Frage, in welcher Altersstufe die Infektion stattgefunden hat (siehe Abbildung 12). Viele Studien berichten über eine relativ hohe Salmonellenprävalenz der Zuchttiere (Keteran et al., 1982). Auch die in Abschnitt 2.3.3 dargestellten Ergebnisse der „Grundlagenstudie zum Vorkommen von *Salmonella* spp. in Zuchtschweinen“ bestätigen dies für deutsche Zuchtbetriebe und Ferkelerzeuger (BFR, 2009). Die Übertragung von Salmonellen durch Sauen auf ihre Nachkommen wird von vielen Autoren als bedeutsam angesehen. Auch Davies et al. (1998) bestätigen, dass Sauen als Keimträger eine mögliche Infektionsquelle für die Saugferkel darstellen und eine vertikale Übertragung von der Sau auf das Ferkel stattfinden kann. Nielsen et al. (1997) konnten nachweisen, dass Ferkel, welche von serologisch positiven Sauen stammen, ein erhöhtes Risiko zeigen, später in der Aufzuchtphase ebenfalls Antikörper zu entwickeln. Dahl et al. (1996; 1997) stellten hingegen keine Übertragung der Salmonellen von den Sauen auf ihre Ferkel fest, was ihrer Ansicht nach auf die maternalen Antikörper im Kolostrum zurückzuführen ist.





Quelle: Osterhoff (2001)

**Abbildung 12: Stufen der Schweineproduktion (Angaben von Tagen und Gewicht)**

Andere Untersuchungen, die sich mit der Frage der Erregerverschleppung vom Aufzucht- in den Mastbetrieb befassten, kamen zu unterschiedlichen Ergebnissen bezüglich der Frage, in welcher Aufzucht- bzw. Mastperiode die Infektion eines im Betrieb *Salmonella*-positiv getesteten Mastschweines stattgefunden hat. Es konnte sowohl gezeigt werden, dass es Mastbestände mit eigenen hospitalisierenden Keimen gibt (Davies et al., 1998), aber auch jene mit durchgehend dem gleichen Serovar wie im Aufzuchtbetrieb (Fablet et al., 2006). Im ersten Fall ist eine horizontale Übertragung, also eine Infektion *Salmonella*-negativer Tiere durch die Umwelt, anzunehmen. Im zweiten Fall kann davon ausgegangen werden, dass die Ferkel den Keim, mit dem sie im Ferkelerzeugerbetrieb (Sauenhaltung) durch die Sauen oder im Aufzuchtbetrieb Kontakt hatten, in die nachfolgenden Mastabschnitte getragen haben, also eine vertikale Übertragung stattgefunden hat.

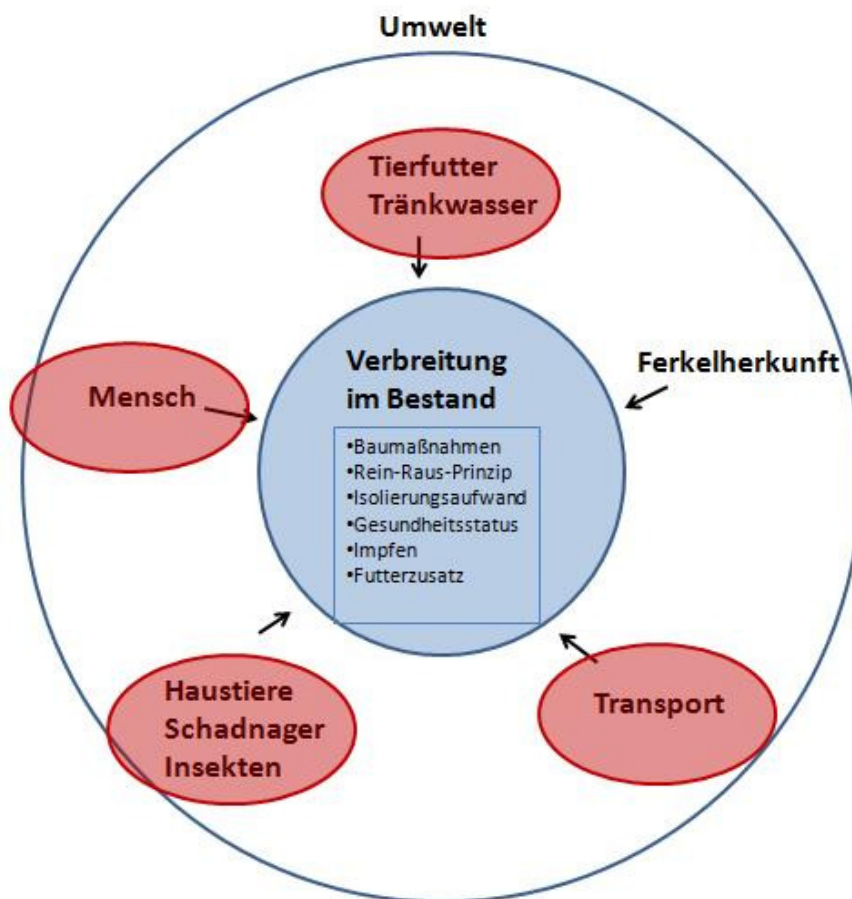
Laut dem Fazit deutscher Veterinärmediziner in der Fachzeitschrift „Der praktische Tierarzt“ kommt dem Eintrag von Salmonellen über den Zukauf von infizierten Ferkeln in den Schweinemastbetrieb eine größere Bedeutung zu als bisher angenommen. Nach ihren Untersuchungsergebnissen wurden 25 % von insgesamt 960 Läufern anhand von rektal entnommenen Tupferproben positiv auf Salmonellen getestet (Kharenko, 2006). Obwohl allgemein Schweine aller Altersgruppen erkranken können, sind, wie bereits im Abschnitt 2.1.1 erwähnt, am häufigsten Läufer im Alter von drei bis vier Monaten betroffen (Clarke/Gyles, 1993; Wendt/Plonait, 2004).

Nach Berends et al. (1996) wurde der Salmonelleneintrag über neu eingestellte Läufer auf ca. 1–10 % aller Infektionen, die während der Mast auftreten, geschätzt. Darüber hinaus war der Zukauf von Läufern aus mehreren Aufzuchtställen im Vergleich zu nur einer Tierherkunft mit einer höheren Salmonellenprävalenz assoziiert (Baum et al., 1997).

Insgesamt ist festzustellen, dass das Einstellen von salmonellenfreien Läufern als eine sinnvolle Maßnahme zur Senkung der Prävalenz in Mastschweinebetrieben angesehen werden kann.

### 3.3 Mechanismen der Erregerausbreitung – Horizontaler Eintrag

Neben dem vertikalen Eintrag von der Sau auf das Ferkel kann es über verschiedene Risikofaktoren zu einem horizontalen Eintrag in den Maststall kommen. In der folgenden Abbildung 13 sind die Risikofaktoren, durch welche ein horizontaler Eintrag von Salmonellen erfolgen kann, rot markiert. Diese einzelnen Risikofaktoren werden im folgenden Abschnitt näher beleuchtet.



Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 13: Horizontaler Eintrag: Risikofaktoren Tierfutter/Tränkwasser, Mensch, Haustiere/Schädner/Insekten sowie Transport**

#### 3.3.1 Tierfutter und Tränkwasser

Tierfutter und Tränkwasser, welches an Mastschweine verfüttert bzw. angeboten wird, kann mit Salmonellen kontaminiert sein, und Tiere, die kontaminiertes Futter oder Wasser aufnehmen, können sich über diesen Weg mit Salmonellen infizieren (Wingstrand et al., 1997).

Maßnahmen, welche sich auf die Reduzierung der Salmonellen-Belastung von Futtermitteln bzw. Tränkwasser beziehen, können somit den Eintrag von Salmonellen in die Schweineproduktion reduzieren. Zur Verhinderung der Einschleppung von Salmonellen über das Futtermittel in Schweinebestände sind unterschiedliche salmonellenreduzierende Ansätze möglich (Van der Wolf, 2002). Einige dieser Maßnahmen werden im Folgenden gegliedert dargestellt:

### 1. Prävention bzw. Minimierung der Belastung mit Salmonellen

Überprüfung der Kontamination der Futtermittel vor der Einlagerung

### 2. Dekontaminationsverfahren

Chemische Verfahren (organische Säuren, Kaliumdiformiat)

Thermische Verfahren (Pelletierung, Druck-Hitze-Konditionierung etc.)

### 3. Prävention einer Rekontamination

Überprüfung des hygienischen Status quo

#### 3.3.1.1 Prävention bzw. Minimierung der Belastung mit Salmonellen

Grundfuttermittel sind typischerweise nicht mit *S. Enteritidis* oder *S. Typhimurium* belastet. Da eben jene Serovare schwerpunktmäßig für das durch Salmonellen verursachte Seuchengeschehen beim Menschen verantwortlich sind, stellen Grundfuttermittel nur selten den Ausgangspunkt für eine Salmonellenerkrankung beim Menschen dar (Bisping, 1993).

Salmonellen, welche sich dennoch vor der Verarbeitung zum Mischfuttermittel in den einzelnen Futterkomponenten befinden sollten, werden bei der Anwendung von chemischen beziehungsweise physikalischen Dekontaminationsverfahren durch diese fast vollständig vernichtet (Rolle/Mayr, 2002). Die Futtermittel sind jedoch nur dann weitestgehend frei von Salmonellen, wenn keine Rekontamination durch Mängel bei Herstellung, Lagerung und Transport der Futtermittel stattgefunden hat. Eine Überprüfung der Kontamination der Futtermittel vor der Einlagerung kann daher eine sinnvolle Maßnahme zur Minimierung des Eintrags von Salmonellen darstellen.

#### 3.3.1.2 Dekontaminationsverfahren

Durch chemische Dekontaminationsverfahren, wie etwa durch den Zusatz von organischen Säuren, sowie durch physikalische Dekontaminationsverfahren (z. B. das Pelletieren der Futtermittel) können die eventuell im Grundfuttermittel vorhandenen Salmonellen zum größten Teil vernichtet werden (Rolle/Mayr, 2002).

Bei den chemischen Dekontaminationsverfahren durch Säuren hängt die Wirkung stark von den Eigenschaften des jeweiligen Futters wie z. B. Kontaminationsgrad, Inhaltsstoffe, Temperatur, pH-Wert, Wasseraktivität, den Lagerbedingungen sowie anderen Faktoren ab (Nursey, 1997). Auch sind Säuren nur in einer begrenzten Konzentration einsetzbar, da sonst die Akzeptanz des Futters deutlich zurückgeht. Nach Kamphues (1987) bzw. Kamphues et al. (2006) wirkt sich bereits ein Zusatz von 0,5 % Ameisensäure zum Futter negativ auf die Schmäckhaftigkeit aus. Die Salze der organischen Säuren bieten hier eine geeignete Alternative, da sie, ohne die Akzeptanz zu senken, trotzdem dazu führen, dass eine hohe Anionenkonzentration erreicht werden kann. Aus diesem Grund erfolgt in letzter Zeit vermehrt ein Zusatz von Kaliumdiformiat. Papenbrock (2004) konnte nachweisen, dass die Kombination von grober Vermahlung und dem Zusatz von 1,2 % Kaliumdiformiat in das Futter zu einer Reduktion der Salmonellenausscheidung im Bestand führt (siehe auch Papenbrock et al., 2004).

Zu den am häufigsten angewendeten physikalischen Verfahren zur Keimreduktion gehören die während des Pelletierens, Extrudierens und Expandierens durchgeführten Hitzebehandlungen. Durch Hitzebehandlungen gelang es der Futtermittelindustrie, den Anteil *Salmonella*-positiver Futtermittel nach der Produktion auf unter 1 % zu reduzieren (Davies et al., 2003). Als negativer Nebeneffekt kann es jedoch durch längere und höhere Hitzebehandlungen zu einer Schädigung von hitzeempfindlichen Bestandteilen im Futter kommen (Doyle/Mazotta,

2000). Lo Fo Wong et al. (2002) stellten teilweise eine deutlich höhere Prävalenz der zugekauften Futtermittel auf den Betrieben fest. Dies führten sie auf eine Rekontamination in den der Dekontamination nachgeschalteten Schritten, wie Abkühlung des Futters, Transport und der Lagerung im landwirtschaftlichen Betrieb, zurück. Als Vektoren kommen hierbei neben Staub und Kondenswasser (Davies/Wray, 1997a), Resten und Ablagerungen in den Anlagen und Transportfahrzeugen (Fedorka-Cray, 1997) auch Wildvögel, Katzen, Schadnager und Insekten (Barber et al., 2002) in Betracht.

### 3.3.1.3 Prävention einer Rekontamination

Wie bereits angedeutet, spielt die Rekontamination der Futtermittel eine bedeutende Rolle. Die kontinuierliche Anwendung aller Maßnahmen zur Optimierung des Hygienestatus im Futter und im Wasser zählen mit zu den wichtigsten Forderungen zur Vorbeugung von Salmonellen-Erkrankungen im Bestand.

Daten zum Kontaminationsgrad von Mischfuttermitteln weisen vor allem im landwirtschaftlichen Betrieb hohe Werte auf (Hartung, 2009). Dies lässt vermuten, dass insbesondere im Betrieb eine Rekontamination durch schlechte Lagerung/Verunreinigungen vonstatten geht. Auf dieser Stufe sollte eine Überwachung der Betriebshygiene vorgenommen werden. Dies gilt auch in Bezug auf die wirtschaftseigenen Futtermittel. Hier ist ebenfalls durch eine gute Betriebshygiene die Kontamination der Futtermittel zu vermeiden. Angekaufte Grundfuttermittel (Getreide, Eiweißfuttermittel), welche dann selbst auf dem Hof zur Mastration vermischt werden, sollten vor Annahme und Einlagerung auf Salmonellen getestet werden und ebenfalls dementsprechend so gelagert werden, dass keine Kontamination der Futtermittel durch eine mangelnde Hygiene bei der Lagerung erfolgen kann. Auch Lohmann-Müller (2005) empfiehlt, dass Hygienemaßnahmen auf das Futtermittellager, die Futterbehälter und das Tränksystem ausgedehnt werden sollten. Zusammenfassend ist festzustellen, dass die eingehende Futtermittelkontrolle und Hygienemaßnahmen zur Vermeidung einer Futtermittelkontamination und damit eines Salmonelleneintrags in den Mastschweinebestand sinnvolle Maßnahmen zur Senkung der Prävalenz in Mastschweinebetrieben darstellen.

### 3.3.2 Kontakt zum Menschen zu Haustieren, Schadnagern und Insekten

Bei Untersuchungen von Umgebungsproben auf verschiedenen schweinehaltenden Betrieben war ein bakterieller Nachweis von Salmonellen im Staub, im Futter, im Wasser, an den Stiefeln der Belegschaft, aber auch in Nagern, in Fliegen, in Mäuse- und Schwalbenkot sowie in Insekten möglich (Große Austing, 2005).

Menschen können als Vektoren fungieren und die Salmonellen durch Stiefel, Kleidung und Werkzeuge wie Schubkarren, die mit kontaminiertem Kot behaftet sind, in den Betrieb tragen (Berends et al., 1996; Stärk et al., 2002). Um dies zu vermeiden, müssen betriebseigene saubere Schutzkleidung, Stiefel und Gerätschaften vorhanden sein. Auch bei einigen Personalhygienepraktiken konnte ein positiver Zusammenhang zu einer geringeren Seroprävalenz festgestellt werden. So wurde festgestellt, dass der Zugang zu Toiletten und Waschbecken und das Händewaschen vor bzw. nach dem Kontakt mit den Tieren einer Tiergruppe deutlich mit einer niedrigeren Salmonellenprävalenz assoziiert werden kann. Diese wurde dadurch begründet, dass durch das gründliche Händewaschen mit Desinfektionsmitteln die an den Händen befindlichen Salmonellen abgetötet wurden und dadurch keine weitere Verschleppung der Salmonellen auf Mastschweine anderer Gruppen ablaufen konnte (Funk et al., 2001; Lo Fo Wong et al., 2004). Das konsequente Wechseln der Arbeitsschutzkleidung sowie die ständige Beseitigung von Hygienemängeln sind notwendige Maßnahmen zur Verhinderung eines Salmonelleneintrags (Blaha, 2001).

Auch der Kontakt zu anderen Tieren kann als Risikofaktor angesehen werden. Haustiere, welche direkten Kontakt zu den Mastschweinen haben, wie etwa Katzen und Hunde, können einen Eintrag von Salmonellen in den Bestand verursachen. Nach Barber et al. (2002) konnten 12 % der untersuchten Katzen als Salmonellenausscheider identifiziert werden. Einen deutlich größeren Risikofaktor stellt jedoch der Kontakt zu Schädigern sowie Insekten dar. Fliegen (Barber et al., 2002), Käfer (Liebana et al., 2003) und Schädiger können durch ihren abwechselnden Kontakt zwischen Gülle, Kot, dem Futter und den Tieren zu Überträgern gesundheitsschädlicher Keime sowie zu den Futtermittelverschmutzern gezählt werden. Nach Untersuchungen von Barber et al. (2002) wurden in 6 % der Fliegenproben Salmonellen nachgewiesen.

### 3.3.3 Transport und Aufenthalt im Wartestall

Einen weiteren Risikofaktor stellt das Transportieren der Tiere dar. Durch den Transportstress kommt es durch die Ausschüttung von Katecholaminen<sup>17</sup> zu einer Senkung der Magensäureproduktion. Der dadurch verursachte Anstieg des pH-Wertes im Magen bewirkt, dass Salmonellen ungehindert den Magen-Darm-Trakt auch von inapparenten Carriertieren (siehe hierzu Abschnitt 2.2.2) passieren können und infolgedessen vermehrt ausgeschieden werden (Schwartz, 1999). Die erhöhte Ausscheidungsrate kann über den höheren Infektionsdruck zu einer höheren Neuinfektionsrate und somit zu einem Anstieg der Prävalenz führen. Auch bei nur kurzen Transportzeiten kann es bereits zu Neuinfektionen kommen. Hurd et al. (2001a; 2001b) wiesen nach, dass Schweine bereits nach 30 Minuten Aufenthalt in kontaminierter Umgebung infiziert sein können und ihrerseits Salmonellen mit dem Kot ausscheiden. In Untersuchungen von Blaha et al. (1997) und Griffith et al. (2003) konnten Salmonellen ebenfalls 16 bis 30 Minuten nach oraler Aufnahme in den Tonsillen und nach 30 Minuten bis vier Stunden in den Ileocaecallymphknoten gefunden werden.

Für den Wartestall auf dem Schlachthof gilt Ähnliches. Auch hier ist zu vermuten, dass die durch den Stress verursachte erhöhte Ausscheidungsrate eine höhere Neuinfektionsrate in den Wartebereichen der Schlachthöfe zur Folge hat (Funk et al., 2001). Berends et al. (1996) stellten in verschiedenen Versuchen fest, dass zuvor im Betrieb als *Salmonella*-negativ getestete Schweine nach dem Transport zum Schlachthof und dem Aufenthalt im Wartestall zwischen 0–20 % *Salmonella*-positiv waren. Außerdem konnte anhand der Studien gezeigt werden, dass sich durch den Transport zum Schlachthof und Aufenthalt im Wartestall des Schlachthofes innerhalb von 2–6 Stunden die Anzahl der *Salmonella* ausscheidenden Schweine zum Teil mehr als verdoppeln kann (1,0–2,4-fach). Hurd et al. (2002b) konnten nach einem Transport von 170 km und einer Aufstallung von zwei bis drei Stunden im Schlachthof bei 39,9 % der Schlachtschweine einen positiven Nachweis auf Salmonellen belegen. Zuvor waren die Schweine lediglich zu 5,3 % positiv getestet worden. Dies entspricht einer Prävalenzsteigerung um den Faktor 7,5. Ähnliches zeigten Untersuchungen von Larsen et al. (2003). Sauengruppen wiesen hier im Bestand eine Prävalenz von 3 % auf; nach dem zehnstündigen Transport zum Schlachthof und sechsständigem Aufenthalt im Wartestall war eine Ausscheidungsrate von 41 % nachzuweisen. Dies entspricht einer Prävalenzsteigerung etwa um den Faktor 13,6. Bei einer Tiergruppe, welche hingegen direkt auf dem Betrieb getötet und auf Salmonellen untersucht wurde, konnten nur bei 5,3 % der Tiere Salmonellen nachgewiesen werden.

<sup>17</sup> Unter dem Begriff Katecholamine werden die natürlich im Körper vorkommenden Amine wie Noradrenalin, Adrenalin und Dopamin sowie künstlich hergestellte Amine zusammengefasst. Die Katecholamine im Körper spielen vor allem als Botenstoffe im Nervensystem eine Rolle; Noradrenalin und Adrenalin wirken dabei über den Sympathikus, einen Teil des vegetativen Nervensystems, und führen u. a. zu einem beschleunigten Pulsschlag und erhöhtem Blutdruck („Stressreaktion“) (JAMEDA GESUNDHEITSLEXIKON, 2010).

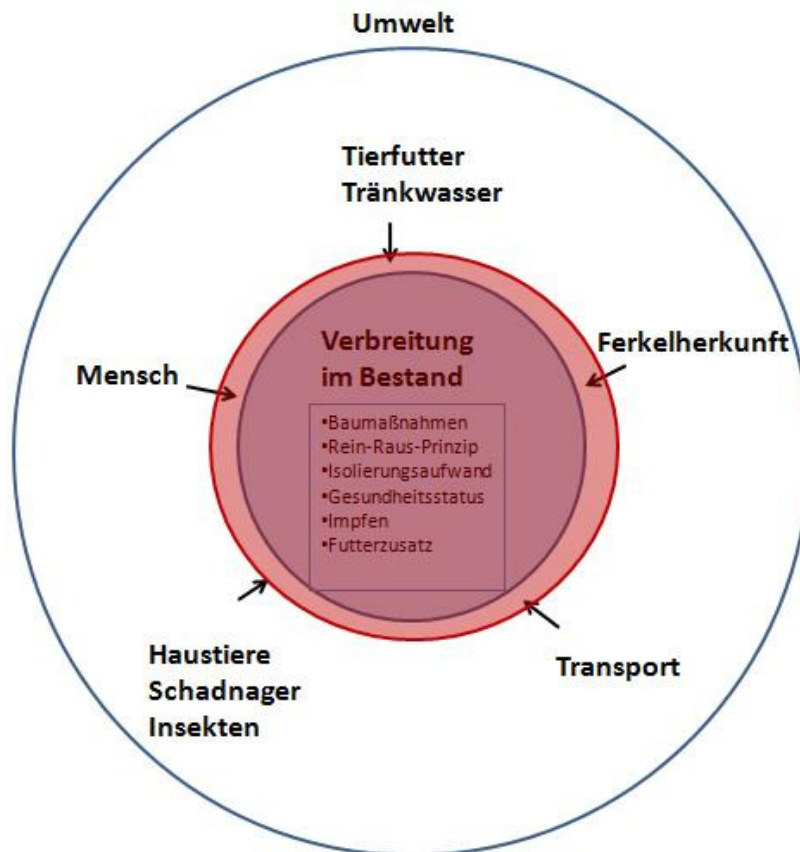
Transportstress führt jedoch nicht nur zu einer höheren Ausscheidung von Salmonellen, sondern hat auch einen negativen Einfluss auf die allgemeine Verfassung der Tiere. Die Tiere sind nach dem Transport empfänglicher für Krankheitskeime als vor dem Transport (Marg et al., 2001).

Auch aus Sicht der Fleischhygiene ist es bedenklich, dass infizierte Schlachttiere Transportstress ausgesetzt werden, wodurch es zur Störung des Erreger-Wirt-Gleichgewichtes kommen kann. Durch die Beeinträchtigung der Darmbarriere können Keime in die essbaren Gewebe eindringen (Fehlhaber, 2003). Neben der Beeinträchtigung der Darmbarriere kommt es außerdem zu einer Beeinträchtigung des Immunsystems durch die Stressbelastung, sodass Bakterien überleben und mit dem Blut im Körper verteilt werden können (Seidler et al., 2001).

Mangelhaft gereinigte Transportfahrzeuge können außerdem eine zusätzliche Infektionsquelle für die Mastschweine darstellen (Berends, 1996; Fedorka-Cray, 1997; Mannion, 2008). Berends (1998) vermutet, dass 90 % der durch den Transport verursachten Neuinfektionen durch den Stress verursacht werden und 10 % auf die Kreuzkontamination durch den Kontakt zwischen den Herden zurückzuführen sind. Sowohl innerbetrieblich genutzte Transportfahrzeuge als auch Transportfahrzeuge für den Transport zum Schlachthof sollten daher möglichst nach jedem Transport gründlich gereinigt und desinfiziert werden.

### **3.4 Mechanismen der Erregerausbreitung – Infektions-Kontaminations-Kreislauf**

Neben dem vertikalen Eintrag und dem horizontalen Eintrag von Salmonellen ist in Anlehnung an Blaha (1993) als dritter und letzter Mechanismus der Erregerausbreitung der Infektions-Kontaminations-Kreislauf zu nennen. Hierunter werden das Zirkulieren und die Verbreitung der Salmonellen im Bestand verstanden. In diesem Abschnitt sollen daher nun Risikofaktoren dargestellt werden, welche zu einer Verbreitung der Salmonellen im Bestand führen. Außerdem sollen Maßnahmen, welche einer Verbreitung der Salmonellen im Bestand entgegenwirken können, thematisiert werden.



Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 14: Risikofaktoren des Salmonelleneintrages auf Betriebsebene**

### 3.4.1 Risikofaktoren der Verbreitung von Salmonellen im Bestand

Nach Berends et al. (1996) stellt ein Mangel an Betriebshygiene den wichtigsten Risikofaktor für Salmonellen in Schweinebeständen dar. Auch dänische Untersuchungen weisen auf die Bedeutung der mit Salmonellen belasteten Umwelt der Tiere hin, die für eine horizontale Verbreitung ursächlich sein kann (Baggesen et al., 1997; Hurd et al., 2001a; 2001b).

Durch gebräuchliche Desinfektionsmittel der Desinfektionsmittelliste der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft (DVG) werden Salmonellen in wenigen Minuten inaktiviert. Teilweise konnten jedoch auch nach einer durchgeführten Reinigung und Desinfektion Salmonellen auf den Böden (Funk et al., 2001) sowie an Nippeltränken und Futterautomaten nachgewiesen werden (Bode, 2007). Dies tritt vor allem dann ein, wenn sie durch einhüllende Stoffe wie Kot oder Schleim geschützt waren oder eine Reinigung nicht sorgfältig genug erfolgte (Rolle/Mayr, 2002). Dabei haben raue Oberflächen wie Holz oder ältere Mauern ein höheres Risiko, dass Salmonellen nach der Reinigung und Desinfektion zurückbleiben, als glatte, leicht zu reinigende Oberflächen wie etwa Kunststoff (Madec et al., 1999). Auch Fablet et al. (2006) konnten eine Korrelation zwischen der Rauheit der Wände von Stallanlagen und dem Nachweis von Salmonellen (nach Reinigung und Desinfektion) feststellen. Außerdem erhöhen einige Bodentypen die Häufigkeit des Kontaktes der Schweine zu ihren Fäkalien und führen dadurch zu einer Steigerung der Salmonellenprävalenz. Vollspaltenböden resultierten meist in einer niedrigeren Salmonellenprävalenz als Teilspaltenböden oder solide Böden (Davies, 1997; Nollet et al., 2003).

Neben der Übertragung durch Umgebungsfaktoren stellt die Möglichkeit von Tier-zu-Tier-Kontakten einen weiteren Risikofaktor bezüglich der Verbreitung von Salmonellen im Bestand dar. Mauern zwischen den Buchten, welche den Kotaustausch zwischen den Tiergruppen verhinderten, führten zu einer geringeren Salmonellenprävalenz (Van der Wolf et al., 1998). Bei Buchtenwänden, die den Schweinen Kontaktmöglichkeiten boten, wiesen die eingestellten Schweine im Gegensatz dazu eine erhöhte Seroprävalenz auf (Bahnson et al., 2001). Häufiges Umstallen der Tiere oder die Veränderung der Gruppenzusammensetzung fördert die Verbreitung der Salmonellen im Bestand (Lohmann-Müller, 2005; Sieverding, 2005).

Auch Menschen können einen Risikofaktor darstellen und Salmonellen über Stiefel, Kleidung oder Werkzeuge, die mit kontaminiertem Kot behaftet sind, von einem Abteil in andere verschleppen und dadurch zu einer Ausbreitung der Salmonellen beitragen (Berends et al., 1996; Stärk et al., 2002). Von Altrock et al. (2000) stellten einen statistischen Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein von Hygieneschleusen und dem Auftreten von Salmonelleninfektionen her.

### 3.4.2 Maßnahmen zur Verhinderung einer Verbreitung von Salmonellen im Bestand

#### 3.4.2.1 Management-, Hygiene- und Desinfektionsmaßnahmen

Maßnahmen zur Verbesserung der Haltungs- und Hygienebedingungen haben nicht nur für den in Abschnitt 3.3 beschriebenen Eintrag von Salmonellen in den Mastschweinebestand eine besondere Bedeutung, sondern spielen auch für die Erregerausbreitung im Bestand eine wichtige Rolle.

Die Verbesserung der Haltungsbedingungen und des Managements wurde von Pedersen (1997) als die erfolgreiche dänische Strategie zur Reduzierung des Salmonellenvorkommens beschrieben. Durch verschiedene einzelne Komponenten wie solide Trennwände, Rein-Raus-Belegung, regelmäßige und gründliche Reinigung, niedrige Belegdichte sowie Verhinderung des Mischens der Tiere konnte die Salmonellenprävalenz deutlich gesenkt werden. Dahl et al. (1997) stellten fest, dass das Prinzip der Alles-Rein-Alles-Raus-Belegung mit zwischengeschalteter Reinigung und Desinfektion in allen Bereichen der Schweinehaltung sowie die Minimierung der Verbreitung von Salmonellen durch das Personal über Stiefel, Kleidung und Gerätschaften sehr wichtig für die Salmonellenreduzierung sind. Dies unterstützend, konnten auch andere Studien feststellen, dass die kontinuierliche Belegung von Stalleinheiten im Vergleich zum Rein-Raus-Prinzip mit einer erhöhten Seroprävalenz korreliert war (Creus et al., 2004; Schwartz, 1999). Im Gegensatz dazu wurde jedoch auch anhand einiger Studien ein erhöhtes Salmonellenrisiko bei der Rein-Raus-Belegung festgestellt (Bahnson et al., 2001; Stege et al., 2001). Eine Hypothese dafür ist, dass die natürliche Umgebungsflora durch die Reinigung reduziert wird und die Salmonellen dadurch bessere Überlebenschancen haben.

Wie bereits erwähnt, hängt der Erfolg von Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahmen von der Oberflächenbeschaffenheit und der Sorgfalt der Durchführung ab. In einer Untersuchung von Dahl et al. (1996) war es möglich, Salmonellen-unbelastete Schlachttiere zu produzieren, die aus infizierten Herden kamen, sofern die Umgebung, in welche die Tiere verbracht wurden, nicht mit Salmonellen belastet war. Wenn zwischen den verschiedenen Buchten eines Stalles kein Kontakt hinsichtlich des ausgeschiedenen Kotes bestand, so konnte die Wahrscheinlichkeit einer horizontalen Infektion weitestgehend minimiert werden.



### 3.4.2.2 Verbesserung des allgemeinen Gesundheitsstatus

Aufgrund der hohen Tenazität der Salmonellen in der Umwelt und ihrer hohen Vermehrungsrate ist eine vollkommene Elimination der Salmonellen aus den Beständen und ihrer Umgebung kaum möglich. Auch wenn die meisten Desinfektionsmittel die Salmonellen zuverlässig abtöten, führt dies trotz allem oft nur zu einer Reduktion der Erregermenge, da selten alle Bereiche des Stalles mit den Desinfektionsmaßnahmen erreicht werden können.

Durch eine Verbesserung des allgemeinen Gesundheitsstatus können mögliche Neuinfektionen reduziert werden. Einige Autoren konnten zeigen, dass Betriebe mit einem hohen Tiergesundheitsstatus ein niedrigeres Risiko für Salmonellen-Erkrankungen aufweisen (Dahl, 1998; Stege et al., 1997). Der Vermeidung von Stress sowie dem Einsatz von bestimmten futteradditiven Konzepten kommt hierbei eine besondere Bedeutung zu.

In der Literatur wird eine Auswirkung von Stress, sei es während des Absetzens oder des Transports zum Maststall, auf das Vorhandensein von Salmonellen in Schweinen diskutiert (Marg et al. 2001). Alter u. Fehlhaber (1997) konnten bei Mastschweinen nachweisen, dass allein schon der Transport zu einer Verminderung der körpereigenen Abwehrleistung führt. Durch Stressfaktoren wie Überbelegung, Geburt, Transport oder Mängel in der Fütterung wird die Ausscheidung der Salmonellen gefördert (Große Beilage, 2002). Callaway et al. (2006) konnten feststellen, dass früh abgesetzte und mit *S. Typhimurium* infizierte Ferkel, die durch den täglichen Wechsel der Buchtenachbarn sozialem Stress ausgesetzt waren, nach fünf Tagen eine höhere Salmonellenausscheidungsrate aufwiesen als Tiere, die diesem Stress nicht ausgesetzt waren. Die Autoren kommen zu dem Resultat, dass sozialer Stress zu einer erhöhten Anfälligkeit für eine Salmonelleninfektion führt. Stress ist aus diesem Grund so weit wie möglich zu vermeiden.

Neben der Vermeidung von Stress kann der Einsatz bestimmter futteradditiver Konzepte zur Verbesserung des allgemeinen Gesundheitsstatus beitragen. Einerseits können durch die Fütterung die Bedingungen im Magen-Darm-Trakt so verändert werden, dass oral aufgenommene Salmonellen keine günstigen Bedingungen für die Haltung, Vermehrung und Ausbreitung vorfinden. Zum anderen wird möglicherweise den bereits im Magen-Darm-Trakt vorhandenen Salmonellen das Eindringen in den Organismus erschwert und eine schnelle Ausscheidung forciert (Visscher, 2006). Eine gut ausbalancierte Darmflora gehört zu den Hauptfaktoren, welche vor der Besiedelung und der anschließenden Infektion mit Salmonellen schützen können (Berends et al., 1996).

Futteradditive gehören rechtlich gesehen zu den Futterzusatzstoffen, daher ist ihr Einsatz durch die Verordnung (EG) Nr. 1831/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. September 2003 über Zusatzstoffe zur Verwendung in der Tierernährung geregelt.

Eine positive Beeinflussung der Mikroflora im Magen-Darm-Trakt hat die Zugabe von organischen Säuren wie Ameisen- oder Propionsäure in das Futter bzw. in das Tränkwasser der Mastschweine (Dahl et al., 1997; Van der Wolf et al., 2001; Creus et al., 2005). Organische Säuren werden, wie bereits unter Abschnitt 3.3.1 beschrieben, auch im Bereich der Dekontaminationsverfahren eingesetzt. Durch den Einsatz dieser Säuren wird der pH-Wert im vorderen Teil des Verdauungstraktes unter die Toleranzgrenze (auf ca. 4) von Salmonellen gesenkt (Krüger, 2005). Ameisensäure hat die EG-Nr. 236 und ist für alle Tierarten oder Tierkategorien unter der Rubrik der Konservierungsstoffe unbegrenzt zugelassen. Propionsäure ist mit der EG-Nr. 280 versehen – auch diese organische Säure ist für alle Tierarten oder Tierkategorien unbegrenzt für alle Futtermittel zugelassen. Als Rechtsgrundlage dient die Richtlinie 91/248/EWG/FVO (Anlage 3). Organische Säuren sind jedoch nur in einer begrenzten Konzentration einsetzbar, da sonst die Akzeptanz des Futters deutlich zurückgeht. Bereits ein Zusatz von 0,5 % Ameisensäure zum Futter wirkt sich negativ auf die Schmackhaftigkeit aus (Kamphues, 1987; Kamphues et al., 2006).

Die Salze der organischen Säuren bieten hier eine geeignete Alternative, da sie, ohne die Akzeptanz zu senken, trotzdem dazu führen, dass eine hohe Anionenkonzentration erreicht werden kann. Aus diesem Grund erfolgt in letzter Zeit vermehrt ein Zusatz von Kaliumdiformiat. Auch der Einsatz von Kaliumdiformiat kann zu einer Reduktion der Salmonellenausscheidung in der Mast führen (Visscher, 2006). Dieses diätische Konzept ist auch bei Absatzferkeln geeignet, um die Salmonellenprävalenz zu senken (Offenberg, 2007). Kaliumdiformiat ist unbegrenzt unter der Rubrik Konservierungsstoffe für alle Tierarten oder Tierkategorien laut der VO (EG) Nr. 492/2006 unter der EG-Nr. 237a zugelassen.

Eine weitere Möglichkeit zur Reduktion von Salmonelleninfektionen stellt der Einsatz von sogenannten Probiotika<sup>18</sup> dar. Deren Prinzip beruht auf einer gezielten Besiedlung des Darmtraktes neugeborener Tiere mit der Darmflora gesunder Tiere, wodurch pathogenen Bakterien die Kolonisation im Darm-Trakt der behandelten Jungtiere erschwert wird (Selbitz et al., 1995, Fedorka-Cray et al., 1997). Zu den Probiotika werden Bakterien (z. B. Milchsäurebakterien) und ganz bestimmte Pilze, von denen Hefen die wichtigste Bedeutung haben, gezählt (Flachowsky/Daenicke, 1996). Lettelier et al. (1997) konnten im Rahmen einer Untersuchung zeigen, dass der Zusatz von Probiotika in das Futter für experimentell mit *S. Typhimurium* infizierte Ferkel die Invasion der Salmonellen in das Gewebe und somit die Ausbildung einer persistierenden Infektion verhindern kann. Neben dem positiven Effekt durch den Aufbau einer robusten Mikroflora im Darm-Trakt konnte zusätzlich eine verringerte Ausscheidung der Salmonellen bei Absatzferkeln festgestellt werden (Nisbet et al., 1997). Obwohl bisher nur wenige Isolate ihre Effizienz *in vivo* bewiesen haben, ist das Interesse an der Nutzung von Probiotika als Futterzusatz zur Senkung von pathogenen Keimen allgemein gestiegen. Im Gegensatz zu den Antibiotika, deren Einsatz zunehmend kritischer eingeschätzt wird, werden Probiotika als unbedenklich für den Verbraucher, den Landwirt und das Tier angesehen (Newbold, 1996). Auch durch das Verbot einiger antibiotischer Leistungsförderer gewinnt der Einsatz von Probiotika zunehmend an Bedeutung (Wagner/Landfried, 1999).

### 3.4.2.3 Immunprophylaxe

Seit 2002 gibt es den *S.*-Typhimurium-Lebendimpfstoff SALMOPORC® der Firma IDT Biologika GmbH, Dessau Roßlau (SALMOPORC, 2002). Der Impfstoff ist derzeit der einzige für *S. Typhimurium* zugelassene und in Deutschland erhältliche Impfstoff (Tierärztliche Umschau Spezial, 2007). Die Verabreichung des Impfstoffes erfolgt bei Sauen parenteral und bei Ferkeln oral (Selbitz et al., 2006). Die Anwendung dieses Impfstoffes entspricht den Vorgaben des § 5 der Schweine-Salmonellen-Verordnung. Untersuchungen des Impfstoffherstellers ergaben bei Mastschweinen aus geimpfter Nachzucht die Abnahme des Anteils seropositiver Schweine von 40 % vor der ersten Vakzination auf weniger als 10 % nach sechs Monaten sowie ebenfalls ein deutliches Absinken des Prozentsatzes der kulturpositiven Tiere (SALMOPORC, 2002).

In Untersuchungen von Lindner et al. (2002) konnte nachgewiesen werden, dass die Impfung in einem Bestand mit klinisch nachgewiesener Salmonellose (*S. Typhimurium*) zu einer Reduzierung der Besiedelung der Darmschleimhaut und dadurch zu einer Reduzierung der Ausscheidung von Salmonellen führt. Das Auftreten klinischer Salmonellosefälle wurde verhindert, und es kam zu einer deutlichen Senkung der Nachweisrate von *S. Typhimurium* bei Schlachtschweinen. Die geimpften Tiere schieden deutlich weniger Erreger aus, zudem war die Ausscheidungsdauer im Vergleich zu den ungeimpften Tieren deutlich kürzer (Roesler et al., 2004).

---

<sup>18</sup> „Probiotika sind Organismen und Stoffe, die zur Aufrechterhaltung des intestinalen mikrobiellen Gleichgewichtes beitragen“ (PARKER, 1974).

Von jedem Impfstamm ist eine sichere Differenzierbarkeit von Feldstämmen zu fordern. Durch den Einsatz des Impfstoffes SALMOPORC wird nun auch nach oraler Immunisierung von Ferkeln die serologische Untersuchung von Fleischsaft bei Schlachttieren nicht mehr durch die induzierten Antikörper beeinträchtigt, sodass der Impfstamm von Wildstämmen des Serovars Typhimurium zu differenzieren ist (Selbitz/Moos, 2003).

Eine vollständige Eliminierung der Salmonelleninfektionen ist durch die Vakzine SALMOPORC ® nicht zu erwarten, jedoch kann mithilfe dieser Immunprophylaxe eine signifikante Reduzierung der Salmonelleninfektionen erreicht werden. Anhand von Studien wird der Wirkungsgrad zur Senkung der Prävalenz im Betrieb auf Werte von 50 bis 70 % geschätzt (Kolb et al., 2003). Bei Untersuchungen von Davies/Wray (1997b) konnte durch die Impfung eine Reduktion der Prävalenz von 67 % auf 12 % bei Absatzferkeln und eine Reduktion von 52 % auf 5 % bei erwachsenen Tieren beobachtet werden.



## 4 Ansätze zur ökonomischen Analyse im Bereich des gesundheitlichen Verbraucherschutzes

In diesem Kapitel soll das methodische ökonomische Grundgerüst gelegt werden. Dazu wird zunächst auf die Bedeutung der Ökonomie im Gesundheitssektor eingegangen. Im Anschluss daran werden die verschiedenen zur Verfügung stehenden ökonomischen Ansätze in Bezug auf den Gesundheitssektor dargestellt. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf dem relativ jungen gesundheitsökonomischen Konzept der DALYs.

### 4.1 Ökonomie im Gesundheitswesen

In den letzten Jahrzehnten ist die Bedeutung ökonomischer Fragestellungen im Bereich der Gesundheitswissenschaften (Public Health)<sup>19</sup> stark angestiegen. Gesundheitsökonomische Studien haben zahlenmäßig zugenommen, außerdem werden in medizinischer Fachliteratur vermehrt ökonomische Schlüsselwörter angegeben (Neumann et al., 2000). Beides spricht für die Aktualität von gesundheitsökonomischen Fragestellungen. Die Gesundheitsökonomie ist in den letzten Jahren ein fester Bestandteil der Gesundheitswissenschaften geworden (Schwartz, 1998).

Im Bereich des gesundheitlichen Verbraucherschutzes werden auch auf EU-Ebene vermehrt gesundheitsökonomische Analysen gefordert. Eine erste konsequente Anwendung dieses Paradigmas ist bei der Festlegung der Gemeinschaftsziele zur Senkung der Prävalenz spezifischer Zoonosen und Zoonoseerreger bei bestimmten Tierpopulationen erkennbar. Nur auf Basis einer gesundheitsökonomischen Analyse wird es möglich sein, das bei der Festlegung der Gemeinschaftsziele zu berücksichtigende Kriterium der „potentiellen wirtschaftlichen Konsequenzen“ – wie gefordert – mit einbeziehen zu können (EG, 2003a). Näheres zur Zoonoseverordnung (Verordnung (EG) Nr. 2160/2003) siehe Abschnitt 2.3.2.

Auch wenn die Berücksichtigung ökonomischer Aspekte im Gesundheitssektor zum Teil kritisch und mit Skepsis betrachtet wird, sind durch die Limitiertheit der für gesundheitsrelevante Leistungen zur Verfügung stehenden Ressourcen sowie durch die Zunahme der älteren Bevölkerungsanteile und durch die hohe Erwartungshaltung an die medizinische Versorgung Empfehlungen zu einer rationalen und möglichst effektiven Allokation der Ressourcen notwendig (Hessel et al., 2002). Eine Verbesserung der aggregierten Gesundheit der Menschen ist bei gleichbleibenden Ressourcen nur durch einen effektiveren Einsatz der eingesetzten Ressourcen möglich (Schwartz, 1998).

Neben der Angabe der Inzidenz, Prävalenz oder Mortalität einer Krankheit besteht auch die Möglichkeit, gesundheitsökonomische Konzepte zu verwenden, um die Belastung aufzuführen, welche durch eine Krankheit entsteht (Schug, 2005). Aus dem Bereich der Gesundheitsökonomie stehen verschiedene Ansätze zur gesundheitsökonomischen Evaluation<sup>20</sup> zur Verfügung. Dabei kann zwischen vergleichenden und nicht vergleichenden Analyseansätzen unterschieden werden (siehe Abbildung 15). Für die Optimierung von Ressourcenallokationen im Gesundheitswesen sind nach Schöffski (2008) generell vergleichende Analyseansätze erforderlich.

<sup>19</sup> Unter dem Begriff „Gesundheitswissenschaften“ = „Public Health“ werden diejenigen Wissenschaften zusammengefasst, welche sich aus unterschiedlichen Perspektiven mit Gesundheit beschäftigen, wie insbesondere die Gesundheitssoziologie, Gesundheitspsychologie, Gesundheitspädagogik oder Gesundheitsökonomie (Waller, 2006).

<sup>20</sup> Eine „gesundheitsökonomische Evaluation“ ist nach Schöffski (2008) ein Überbegriff für alle Studien im Gesundheitswesen, welche medizinische Maßnahmen im weitesten Sinn ökonomisch bewerten.

Gesundheitsökonomische Evaluationen					
nicht vergleichend		vergleichend			
Kosten-Analyse	Krankheitskosten-Analyse	Kosten-Kosten-Analyse	Kosten-Nutzen-Analyse	Kosten-Wirksamkeits-Analyse	Kosten-Nutzwert-Analyse

Quelle: Schöffski (2008)

**Abbildung 15: Systematik gesundheitsökonomischer Evaluationen**

## 4.2 Nicht vergleichende gesundheitsökonomische Analyseansätze

Zu den nicht vergleichenden Analyseansätzen können die einfache Kostenanalyse und die Krankheitskostenanalysen gezählt werden (Schöffski, 2008).

### 4.2.1 Kostenanalyse

Bei der einfachen Kostenanalyse werden meist nur die direkten medizinischen Kosten<sup>21</sup>, welche durch eine bestimmte Intervention (z. B. eine bestimmte Behandlungsmethode) verursacht werden, ermittelt. Welche Kosten dabei in die Analyse einbezogen werden, hängt davon ab, aus wessen Sichtweise (Perspektive) die Kosten ermittelt werden (Drummond et al., 2005). Private Wirtschaftssubjekte wie Unternehmen und private Haushalte neigen dazu, externe Effekte<sup>22</sup> ihrer wirtschaftlichen Aktivitäten bei ihren strategischen Entscheidungen nicht mitzuberücksichtigen. Gesamtwirtschaftliche Interessen werden bei einzelwirtschaftlich begründeten Wirtschaftlichkeitsüberlegungen meistens ausgeklammert. So wird ein privater Haushalt bei der Kaufentscheidung bezüglich beispielsweise eines Arzneimittels selten das Leid, welches durch eventuelle Tierversuche entstanden ist, mit einbeziehen. Im Gegensatz dazu werden bei den gesamtwirtschaftlichen Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsuntersuchung alle positiven und negativen Wirkungen der Maßnahme, unabhängig davon, bei wem sie anfallen, bei der Entscheidungsfindung mit einbezogen (Ministerialblatt von Rheinland-Pfalz, 2003). In Abbildung 16 erfolgt eine Einteilung der gesundheitsökonomischen Analyseansätze in einerseits einzelwirtschaftliche oder gesamtwirtschaftliche Erfassungsverfahren und andererseits in monetäre oder nichtmonetäre Bewertungsverfahren. Diese Einteilung stellt eine alternative Systematik von Analyseansätzen zur Systematik nach Schöffski (2008) (siehe Abbildung 15) dar.

<sup>21</sup> Unter „Kosten“ werden mit Preisen monetär bewertbare Ressourcenverbräuche verstanden (Aidelsburger et al., 2003).

<sup>22</sup> Als externen Effekt bezeichnet man die Auswirkung einer Handlung (Produktion oder Konsum), die nicht beim Entscheidungsträger anfällt und/oder nicht ausdrücklich im Entscheidungskalkül des Verbrauchers berücksichtigt wird (WIRTSCHAFTSLEXIKON24, 2010b).

Verfahren	<b>einzelwirtschaftliche</b> Erfassung	<b>gesamtwirtschaftliche</b> Erfassung
<b>Monetäre</b> Bewertung	Kostenvergleichsrechnung	Kosten-Nutzen-Analyse
<b>Nicht-monetäre</b> Bewertung	Kapitalwertmethode Nutzwertanalyse	Nutzwertanalyse

Quelle: Ministerialblatt von Rheinland-Pfalz (2003)

**Abbildung 16: Einzelwirtschaftliche vs. gesamtwirtschaftliche Verfahren zur Unterstützung bei der Entscheidungsfindung**

Das Ergebnis einer einfachen Kostenanalyse ist die Angabe der Kosten in einer bestimmten monetären Einheit (z. B. €) beispielsweise in Bezug auf eine bestimmte Behandlungsmethode. Die Effekte der Intervention (z. B. Wirkung auf den Gesundheitszustand des Patienten) werden bei der Kostenanalyse generell nicht betrachtet. Eine Entscheidung für oder gegen eine Methode ist nur durch den Vergleich mit Alternativen möglich (Schöffski, 2008). Wenn die untersuchten alternativen Behandlungsmethoden zu gleichen medizinischen Effekten führen, kann durch den reinen Vergleich der Kosten (Kosten-Kosten-Analyse) eine Entscheidung für oder gegen eine Methode getroffen werden (Schulenburg/Greiner, 2007).

Eine Klassifizierung der Kosten wird üblicherweise nach ihrem Grad der Zurechenbarkeit und der Tangibilität vorgenommen. Das heißt, es erfolgt eine Einteilung in direkte vs. indirekte Kosten sowie in nicht tangible vs. intangible Kosten (siehe Abbildung 17).

	direkte Kosten	indirekte Kosten
tangibel	z. B. Kosten des ärztlichen und pflegerischen Dienstes	z. B. Verringerung der gesamtwirtschaftlichen Produktivität
intangibel	z. B. Schmerzen bei der Behandlung	z. B. Einbuße an Lebensqualität wegen Gefahr der Ansteckung

Quelle: Greiner (2008) in Anlehnung an Oberender (1991)

**Abbildung 17: Kostenarten nach Zurechenbarkeit und Tangibilität**

Direkte Kosten können anhand verfügbarer Marktpreise direkt ermittelt werden. Indirekte Kosten hingegen bedürfen zunächst einer Vergleichsabschätzung, um monetär bewertet werden zu können. Mit intangiblen Kosten werden monetär nicht messbare Effekte wie Schmerz, Leid, physische Beschränkungen oder Einbußen an Lebensqualität, welche durch die Krankheit entstehen, bezeichnet. Diese sind als Folge von Krankheiten auch aus gesundheitsökonomischer Sicht bedeutsam; durch Nutzwertanalysen wird versucht, auch diese Kostenart messbar zu machen (Greiner, 2008).

#### 4.2.2 Krankheitskostenanalyse

Die Krankheitskostenanalyse (Cost-of-illness analysis) stellt einen Spezialfall der Kostenanalyse dar. Sie wird vor allem durchgeführt, um die gesellschaftliche Bedeutung einer Krankheit zu erkennen und damit eine Grundlage zur Ressourcenallokation bzw. zur Prioritätensetzung in der Gesundheitspolitik zu liefern. Neben den direkten Kosten, welche durch die Krankheit entstehen, werden oft auch indirekte Kosten, die durch vorzeitige Mortalität, Erwerbs- und Arbeitsunfähigkeit entstehen, berücksichtigt (Schöffski, 2008).

In einer Studie von Kemmeren et al. (2006) wurden die Cost-of-illness aus gesellschaftlicher Sicht für verschiedene Pathogene geschätzt. Die Ergebnisse der Studie werden in Bezug auf eine Salmonelleninfektion in Millionen € für das Jahr 2004 in der Tabelle 9 zusammenfassend dargestellt. Wie in der Tabelle ersichtlich ist, wurden die direkten Gesundheitskosten (Direct health care costs [DHC]), die direkten Nicht-Gesundheitskosten (Direct non-health care costs [DNHC]) und die indirekten Nicht-Gesundheitskosten (Indirect non-health care costs [INHC]) in Anlehnung an die Richtlinien von Oostenbrink et al. (2004) ermittelt. Die indirekten Gesundheitskosten, wie der Verlust von Lebensjahren durch den frühzeitigen Tod, wurden nicht erfasst.

Die Kostenkategorie der **Direct health care costs (DHC)** umfasst die Kosten, welche mit der unmittelbaren Behandlung der Krankheit verbunden sind. Darunter fallen Arztbesuche (Hausarzt oder Spezialisten), Krankenhausaufenthalte, Arzneimittel und andere Verbrauchsmaterialien sowie Labordiagnostik und Verwaltungskosten (z. B. Untersuchung der Stuhlprobe). Unter den **Direct non-health care costs (DNHC)** wurden beispielsweise Fahrtkosten der Patienten, zusätzliche Windeln und Beratungskosten zusammengefasst.

Die **Indirect non-health care costs (INHC)** werden als der Wert des Produktivitätsverlustes definiert, welcher für die Gesellschaft durch das Fernbleiben von der Arbeit, andauernde Behinderung oder frühzeitigen Tod infolge einer Krankheit entsteht (Kemmeren et al., 2006).

Wie bereits in Abschnitt 2.4.1.2 erwähnt, können durch die Infektion mit Salmonellen neben einer akuten Gastroenteritis (GE) auch die Folgeerkrankungen ReA und IBD auftreten. Die indirekten Kosten wurden durch Aufsummieren der Kostenkategorien, welche durch die verschiedenen Krankheiten entstehen, berechnet (Kemmeren et al., 2006).

**Tabelle 9: Cost-of-illness einer Salmonelleninfektion in Millionen €, 2004**

	DHC (0%)	DNHC (0%)	INHC (0%)	Σ Costs (0%)	Σ Costs (4%)
Gastroenteritis	2.7	0.03	4.2	7.0	7.0
No GP	0.01	0.02	2.2	2.3	2.3
GP	0.3	0.01	1.4	1.7	1.7
Hospitalisation	2.3	0.00	0.4	2.7	2.7
Fatal	-	-	0.1	0.1	0.1
ReA	0.02	0.00	0.02	0.04	0.04
IBD	1.2	0.09	0.4	1.7	0.8
Sum	4.0	0.13	4.6	8.8	7.8

\*No GP steht für no general practitioner und bedeutet, dass kein Arzt aufgesucht wurde.

Quelle: Kemmeren et al. (2006)

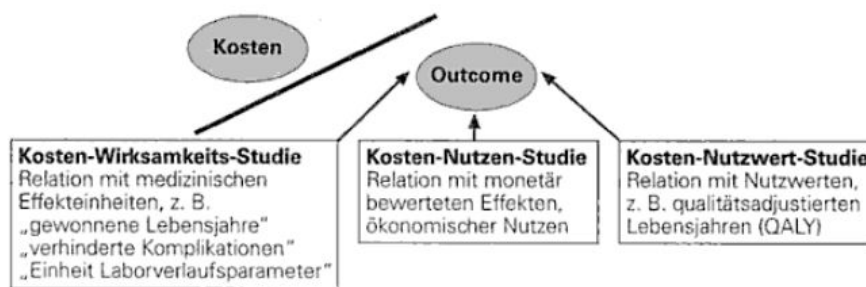


Es ergeben sich nach Kemmeren et al. (2006) Gesamtkosten in Höhe von 8,8 bzw. 7,8 Millionen €, welche infolge von Erkrankungen, die durch eine Salmonelleninfektion verursacht wurden, entstehen.

Vom Economic Research Service (ERS) des United States Department of Agriculture (USDA) wird ein Foodborne Illness Cost Calculator auch für das Pathogen *Salmonella* unter dem Link [http://www.ers.usda.gov/Data/Foodbornellness/salm\\_Intro.aspx](http://www.ers.usda.gov/Data/Foodbornellness/salm_Intro.aspx) zur Verfügung gestellt. Anhand dieses Kalkulationsprogramms können eigene Einstellungen vorgenommen und die Cost-of-illness individuell berechnet werden (ERS, 2010).

### 4.3 Vergleichende gesundheitsökonomische Analyseansätze

Die vergleichenden gesundheitsökonomischen Analyseansätze stellen die Kosten (Input) definierter medizinischer Leistungen dem Nutzen (Outcome) gegenüber. Das Ergebnis ist eine Kosten-Nutzen-Relation, also die Kosten je gewonnener Outcome-Einheit (Hessel et al., 2004).



Quelle: Hessel et al. (2004)

**Abbildung 18: Ansätze der gesundheitsökonomischen Evaluation**

Gemeinsam haben diese Konzepte, dass die Kostenseite immer in monetären Größen erfasst wird. Die Seite der Outcomes wird jedoch anhand verschiedener Maße dargestellt. Demnach kann je nach Outcome-Maß zwischen folgenden Ansätzen unterschieden werden (siehe Abbildung 18):

- Kosten-Nutzen-Analyse (CBA)
- Kosten-Wirksamkeits-Analyse/Kosten-Effektivitäts-Analyse (CEA)
- Kosten-Nutzwert-Analyse (CUA)

#### 4.3.1 Kosten-Nutzen-Analyse

Die Kosten-Nutzen-Analyse (cost-benefit analysis, CBA) ist ein bekanntes wirtschaftlichkeitsanalytisches Verfahren zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit bestimmter Maßnahmen im öffentlichen Sektor<sup>23</sup>. Sie beruht einerseits auf den normativen Vorstellungen der Wohlfahrtsökonomie<sup>24</sup>, andererseits auf Erkenntnissen privatwirtschaftlich orientierter Investitions-

<sup>23</sup> Unter dem Begriff öffentlicher Sektor werden staatliche bzw. öffentliche Einrichtungen und Betriebe subsumiert.

<sup>24</sup> Die angewandte Wohlfahrtsökonomie verfolgt das Ziel, marktliche und nichtmarktliche Allokationsmechanismen (Verteilungsmechanismen) nach dem Kriterium der Effizienz zu optimieren (Scholles, 2006). Mithilfe der Kosten-Nutzen-Analyse soll der Beitrag der jeweiligen Maßnahme zur gesamtwirtschaftlichen Wohlfahrt maximiert werden, es wird somit eine Wohlfahrts-optimierung angestrebt. Die Basis der Wohlfahrts-optimierung bildet das Kaldor-Hicks-Kriterium, nach welchem eine Maßnahme einen positiven Beitrag zur gesamtwirtschaftlichen Wohlfahrt leistet, wenn der Nutznießer der Maßnahme dem Geschädigten einen angemessenen Ausgleich leisten kann und er nach dieser Schadenskompensation noch etwas übrig behält (Külp, 1982).

rechnungen (Hanusch, 1994). Dabei werden die Kosten zu dem jeweiligen in Geldeinheiten bewerteten Gesundheitszustand in Relation gesetzt. Der Nettonutzen, also der Nutzen abzüglich der Kosten, kann auf zwei Arten ermittelt werden: einerseits über die Bestimmung der Zahlungsbereitschaft (willingness to pay, WTP) (Ahrens/Güntert, 2004) in der Bevölkerung für eine definierte Verbesserung des Gesundheitszustandes oder andererseits durch den möglichen Produktivitätsgewinn, den die Intervention durch eine Verringerung der Arbeits- und Erwerbsunfähigkeit der Patienten bewirkt (sogenannter Humankapitalansatz). Es wird also sowohl die Input- als auch die Outcome-Seite in monetären Einheiten erfasst, wodurch ein direkter Vergleich möglich ist (Schmidt, 2004). Frühe Berichte über erste Anwendungen der Kosten-Nutzen-Analyse kommen aus den USA, wo diese bereits im Jahre 1936 bei öffentlichen Projekten im Bereich der Wasserwirtschaft durchgeführt wurde. Auch in der Bundesrepublik Deutschland ist laut Bundeshaushaltsordnung die öffentliche Verwaltung aufgefordert, in gewissen Bereichen „für geeignete Maßnahmen von erheblicher finanzieller Bedeutung“ Kosten-Nutzen-Analysen durchzuführen (BMF, 1969a; 1969b).

Ein wesentliches Ziel der Zoonoseverordnung (siehe hierzu Abschnitt 2.3.2) ist es, Entscheidungen über Maßnahmen bei der Bekämpfung von Salmonellen auf der Grundlage objektiver ökonomisch fundierter Kriterien vorzubereiten. Für das Erreichen eines solchen Zieles scheint die Kosten-Nutzen-Analyse ein geeignetes methodisches Instrumentarium zu sein. Durch sie werden Entscheidungen nicht einseitig entweder nur auf Grundlage der Kosten oder nur auf Grundlage von Erfolgskriterien getroffen, sondern sowohl der Input als auch die Outcomes werden erfasst. Erst durch diese systematische Beachtung beider Elemente, die Kosten als auch den Nutzen, kann der mit einer Maßnahme verbundene Gesamteffekt bewertet werden (Krug/Rehm, 1983). Die Kosten-Nutzen-Analyse ist nach Abbildung 16 bei den monetären Bewertungsverfahren einzuordnen. Im Gegensatz zur Nutzwertanalyse, welche zu den nichtmonetären Bewertungsverfahren gehört, ist durch die Darstellung in Geldeinheiten hierdurch auch eine gute Vergleichbarkeit der verschiedenen Maßnahmen möglich.

Ausschließlich monetäre Verfahren, wie die Kosten-Nutzen-Analyse, eignen sich jedoch für Fragestellungen auf dem Gebiet des gesundheitlichen Verbraucherschutzes oftmals nur bedingt, da bei einer Vielzahl spezifischer Faktoren auf dem Gebiet des gesundheitlichen Verbraucherschutzes die Erfassung der Faktoren in Geldeinheiten nur in begrenztem Umfang möglich ist. Außerdem hängt ihre Anwendbarkeit auch von der jeweiligen Komplexität der Fragestellung ab (Schmidt, 2004; Schöffski, 2008). Für die Auswahl von exakt formulierten Maßnahmenalternativen für genau abgegrenzte Situationen auf gleicher Ebene können mithilfe der Kosten-Nutzen-Analyse sinnvolle Entscheidungen getroffen werden. Ein Beispiel hierfür stellt die Entscheidung über den Einsatz alternativer Medikamente bei gegebener Seuche und genau definiertem Krankheitsstatus dar. Bei einer solchen Fragestellung sind die Wirkungszusammenhänge weitgehend untersucht und alle relevanten Handlungsalternativen können beschrieben und bewertet werden. Dies gilt jedoch nicht sofort für die Entscheidung über komplexe Eingriffe in sehr heterogene und vielschichtige Wirkungssysteme, wie es beispielsweise bei der hier zu bearbeitenden Fragestellung der „Analyse von geeigneten Maßnahmen zur Senkung der Prävalenz von *Salmonella*“ der Fall ist.

Die Übertragbarkeit der Methodik der Kosten-Nutzen-Analyse auf spezielle Fragestellungen des gesundheitlichen Verbraucherschutzes, wie bei der hier zu bearbeitenden Fragestellung, ist somit nicht ohne weiteres gegeben. Solche Fragestellungen sind nur durch eine Erweiterung der klassischen Kosten-Nutzen-Analyse durch das Instrumentarium der Wirtschaftlichkeitsanalyse oder der Nutzwertanalyse zu lösen (Krüger et al., 1998). Aus diesem Grund soll in den später folgenden Kapiteln 5 und 6 nicht die klassische Kosten-Nutzen-Analyse, sondern das der Kosten-Nutzwert-Analyse zuzurechnende noch recht junge DALY-Konzept verwendet werden.

#### 4.3.2 Kosten-Wirksamkeits-Analyse/Kosten-Effektivitäts-Analyse

Die Kosten-Wirksamkeits-Analyse bzw. Kosten-Effektivitäts-Analyse (cost-effectiveness analysis, CEA) ist neben der Kosten-Nutzen-Analyse ein bedeutendes Verfahren im Bereich der Wirtschaftlichkeitsanalysen, insbesondere für den öffentlichen Sektor.

Auf der Kostenseite kommt unverändert das monofinale Wohlfahrtsziel zur Geltung – das heißt, die Kosten werden monetär erfasst. Im Gegensatz zur Kosten-Nutzen-Analyse erfolgt bei der Kosten-Wirksamkeits-Analyse die Untersuchung auf der Seite der Beurteilung der Outputwirkungen jedoch nicht durch den monetär erfassten Nutzen, sondern auf einer der Wohlfahrtserzielung untergeordneten projektspezifischen Zielebene. Anstatt der monetären Bewertung der Outputeffekte der verschiedenen Alternativen werden die Projektwirkungen bei der Kosten-Wirksamkeits-Analyse als physische Größen aufgenommen und nicht wie bei der Kosten-Nutzen-Analyse zu einem Gesamtmaß auf Basis monetärer Einheiten vereint (Hanusch, 1994). Als Outcome-Parameter dienen Wirksamkeiten, welche die subjektive Lebensqualität der Patienten widerspiegeln sollen, wie z. B. gewonnene Lebensjahre oder verhinderte Komplikationen (Hessel et al., 2004). Der Fokus liegt auf einer eindimensionalen Wirkungsmessung (Hale et al., 2003).

Beispielhaft lässt sich der Aufbau einer Kosten-Wirksamkeits-Analyse folgendermaßen beschreiben (Hanusch, 1994):

1. Zielanalyse: vollständige und widerspruchsfreie Erfassung der Ziele
2. Ermittlung der Nebenbedingungen
3. Alternativenbestimmung: Bestimmung aller infrage kommenden Handlungsalternativen, welche den Zielen dienen können
4. Kostenanalyse: Ermittlung, Messung und Bewertung der Kosten
5. Wirksamkeitsanalyse: Mithilfe von physischen Maßen oder Indikatoren (z. B. für den Faktor Arbeit – Messung durch die Anzahl Arbeitsstunden, für Lärmbelastung – Messung durch die Lautstärke in Dezibel) sind die positiven und negativen Outputwirkungen der verschiedenen Handlungsalternativen im Hinblick auf das Zielsystem zu quantifizieren
6. zeitliche Homogenisierung
7. Berücksichtigung von Risiko und Unsicherheit: eventuelle Modifizierung der Kosten und Wirksamkeiten unter den Gesichtspunkten des Risikos und der Unsicherheiten
8. Zusammenfassung der Ergebnisse in Kosten-Wirksamkeits-Matrizen (siehe Abbildung 19)

		← Wirkung		
		besser	gleich	geringer
Kosten ↑	höher	A	B	C
	gleich	D	E	F
	tiefer	G	H	J

#### Folgerungen aus den Ergebnissen

A	prüfen	höhere Kosten, aber bessere Wirkung (inkrementale Analyse ist gefragt)
B	verwerfen	höhere Kosten, keine Differenz bei der Wirkung
C	verwerfen	höhere Kosten, geringere Wirkung
D	anwenden	keine Differenz bei den Kosten und bessere Wirkung (unvollständige Dominanz)
E	neutral	keine Differenz bei den Kosten und keine Differenz bei der Wirkung
F	verwerfen	keine Differenz bei den Kosten und geringere Wirkung
G	anwenden	geringere Kosten und bessere Wirkung (Dominanz)
H	anwenden	geringere Kosten und keine Differenz bei der Wirkung (unvollständige Dominanz)
J	prüfen	geringere Kosten, aber geringere Wirkung (inkrementale Analyse ist gefragt)

Quelle: SCHUG (2005) in Anlehnung an CRD (2001); DONALDSON et al. (2002)

#### Abbildung 19: Kosten-Wirkungsmatrix

#### 4.3.3 Kosten-Nutzwert-Analyse

Die Kosten-Nutzwert-Analyse (cost-utility analysis, CUA) stellt im Prinzip eine Erweiterung der Kosten-Wirksamkeits-Analyse dar. Mittlerweile ist sie als eigenständige Analysevariante etabliert (Hanusch, 1994). Die Kosten (Input) werden auch hier in monetären Einheiten ermittelt. Auf der Outcome-Seite wird versucht, mehrere Ergebnisdimensionen zu einem Ergebnisindex zu verknüpfen. Aus verschiedenen Ergebnisgrößen (wie z. B. Lebensdauer oder Lebensqualität) werden sogenannte Nutzwerte ( $U = \text{utility}$ ) ermittelt, die dann den Kosten gegenübergestellt werden. Diese Kosten-Nutzwert-Relation wird für alle Interventionen gebildet. Durch den Vergleich der Quotienten kann jene Intervention mit dem besten Kosten-Nutzen-Verhältnis ausgewählt werden (Schöffski et al., 2008). Der Unterschied zur Kosten-Wirksamkeits-Analyse liegt demnach in der Verwendung von verschiedenen Ergebnisgrößen – Nutzwerte statt Gesamtwirksamkeiten (Hessel et al., 2004).

Die bekanntesten Outcome-Parameter für diesen Studientyp sind die sogenannten „Quality Adjusted Life Years“ = qualitätsadjustierte oder qualitätsbereinigte Lebensjahre (QALYs) und die sogenannten „Disability Adjusted Life Years“ = behinderungsadjustierte Lebensjahre (DALYs). Beide Konzepte betrachten den durch eine Krankheit verursachten eingeschränkten Gesundheitszustand im Verhältnis zu der in optimaler Gesundheit und Lebensqualität verbrachten Zeit (Hessel et al., 2004). Dabei gehen sowohl die Mortalität als auch die Morbidität in die Berechnung ein. Im Folgenden soll das DALY-Konzept näher erläutert werden.

#### 4.4 Das „Disability Adjusted Life Years“ (DALY)-Konzept

Das DALY-Konzept wurde 1993 durch die Weltbank und WHO (World Bank, 1993) eingeführt und in der „Global Burden of Disease and Injury Study“ 1996 (Murray/Lopez, 1996a) angewendet. Das Konzept wurde zunächst entwickelt, um Vergleiche zwischen Ländern durchzuführen (Lopez, 2005). Die DALYs können jedoch auch als Ergebnismaß in Kosten-Nutzwert-Analysen dienen (Schöffski, 2008). Das Hauptmerkmal der Methode ist, dass neben der Mortalität (ausgedrückt in Years of Live Lost, YLL) auch die Morbidität, welche durch eine bestimmte Erkrankung verursacht wird (ausgedrückt in Years lived with Disability, YLD), gleichermaßen berücksichtigt wird. Dies ermöglicht sowohl den Vergleich verschiedener Krankheitsendpunkte/Krankheitsfolgen als auch den Vergleich von Subgruppen innerhalb der Bevölkerung oder Vergleiche zwischen verschiedenen Ländern.

Das DALY-Konzept geht davon aus, dass in Krankheit gelebte Jahre (Years lived with Disability, YLD) einen verringerten Arbeitseinsatz bedeuten und dass gegebenenfalls ein vorfrüher, krankheitsbedingter Tod (Years of Life Lost, YLL) den Verlust produktiver Lebensjahre bedeutet. Mit dem DALY-Konzept können somit über die beiden Indikatoren YLD und YLL die durch eine Erkrankung bedingten Verluste an Lebens- und Arbeitsjahren (Disability Adjusted Life Years, DALY) bestimmt werden.

##### 4.4.1 Berechnung der DALYs

Bei der DALY-Methode werden Mortalität und Morbidität einer Erkrankung zu einer metrischen Einheit aggregiert und berechnet (Murray/Lopez, 1996a):

$$(1) \text{ DALY} = \text{YLL} + \text{YLD}$$

YLL	Years of Life Lost: durch vorzeitigen Tod verlorene Lebensjahre
YLD	Years lived with Disability: mit Behinderung gelebte Lebensjahre

Dabei ist YLL die Anzahl der durch vorzeitigen Tod verlorenen Lebensjahre. Diese ergibt sich für eine bestimmte Erkrankung durch die Summe aller Todesfälle ( $d$ ) durch eine Krankheitsfolge ( $l$ ) in einem bestimmten Zeitraum, jeweils multipliziert mit der verbliebenen Lebenserwartung ( $e$ ) zum Zeitpunkt des Todes:

$$(2) \text{ YLL} = \sum_l d_l \times e_l$$

$d_l$	Anzahl der Todesfälle
$e_l$	Verbliebene Lebenserwartung im Sterbealter (in Jahren)

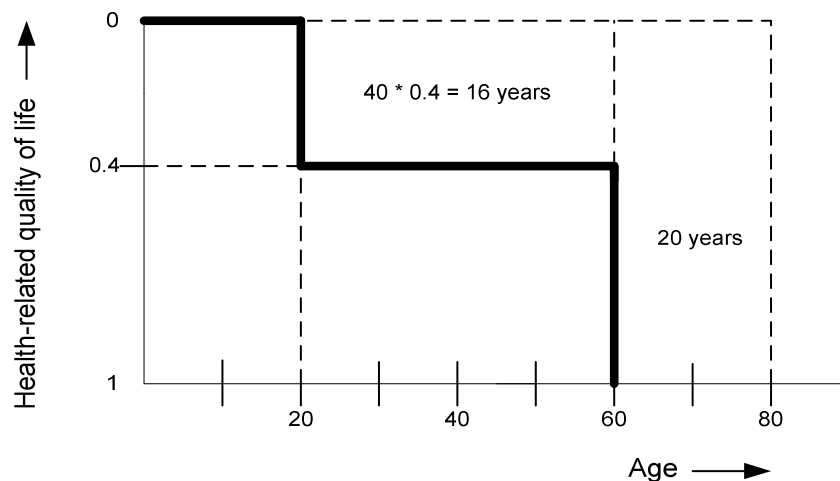
YLD bezeichnet die Anzahl der Jahre die man mit der Erkrankung oder Behinderung lebt, gewichtet mit einem Faktor zwischen 0 und 1, um die Schwere der Behinderung zu berücksichtigen (Tod als Krankheitsfolge mit dem höchsten Schweregrad entspricht dem Faktor 1). Dabei wird die Summe über alle Fälle ( $n$ ) und alle Krankheitsfolgen ( $l$ ) des Produkts von Dauer der Erkrankung ( $t$ ) und Schweregrad ( $w$ ) einer bestimmten Erkrankung gebildet:

$$(3) \text{ YLD} = \sum_l n_l \times t_l \times w_l$$

$n_l$	Anzahl der Fälle
$t_l$	Durchschnittliche Dauer der Behinderung bis zur Heilung oder bis zum Tod (in Jahren)
$w_l$	Schwere der Behinderung (Wichtungsfaktor)

Zur Veranschaulichung soll eine kurze Berechnung eines Beispiels in Anlehnung an Mackenbach/Van der Maas (2008) erfolgen. Durch einen Verkehrsunfall erleidet eine bisher gesunde Frau eine Querschnittslähmung. Dieses schwere lebenslange Handicap wird mit einem Faktor von 0,40 gewichtet. Durch die Querschnittslähmung verstirbt die Frau frühzeitig im Alter von 60 Jahren. Für die Zeit zwischen dem 20. und 60. Lebensjahr werden 40 Jahre

$\times 0,4 = 16$  YLD berechnet. Nimmt man eine mittlere Lebenserwartung von 80 Jahren an, hat die Frau 20 Lebensjahre verloren. In dieser Lebensgeschichte wurden insgesamt 36 DALYs verloren (siehe Abbildung 20).



Quelle: Mackenbach/Van der Maas (2008)

**Abbildung 20: DALY-Berechnung anhand eines Beispiels**

#### 4.4.2 Datengrundlage zur Ermittlung der DALYs in Bezug auf humane Salmonellen - „Years of Life Lost“ (YLL)

Zur Berechnung der Years of Life Lost = YLL sind Daten über die Anzahl der Todesfälle, welche auf eine Infektion mit Salmonellen zurückzuführen sind, notwendig. Außerdem gilt es, die durch einen verfrühten krankheitsbedingten Tod verlorenen Lebensjahre durch die verbliebene Lebenserwartung im Sterbealter in Jahren zu ermitteln.

**Tabelle 10: Todesursachen nach ICD-10 infolge einer Salmonelleninfektion, 2007**

ICD-10	Todesursache	Männer	Frauen	Gesamt	%
A00-B99	Bestimmte infektiöse und parasitäre Krankheiten	6.293	7.597	13.890	
A020	Salmonellenenteritis	15	21	36	47,4
A021	Salmonellensepsis	12	11	23	30,2
A029	Salmonelleninfektion, nicht näher bezeichnet	8	9	17	22,4
Gesamt		35	41	76	

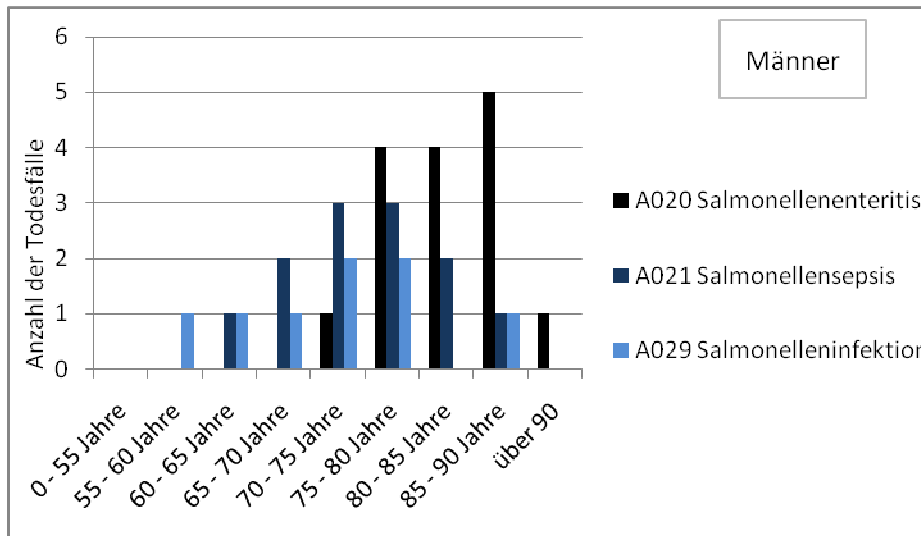
Quelle: Daten aus Statistisches Bundesamt (2008a)

Zahlen zu der Anzahl der Todesfälle werden in der Todesursachenstatistik des Statistischen Bundesamtes differenziert nach Alter und Geschlecht angegeben (siehe Tabelle 10). Gegliedert sind die Todesfälle nach den vierstelligen ICD-10-Codes<sup>25</sup> des Deutschen Instituts für medizinische Dokumentation und Information (DIMDI). Dabei können die ICD-Codes A020 Salmonellenenteritis, A021 Salmonellensepsis sowie A029 Salmonelleninfektion, nicht näher bezeichnet als durch eine Salmonelleninfektion verursacht eingeschätzt werden. Für das

<sup>25</sup> Die „Internationale statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme“ (ICD-10) wurde von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) erstellt und im Auftrag des Bundesministeriums für Gesundheit vom DIMDI ins Deutsche übertragen und herausgegeben. Die Abkürzung ICD steht für „International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems“. Die ICD-10 wird seit dem 01.01.1998 für die Verschlüsselung von Todesursachen eingesetzt und ist die Grundlage der amtlichen Todesursachenstatistik (Bund, 2010).

Jahr 2007 wurden für die drei Kategorien zusammen 76 Todesfälle erfasst, davon waren zu 46 % Männern (35 Todesfälle) und zu 54 % Frauen (41 Todesfälle) betroffen.

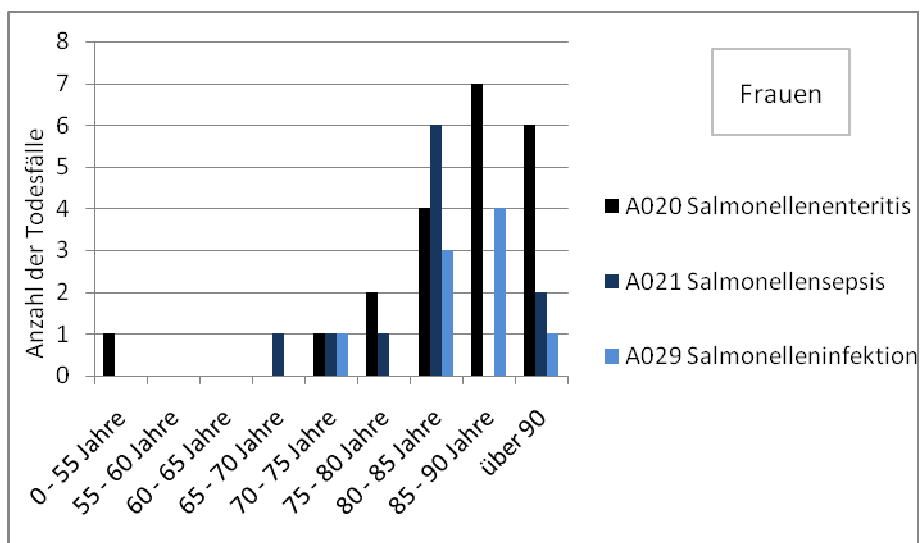
Die Tabelle 10 zeigt eine detaillierte Aufteilung in die drei Kategorien sowie nach dem Geschlecht. In Abbildung 21 und Abbildung 22 wird die geschlechtsbezogene Altersverteilung der Verstorbenen anhand von Daten aus der Todesursachenstatistik dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung (Daten aus Statistisches Bundesamt, 2008a)

**Abbildung 21: Altersverteilung der verstorbenen Männer**

Ist die Altersverteilung der Verstorbenen bekannt, kann zusammen mit der Sterbetafel die Anzahl der im Vergleich zur Durchschnittsbevölkerung verlorenen Lebensjahre bestimmt werden. Die statistische Lebenserwartung ist von Land zu Land unterschiedlich. In dieser Arbeit wird die nationale Sterbetafel von Deutschland 2006/2008 verwendet (Statistisches Bundesamt, 2009). Anhand der Sterbetafel kann die durchschnittliche restliche Lebenserwartung in einem bestimmten Alter unterteilt nach Geschlecht abgelesen werden.



Quelle: Eigene Darstellung (Daten aus Statistisches Bundesamt, 2008a)

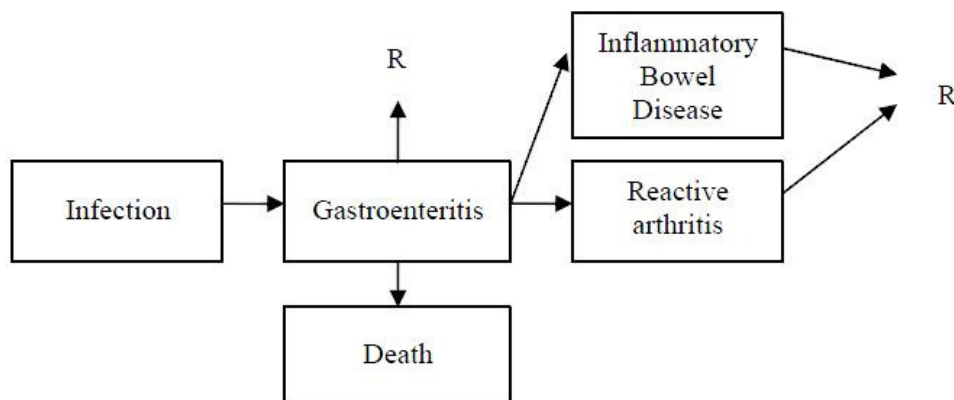
**Abbildung 22: Altersverteilung der verstorbenen Frauen**

#### 4.4.3 Datengrundlage zur Ermittlung der DALYs in Bezug auf humane Salmonellen - „Years lived with Disability“ (YLD)

Aus einer Infektion mit Salmonellen können verschiedene Krankheitsfolgen resultieren. Neben einer akuten Gastroenteritis können auch, wie bereits im Abschnitt 2.4.1.2 erwähnt, Folgeerkrankungen wie etwa ReA oder IBD mit chronischen Krankheitsverläufen bis zum Tod auftreten. Für eine umfassende Beurteilung von Krankheitslast und Kosten müssen daher alle möglichen Krankheitsfolgen berücksichtigt werden. Als Modell für den Krankheitsprozess über die Zeit dienen dabei Entscheidungs bäume bzw. sog. „outcome trees“ (siehe Abbildung 23). Dabei tritt nach einer Infektion zunächst eine akute Gastroenteritis auf. Es werden hierbei drei verschiedene Schweregrade berücksichtigt:

- Personen sind erkrankt, suchen jedoch keinen Arzt auf = kA
- Personen suchen einen Arzt auf = A
- Personen sind erkrankt und müssen hospitalisiert werden = H

Nach der akuten Gastroenteritis sind die Personen wieder gesund (R = Rehabilitation), die Krankheit endet mit tödlichem Ausgang (Death) oder es treten Folgeerkrankungen oder Spätkomplikationen auf. Bei einer vorangegangenen Salmonelleninfektion kann dies ReA oder IBD sein. Diese Krankheiten werden zum Teil geheilt oder verlaufen bis zum Tod des Patienten chronisch. Sie stellen jedoch keine Todesursache dar. In den Entscheidungsbaum wurden nur solche Krankheitsfolgen aufgenommen, für die eine ausreichende Evidenz für einen kausalen Zusammenhang oder eine Assoziation zu *Salmonella* gezeigt worden ist. Sehr seltene Krankheitsfolgen und solche mit geringem Einfluss wurden nicht mit aufgenommen. Für alle Krankheitsfolgen, die im Entscheidungsbaum aufgeführt sind, müssen Informationen zur Anzahl der Fälle, zur durchschnittlichen Dauer der Behinderung bis zur Heilung oder bis zum Tod und zum Schweregrad (Wichtungsfaktor) vorhanden sein, um die Krankheitslast realistisch schätzen zu können.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Kemmeren (2006)

**Abbildung 23: Outcome-Tree *Salmonella***

#### 4.4.4 Diskussion und Relevanz des DALY-Konzepts für die vorliegende Arbeit

Das noch recht junge Konzept der DALYs wurde nach seiner Anwendung in der „Global Burden of Disease and Injury Study“ vielfach veröffentlicht (Murray/Lopez, 1996b; 1997a–d) und fand eine breite Beachtung in der Literatur. Das Konzept löste weitläufige technische, ethische und politische Diskussionen über Vorteile und Grenzen dieses Maßes aus. Von Gesundheitsökonomern wurde unter anderem Kritik an der Bewertung der Lebensqualität durch die Festlegung von Wichtungsfaktoren bezüglich der Krankheiten, auf Grundlage von Exper-



tenmeinungen geäußert (Breyer et al., 2004). Weitere Kritik wurde an der für das Modell gewählten Altersgewichtung und global angewendeten Standard-Lebenserwartung geäußert (Anand/Hanson, 1996; Barker/Green, 1996; Paalman et al., 1998; 1996; Friedrich, 2008; Abouzahr, 1999 etc.).

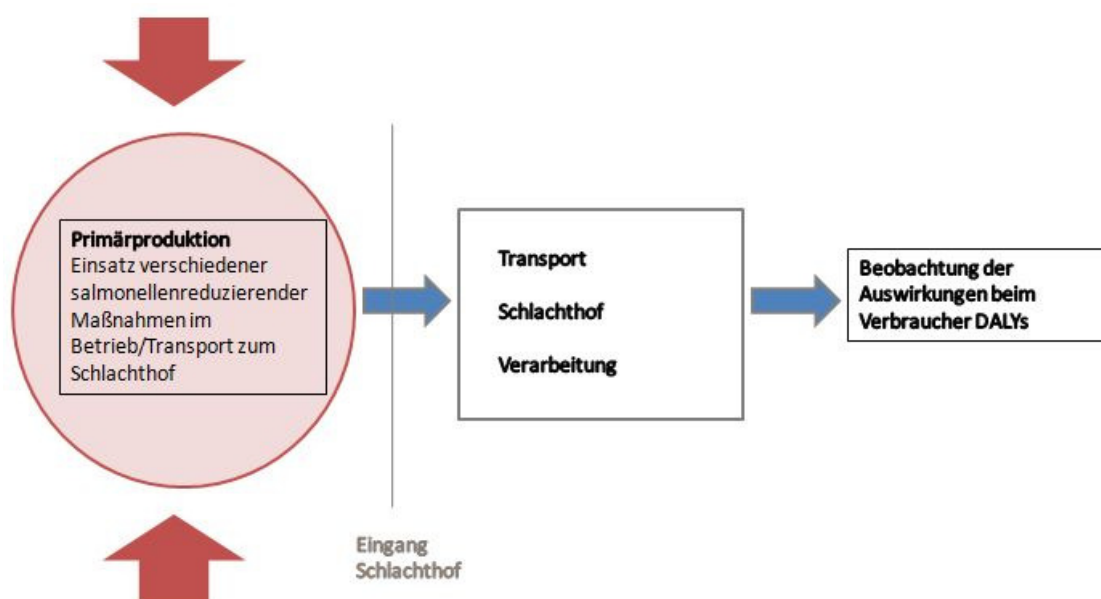
Auch wenn das Konzept ursprünglich zum Vergleich des „Burden of Disease“ zwischen Ländern entwickelt wurde, können die DALYs auch als Ergebnismaß in Kosten-Nutzwert-Analysen dienen (Schöffski, 2008). Van Lier/Havelaar (2007) weisen jedoch darauf hin, dass zu bedenken ist, dass die absoluten Werte solcher Maße wie der DALYs keine Aussagekraft besitzen. Lediglich die relativen Werte sind aussagekräftig und können zur Entscheidungsfindung dienen. Außerdem wird darauf hingewiesen, dass der „Burden of Disease“ nur ein Kriterium von vielen zur Entscheidungsfindung darstellt. Mit dem Instrument der DALYs steht im Gegensatz zur klassischen Kosten-Nutzen-Analyse eine nichtmonetäre Methode zur Verfügung, durch die die mit einer bestimmten Erkrankung einhergehende Krankheitslast in der Bevölkerung quantifiziert werden kann. Durch die Senkung der Verluste an Lebens- und Arbeitsjahren tragen salmonellenreduzierende Maßnahmen indirekt zu einer Steigerung der gesellschaftlichen Wohlfahrt bei. Mit dem DALY-Konzept kann der Nutzen verschiedener Maßnahmen quantifiziert werden. Durch die Gegenüberstellung der mithilfe des DALY-Konzepts ermittelten Nutzwerte und Kosten der einzelnen Maßnahmen kann ein Ranking von verschiedenen einsetzbaren Maßnahmen erstellt und eine Auswahl jener Maßnahmen mit dem günstigsten Kosten-Nutzen-Verhältnis getroffen werden. Das DALY-Konzept soll in dieser Arbeit angewendet werden, um einen Ansatz vorzustellen, mit dem verschiedene Maßnahmen, welche auf der Stufe der Primärproduktion eingesetzt werden, verglichen werden können.



## 5 „Farm-to-Fork-Modelle“ zur Schätzung der Effekte von im Betrieb angewendeten Maßnahmen auf den Verbraucher

### 5.1 Einleitendes

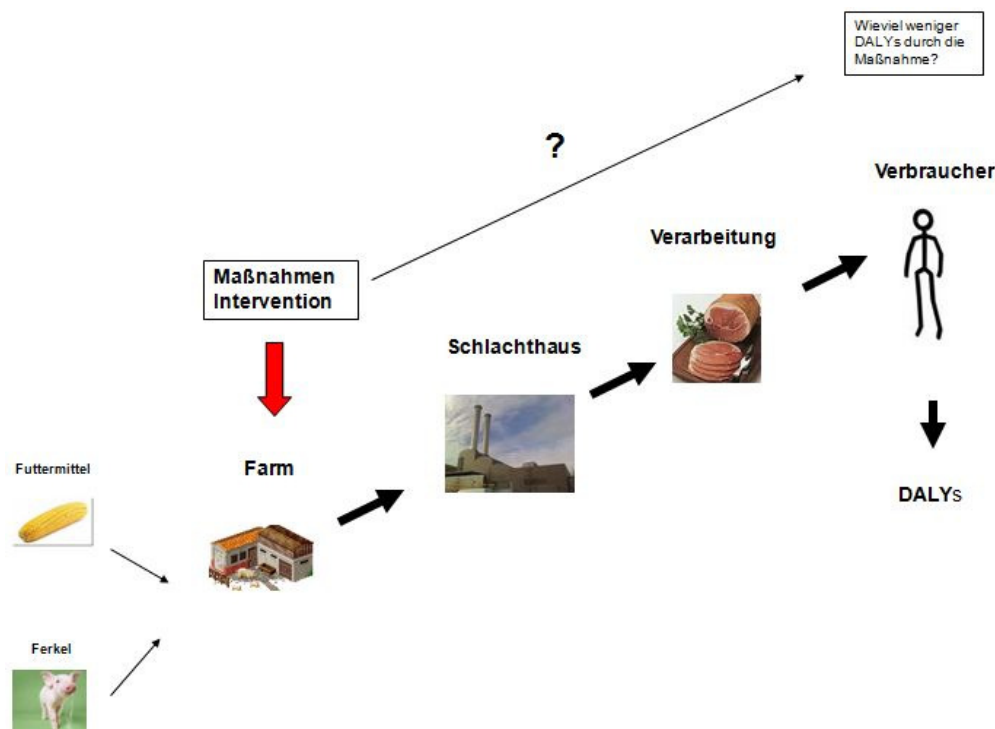
In den folgenden Kapiteln soll ein methodischer Ansatz formuliert werden, mit dem die gesamtwirtschaftlichen Effekte von verschiedenen salmonellosereduzierenden Maßnahmen, welche auf der Ebene der Primärproduktion eingesetzt werden, ökonomisch verglichen werden können. Wie bereits erwähnt, ist ein solcher Ansatz notwendig, um die effektivsten Bekämpfungsmaßnahmen zur Salmonellenbekämpfung einsetzen zu können. Bei der Formulierung dieses Ansatzes soll das gesundheitsökonomische Konzept der DALYs für den Vergleich von verschiedenen Maßnahmen als Outcome-Maß verwendet werden. (siehe Abbildung 24).



Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 24: Auswirkungen des Einsatzes von Maßnahmen im Betrieb auf den Verbraucher**

Die Effekte von Maßnahmen/Interventionen, welche im Betrieb („Farm“) eingesetzt werden, wirken jedoch nicht direkt auf den Verbraucher, es liegen vielmehr verschiedene Stufen der Lebensmittelkette (Transport, Schlachthaus, Verarbeitung) zwischen Primärproduktion („Farm“) und Verbraucher, welche den Zusammenhang beeinflussen. Eine Lösung zur Darstellung komplexer Zusammenhänge ist deren Vereinfachung anhand von Modellen. Modelle bilden die Wirklichkeit vereinfacht ab. Durch sie ist es möglich, einen Einsatz verschiedener Maßnahmen zu simulieren. Bei den Abbildungen 24 und 25 handelt es sich um zwei alternative vereinfachte Darstellungen eines sogenannten „Farm-to-Fork-Modells“.



Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 25: Die Lebensmittelkette „From Farm to Fork“**

Unter dem Begriff der „prädiktiven Mikrobiologie“ wird ein recht neuer Forschungsbereich verstanden, welcher an der Schnittstelle zwischen experimenteller Mikrobiologie, Lebensmitteltechnologie, Mathematik, Statistik und IT-Technologie steht (Filter et al., 2009). Die „prädiktive Mikrobiologie“ beschäftigt sich mit der Entwicklung von mathematischen Prognosemodellen, mit denen eine Vorhersage z. B. über Wachstum oder Inaktivierung von Mikroorganismen gemacht werden kann. Modelle der „prädiktiven Mikrobiologie“ können bei der Erstellung von mikrobiologischen quantitativen Risikobewertungen entlang der Lebensmittelkette (Quantitative Microbiological Risk Assessments, QMRA) genutzt werden (Filter et al., 2009). Die QMRA befindet sich jedoch noch im Anfangsstadium und ist aufgrund der dynamischen Eigenschaften von Mikroorganismen deutlich stärker mit Unsicherheiten behaftet als beispielsweise die Bewertung chemischer Stoffe (Doltsinis, 2003). Eines der häufigsten Verfahren zur Erstellung quantitativer mikrobieller Expositionsabschätzungen ist das von Nauta et al. (2002) entwickelte modulare Prozess-Risk-Modell (MPRM). Ziel dieses Modells ist es, die Übertragung mikrobieller Kontaminationen entlang der Lebensmittelkette zu beschreiben.

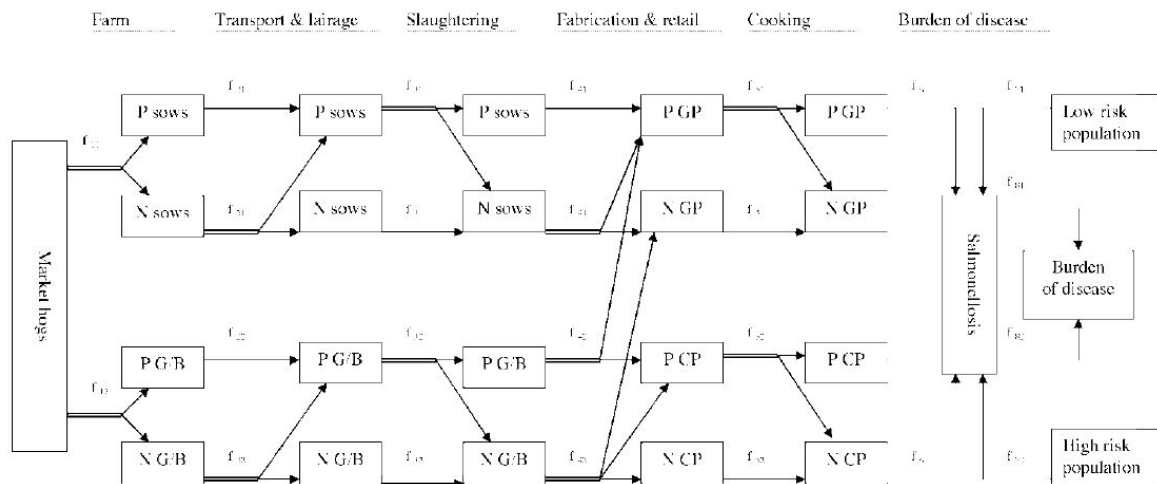
Einige Autoren haben sich bereits mit QMRAs von Salmonellen auch in Bezug auf die Schweinefleischproduktionskette beschäftigt. Hierzu zählen Arbeiten von Miller et al. (2004), Roberts et al. (1995), Hill et al. (2003), Vla (2009), Delhalle et al. (2009), Alban et al. (2002), Hurd et al. (2008), Barron et al. (2009), Van der Gaag et al. (2004) etc. Ein auf die deutschen Gegebenheiten und Daten abgestimmtes Modell gibt es derzeit jedoch noch nicht. Für die genannte Fragestellung erschien keines der vorhandenen Modelle anderer Nationen als so gut geeignet, dass es ohne Modifikationen übernommen und angewendet werden konnte. Aus diesem Grund wird im Kapitel 6 ein eigenes Modell entwickelt, welches auf Grundlage der bereits vorhandenen Modelle erstellt wurde und insbesondere an die deutschen Besonderheiten (z. B. hoher Verzehr von rohem Fleisch) und die vorhandene Datengrundlage angepasst ist.

Bevor das entwickelte „Farm-to-Fork-Modell“ im Detail erläutert wird, werden zunächst jedoch in diesem Kapitel zwei der bereits vorhandenen Modelle näher beschrieben. Insbesondere diese beiden Modelle dienten als Grundlage zur Erstellung des in dieser Arbeit entwickelten „Farm-to-Fork-Modells“. Zum einen ist dies das Modell von Miller et al. (2004). Dieses Modell wurde gewählt, da es eine ähnliche Fragestellung behandelt hat. Zum anderen wird das neueste der vorhandenen Modelle, das sehr umfassende Modell der EFSA (2010), näher erläutert.

## 5.2 Darstellung vorhandener Modelle

### 5.2.1 Modell von Miller et al. (2004)

In den USA wurde von Miller et al. (2004) in Anlehnung an Roberts et al. (1995) ein Modell in @Risk implementiert, mit welchem das Risiko und der ökonomische Einfluss von durch Schweinefleisch verursachten Salmonellen-Erkrankungen beim Menschen geschätzt werden kann. Dieses Modell war anfangs in sieben Module aufgeteilt, um die amerikanische Schweinefleischproduktionskette „From Farm to Fork“ abzubilden (Miller et al., 2004; 2005): (i) On-farm pig prevalence of *Salmonella*, (ii) Pig prevalence of *Salmonella* after transport and lairage, (iii) Carcass prevalence of *Salmonella* during processing, (iv) Prevalence of *Salmonella* at fabrication and retail, (v) Effects of consumer cooking and consumption on *Salmonella* prevalence, (vi) Health consequences of *Salmonella* infection, und (vii) Social costs of *Salmonella* infection. In einer späteren Veröffentlichung wurde das Modell auf die folgenden sechs Module reduziert (McNamara et al., 2007): (i) Farm, (ii) Transport & Lairage, (iii) Slaughtering, (iv) Fabrication & retail, (v) Cooking, und (vi) Burden of Disease (siehe Abbildung 26).



P sows steht dabei für die Anzahl der *Salmonella* positiven Sauen, N sows für die Anzahl der negativen Sauen, P G/B für die Anzahl der positiven Gilts and Barrows und N G/B für die Anzahl der negativen Gilts and Barrows.

Quelle: McNamara et al. (2007)

**Abbildung 26: „Farm-to-Fork-Modell“**

Die erste Stufe bildet die Farm (i). Ausgangspunkt für das Modell ist die in den USA im Jahre 2000 geschlachtete Anzahl der Marktschweine (market hogs). Die Prävalenz der Sauen sowie der Jungsauen (gilts) sowie Borge (barrows) wird in Form einer Pert-Verteilung angegeben. Diese Schätzung basiert auf Angaben aus der Literatur. Da diese Angaben auf Kotprobenuntersuchungen basieren, ist die Unsicherheit der Testergebnisse recht hoch. Um diese Unsicherheit darzustellen, wurde anhand einer Formel von SMITH (1995) die „apparent prevalence“ zur „true prevalence“ korrigiert.

$$(4) \quad \text{True prevalence} = \frac{\text{apparent prevalence} + \text{specificity} - 1}{\text{sensitivity} + (\text{specificity} - 1)}$$

Da meist die Sensitivität und Spezifität nicht anhand der Studiendaten gewonnen werden können, wird für die Spezifität der konstante Wert von 0,998 angenommen. Die Sensitivität variiert etwa mit der Anzahl der Kotproben und dem Kotprobenvolumen. In Anlehnung an Funk et al. (2000) wird ein Bereich zwischen 0,325 und 0,688 angenommen.

Durch den Transport und den Aufenthalt im Wartestall ([ii] Transport & lairage) kann es zu einem enormen Anstieg der Prävalenz kommen. Anhand der Studiendaten von Hurd et al. (2001a; 2001b), Larsen et al. (2003), McKean et al. (2001) und Proesholdt et al. (1999) wurde ein Dreiecksverteilung generiert, welche die Prävalenzerhöhung durch den Transport und Aufenthalt im Wartestall widerspiegeln soll (McNamara et al., 2007).

Das Schlachtmodul Slaughter (iii) umfasst mehrere einzelne Schritte des Schlachtprozesses. Jeder einzelne Schritt hat das Potential, eine Senkung oder einen Anstieg der Wahrscheinlichkeit, dass Salmonellen auf oder in Schweinefleisch gefunden werden können, herbeizuführen. In Anlehnung an amerikanische Studien wird eine Senkung der Salmonellenkontamination durch den Schlachtprozess zwischen 87 und 96 % angenommen. Die Ergebnisse der ersten beiden Module basieren meist auf der Untersuchung von Kotproben. Auf der Ebene des Schlachthauses werden Oberflächenproben genommen. Da es nach Angabe der Autoren keine Studien über diesen Zusammenhang gibt, wird angenommen, dass die anhand unterschiedlicher Methoden gemessenen Prävalenzänderungen ein Verhältnis von eins zu eins aufweisen.

Bei der vierten Stufe ([iv] Fabrication & Retail) wird zwischen den beiden Produkten Hackfleisch (ground pork products) und Schweinestücke (pork cuts) unterschieden. Dabei geht das Fleisch der Sauen zu 100 % in die Hackfleischverarbeitung ein. Das Fleisch der Jungsauen und Böрге wird zu 87 % zu Schweinestücken und nur zu 13 % zu Hackfleisch verarbeitet. Um die Prävalenzänderung durch diese Stufe abschätzen zu können, wurde aus den Studiendaten von Duffy et al. (2001) eine Dreiecksverteilung generiert; diese bildet den in der Studie festgestellten Prävalenzanstieg ab.

Das Kochen ([v] Cooking) ist ein wirkungsvoller Prozess zur Reduktion pathogener Keime. Durch das vollständige Durcherhitzen der Schweinefleischprodukte werden die Salmonellen abgetötet. Auch das nicht vollständige Durcherhitzen der Schweinefleischprodukte führt zu einer Teilreduktion der vorherigen Salmonellenbelastung. Nach McNamara et al. (2007) hängt der durchgeführte Erhitzungsgrad davon ab, in welche Risikogruppe die Personen eingestuft werden können. Für Kleinkinder oder ältere Menschen (20 % der Gesamtbevölkerung) besteht ein hohes Risiko (high risk group) einer Erkrankung, daher werden Schweinefleischprodukte für diese Risikogruppe zu 80 % durchgekocht. Die restlichen 80 % der Bevölkerung gehören zur Risikogruppe mit geringem Risiko (low risk group), diese kochen ihre Schweinefleischprodukte lediglich zu 70 % durch.

In der sechsten Stufe wird die Krankheitslast ([vi] Burden of Disease) dargestellt. Die Intensität der Belastung hängt dabei nur von der aufgenommenen kontaminierten Menge ab. Das Dosis-Wirkungs-Modell stellt die Beziehung zwischen der Aufnahme von kontaminierter Nahrung und der Wahrscheinlichkeit der lebensmittelverursachten Erkrankung dar. Es wird in Anlehnung an die Risikobewertung der Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) und der World Health Organisation (WHO) (2002) das folgende Dose-Response-Modell verwendet, dabei wird eine Beta-Poisson-Verteilung mit den Parametern  $\alpha = 0,1324$  und  $\beta = 51,45$  verwendet (FAO/WHO, 2002):

$$(5) \quad P = 1 - [1 + (dose/beta)]^{-alpha}$$

Output des Modells ist die Anzahl von Menschen, welche durch den Verzehr von *Salmonella* positivem Schweinefleisch an Salmonellose erkrankt sind. Die Berechnung der Todesfälle erfolgt über die Multiplikation der Anzahl von erkrankten Menschen mit anhand von empirischen Daten der USDA (1998) generierten Dreiecksverteilungen. Es wird eine Dreiecksverteilung für die high risk group und eine für die low risk group eingesetzt.

Für die Berechnung der Todesfälle der high risk group gilt:

$$(6) \quad \text{Todesfälle high risk group} = \text{Triangular}(0,000248; 0,000783; 0,00387)$$

und für die Berechnung der Todesfälle der low risk group:

$$(7) \quad \text{Todesfälle low risk group} = \text{Triangular}(0,000127; 0,000254; 0,000553)$$

Darüber hinaus wird in Anlehnung an Buzby et al. (1996) in dieser Ausarbeitung von Miller et al. (2004) auch der ökonomische Einfluss von durch Schweinefleisch verursachte Salmonellen-Erkrankungen beim Menschen ermittelt. Außerdem werden die medizinischen Kosten sowie die Produktivitätsverluste, auf das Jahr 2000 angepasst, berechnet.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass im Fokus des Modells von Miller et al. (2004) eine recht ähnliche Fragestellung steht. Aus diesem Grund stellte das Modell eine grobe Orientierung für die Struktur des im Rahmen dieser Arbeit entwickelten „Farm-to-Fork-Modells“ dar. Im eigenen Modell werden ähnliche Stufen zur Abbildung der Schweinefleischproduktionskette gewählt, außerdem wird ebenfalls das Dose-Response-Modell der FAO/WHO (2002) verwendet. Die im Modell von Miller et al. (2004) gewählte Aufteilung in einerseits Sauen und andererseits Gilts and Barrows wurde für das eigene Modell nicht übernommen. Die Einteilung in eine high risk group und eine low risk group wurde als sehr sinnvoll erachtet und daher in das eigene Modell übernommen.

### 5.2.2 Quantitative Microbiological Risk Assessment (QMRA) – EFSA (2010)

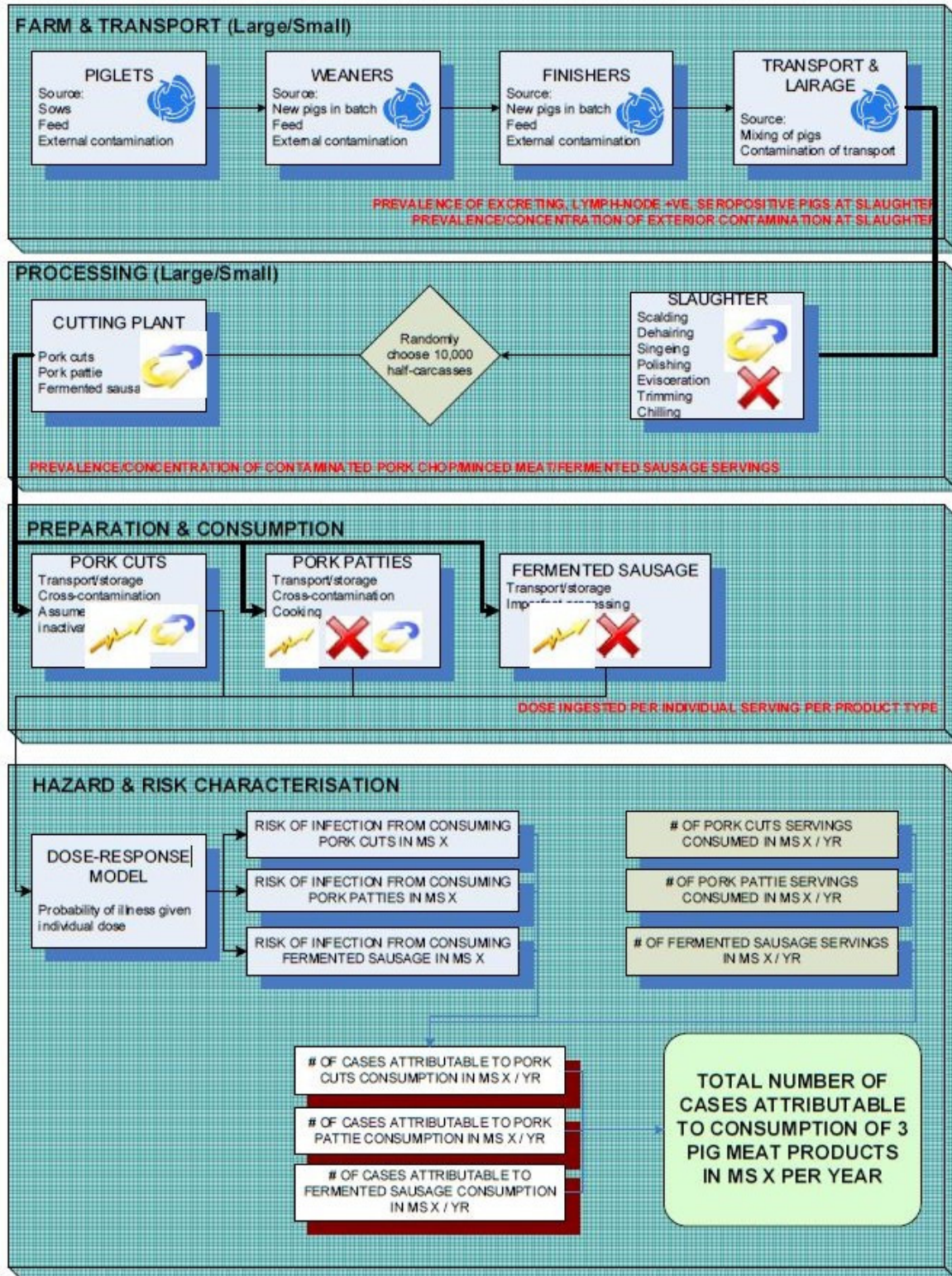
Parallel zu der vorliegenden Arbeit wurde von der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (European Food Safety Authority, EFSA) eine quantitative mikrobiologische Risikobewertung (Quantitative Microbiological Risk Assessment, QMRA) in Bezug auf Salmonellen in Schlacht- und Zuchtschweinen für die EU durchgeführt (EFSA, 2010). Diese gesamteuropäische QMRA lässt zum Teil europäische Vorarbeiten aus England (Hill et al., 2003; Vla, 2009), Belgien (Delhalle et al., 2009), Dänemark (Alban et al., 2002; Hurd et al., 2008), Irland (Barron et al., 2009) und den Niederlanden (Van der Gaag et al., 2004) in ihre Modellierung mit einfließen. Der Aufruf zur Durchführung der „Quantitative microbiological risk assessment on *Salmonella* in slaughter and breeder pigs“ (EFSA, 2007) wurde auf Grundlage des Artikels 36 des Europäischen Parlamentes und des Rates (EC) No 178/2002 veröffentlicht.

Ziele der QMRA waren:

- Schätzung der durch eine Prävalenzsenkung in Schlachtschweinen zu erwartenden Reduktion der Salmonellenerkrankungsfälle beim Menschen
- Einschätzung der Infektionsquellen für Mastschweine auf Betriebsebene
- Schätzung der Reduktion der Prävalenz in Schlachtschweinen durch Maßnahmen auf Betriebsebene



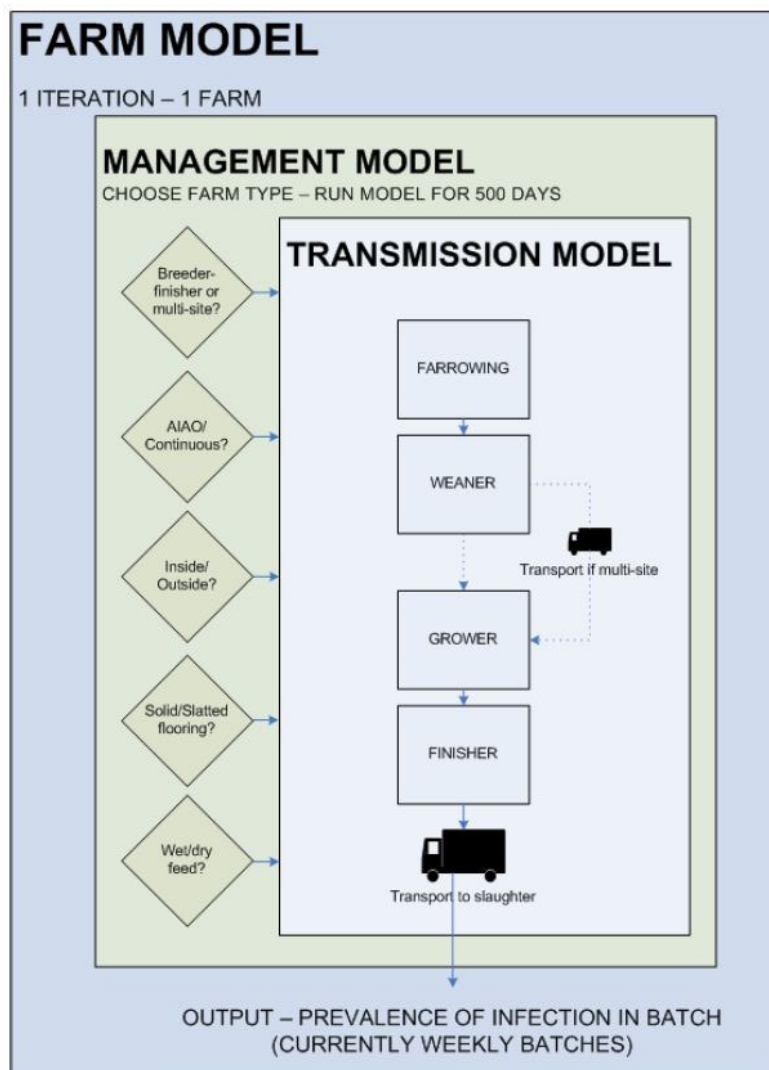




Quelle: EFSA (2010)

Abbildung 28: Aufbau der QRMA der EFSA – Übersicht der vier Module

Beim „Farm“-Modul (Abbildung 29) werden zwei verschiedene Farm-Typen getrennt modelliert. Es werden die Module „große Farm“ und „kleine Farm“ unterschieden. Ziel des „Farm“-Moduls ist die mathematische Beschreibung des Farmmanagements in der EU und die damit verbundene Übertragung von *Salmonella* zwischen den Schweinen. Der Input für das „Farm“-Modul ist ein zufallsgenerierter Farm-Typ mit den damit verbundenen Farmmanagementmaßnahmen (z. B. wet/dry feed). Jede Monte-Carlo-Iteration<sup>27</sup> repräsentiert dabei eine Farm. Eine Farm wurde für 500 Tage modelliert. In dieser Zeit bestehen verschiedene Infektionsmöglichkeiten für die Mastschweine, wie etwa über die Sauen, Futter oder externe Kontaminationsquellen. Durch die Infektion eines Schweines besteht dann wiederum die Gefahr der Übertragung der Salmonellen auf andere Mastschweine (Transmissionsmodell). Der Output des Moduls ist die Prävalenz einer Gruppe von Schweinen, welche kurz vor der Schlachtung stehen. Dieser Output geht als Input in das nächste Modul „Transport & Lairage“ ein.



Quelle: EFSA (2010)

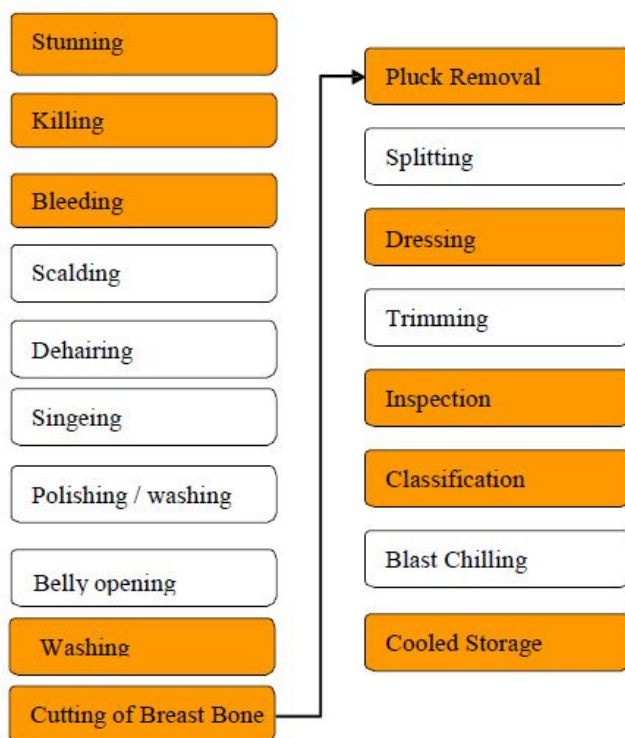
**Abbildung 29: Überblick über das Farm-Model**

<sup>27</sup> Die Monte-Carlo-Simulation ist ein Verfahren aus der Stochastik, bei dem sehr häufig durchgeführte Zufallsexperimente die Basis darstellen. Es wird dabei versucht, mithilfe der Wahrscheinlichkeitstheorie analytisch nicht oder nur aufwendig lösbare Probleme numerisch zu lösen (WIKIPEDIA, 2011).



Das „Transport & Lairage“-Modul wurde als ein Teilmodell entwickelt, welches für alle Mitgliedsländer verwendet werden soll. Das Modell simuliert die Übertragung der Salmonellen im Transportfahrzeug bzw. im Wartestall. Es wurden Datenlücken in Bezug auf die Kontamination der Haut, der Prävalenz der Hautkontamination und in Bezug auf die Höhe des „Carry over“ von *Salmonella* aufgetan. Es wird angenommen, dass Schweine von großen Farmen auch in große Schlachthäuser transportiert werden und Schweine von kleinen Farmen in kleine Schlachthäuser gebracht werden. Der Output des Moduls ist die Prävalenz, die Anzahl von *Salmonella* im Darm und die Konzentration von *Salmonella* auf der Haut der einzelnen Schweine – nach dem Wartestall. Diese Output-Parameter gehen in das nächste Modul „Slaughter & Processing“ ein.

Beim „Slaughter & Processing“-Modul werden ähnlich wie beim „Farm“-Modul ein „großes Schlachthaus“-Modell und ein „kleines Schlachthaus“-Modell unterschieden. Die Schweine und später die Karkassen durchlaufen dabei die einzelnen Stufen des Schlachtprozesses (siehe Abbildung 30). Dabei können bei den einzelnen Schritten verschiedene mikrobielle Prozesse, wie Inaktivierung, Wachstum, Kreuzkontamination durch die Umgebung etc., ablaufen.



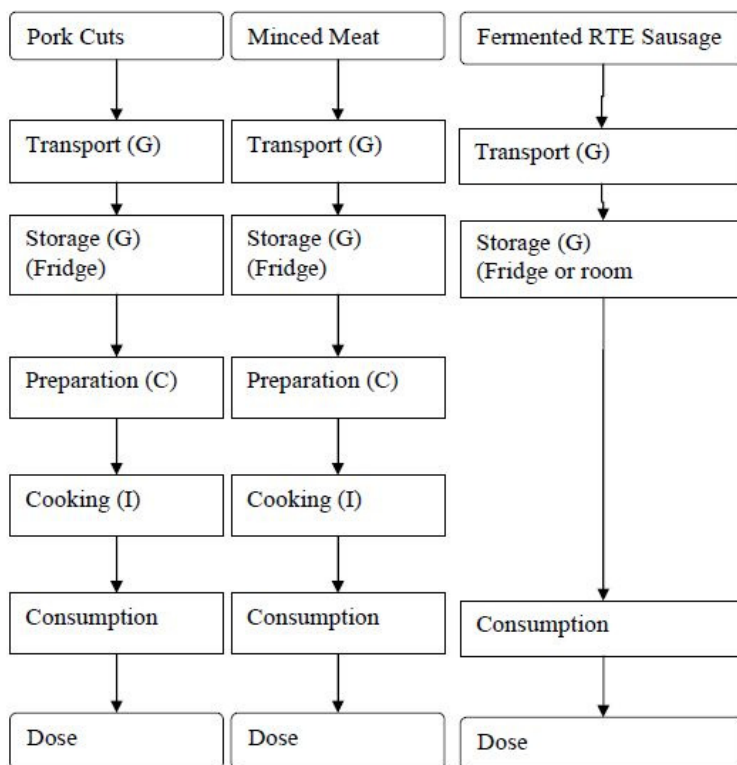
Quelle: EFSA (2010)

**Abbildung 30: Der Schlachtprozess**

Das „Slaughter & Processing“-Modul basiert auf dem in Abschnitt 5.1 bereits erwähnten „Modular Process Risk Model“ (MPRM)-Paradigma von Nauta (2001; 2008). Das ausschlaggebende Kriterium des MPRM-Paradigmas ist das Splitten des Modells in viele einzelne Sub-Module, welche einzeln modelliert und später wieder verkettet werden. Die modellierten Sub-Module sind in der Abbildung 30 weiß dargestellt, die farbig hinterlegten Sub-Module werden nicht betrachtet, da durch sie keine mikrobielle Veränderung zu erwarten ist. Zu Beginn des Schlachtprozesses ist die Einheit das „Schwein“, nach dem Schlachten ist die Einheit die „Karkasse“ und nach dem Teilen ist die Einheit die „halbe Karkasse“. Für Schweine und Karkassen wird die Anzahl an *Salmonella* sowohl für den Darm als auch für die Haut

angegeben. Für die halben Karkassen wird nur noch die Oberflächenkontamination der Haut angegeben. Der Output des „Slaughter“-Moduls ist die Prävalenz der halben Karkassen, dieser geht in das „Processing“-Modul ein. Nach dem Schlachthaus werden die halben Karkassen im „Processing“-Modul zu den einzelnen Produkten verarbeitet. Es werden hierbei die drei Produkte Schweinestücke (pork cuts), Hackfleisch (minced meat) und Hackfleisch für die Wurstproduktion (minced meat for sausage production) hergestellt. Die Einheit ändert sich von „halben Karkassen“ zu „Portion des Produktes“. Output des „Slaughter & Processing“-Moduls ist die Anzahl von *Salmonella* je Portion Schweinestücke, Hackfleisch und Hackfleisch zur Wurstverarbeitung.

Das letzte Modul ist das „Preparation & Consumption“-Modul. Dabei werden für die drei verschiedenen Produktgruppen – Schweinestücke, Hackfleisch und Hackfleisch zur Wurstverarbeitung – auch drei parallel laufende Modelle aufgestellt (siehe Abbildung 31). In jedem Produkt-Modell können die mikrobiologischen Prozesse Wachstum, Inaktivierung oder Kreuzkontamination ablaufen. Der Output des Moduls ist die Anzahl der verzehrten Salmonellen (Dosis) je Portion separat für jedes der drei Produkte.



Quelle: EFSA (2010)

**Abbildung 31: Verarbeitungswege der drei Produktgruppen „pork cuts“, „minced meat“ und „fermented sausages“**

Die Dosis ist der Input für das Dosis-Wirkungs-Modell. Es wird das von der Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) und der World Health Organisation (WHO) veröffentlichte Dosis-Wirkungs-Modell verwendet (FAO/WHO, 2002). Bei diesem handelt es sich um ein Beta-Poisson-Modell, mit den Parametern Alpha =  $\alpha = 0,1324$  und Beta =  $\beta = 51,45$ . Der Output ist jeweils die Wahrscheinlichkeit, durch den Verzehr von einer Portion des jeweiligen Produktes an Salmonellen (Pill) zu erkranken.

(8)

$$P_{ill} = 1 - \left( 1 + \frac{Dose}{\beta} \right)^{-\alpha}$$

Der Abschlussbericht zu der QMRA der EFSA wurde im April des Jahres 2010 veröffentlicht (EFSA, 2010). Der Aufbau und das Modell ist jedoch, wie anhand der Erläuterungen zu erkennen ist, äußerst komplex und darüber hinaus derzeit noch nicht öffentlich zugänglich.

Die QRMA der EFSA (2010) diente ebenfalls wie das Modell von Miller et al. (2004) als Orientierung für die Struktur des eigenen Modells. Es wurde versucht, die wichtigsten Elemente aus der sehr komplexen QRMA der EFSA (2010) herauszufiltern und diese vereinfacht für das eigene Modell zu übernehmen. Es wurde eine annähernd gleiche Aufteilung der Module gewählt, jedoch ohne die Unterscheidung in „große Farm“ vs. „kleine Farm“ bzw. „großes Schlachthaus“ vs. „kleines Schlachthaus“. Auch die Modellierung des Schlachtprozesses im eigenen Modell ist an das „Slaughter & Processing“-Modul der QRMA der EFSA angelehnt. Das Dosis-Wirkungs-Modell der FAO/WHO (2002) wird, wie bereits erwähnt, auch beim Modell von Miller et al. (2004) verwendet und wird auch für das eigene Modell Verwendung finden. Die QRMA der EFSA (2010) verwendet jedoch wie auch das Modell von Miller et al. (2004) nicht das Konzept der DALYs als Outcome-Maß.

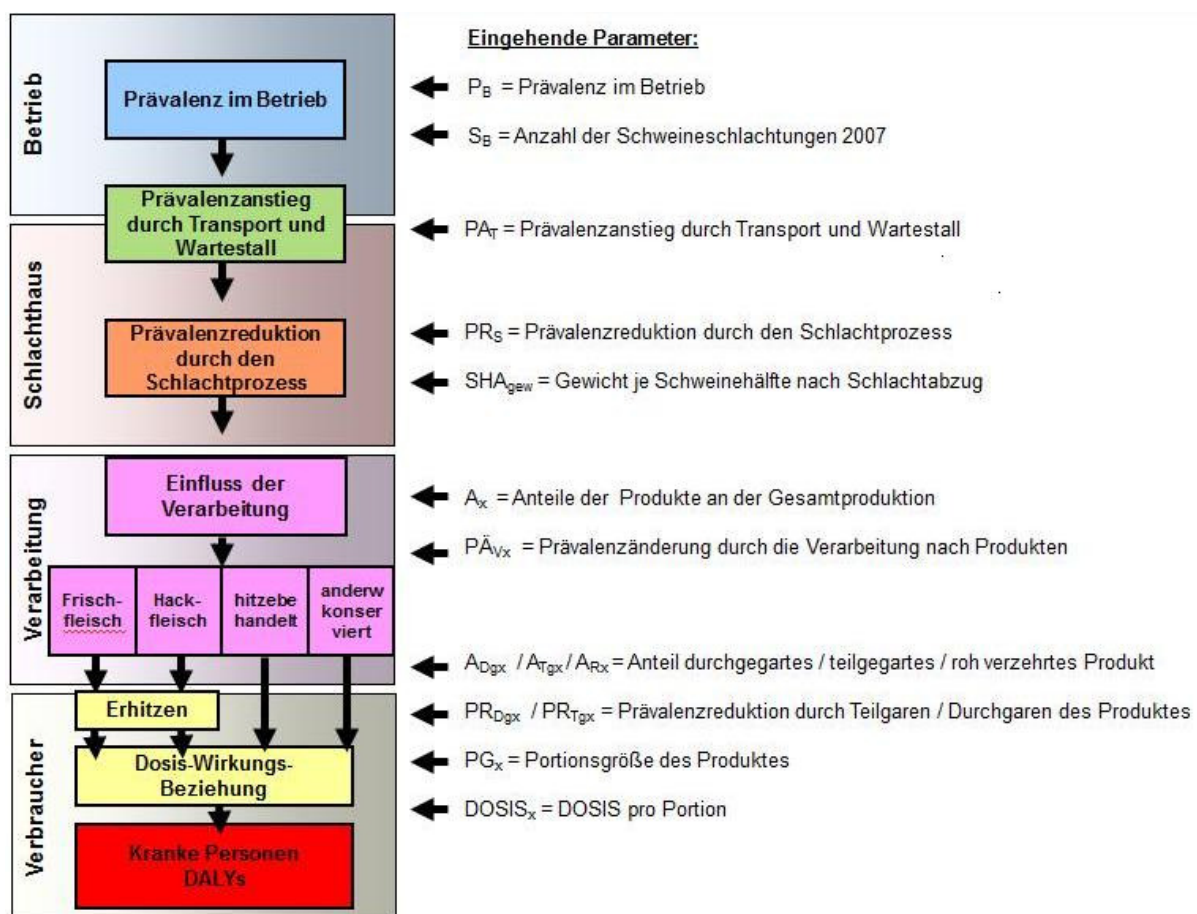


## 6 Modellierung eines „Farm-to-Fork-Modells“ für Deutschland

Im Rahmen dieses Kapitels wird ein „Farm-to-Fork-Modell“ unter Zuhilfenahme des Programmes @Risk konstruiert. Auf der Grundlage dieses Modells soll dann eine gesundheitsökonomische Bewertung von verschiedenen auf der Stufe der Primärproduktion eingesetzten Maßnahmen vorgenommen werden können.

### 6.1 Aufbau des Modells

In Anlehnung an die in Abschnitt 5.2 erläuterten Modelle wurde ein modularer Aufbau gewählt. Die Abbildung 32 zeigt den Aufbau des Modells und die auf den verschiedenen Stufen eingehenden Parameter.



Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 32: Aufbau des Modells und eingehende Parameter**

Das Modell umfasst folgende fünf Module: „Betrieb“, „Transport und Wartestall“, „Schlachtprozess“, „Produktverarbeitung“ und „Verbraucher“. Dabei geht jeweils der Output des vorangegangenen Moduls als Input in das folgende Modul ein.

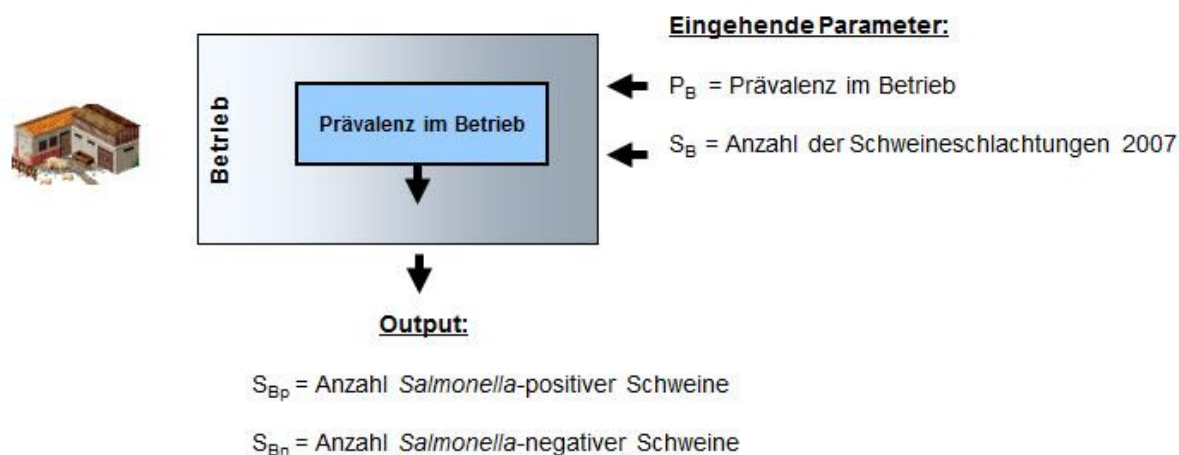
Das erste Modellmodul ist das Modul „Betrieb“. Eingehende Parameter sind hier die Anzahl der Schweineschlachtungen sowie die Prävalenz im Betrieb. Output des Moduls sind die Anzahl der *Salmonella*-positiven Schweine im Betrieb sowie die Anzahl *Salmonella*-negativer Schweine im Betrieb. Das zweite Modul ist das „Transport und Wartestall“-Modul. Der Output

des vorigen Moduls dient als Input für dieses Modul. Eingehender Parameter ist der erwartete Prävalenzanstieg durch den Transport und den Aufenthalt im Wartestall. Output des Moduls sind die Anzahl der *Salmonella*-positiven Schweine nach Transport und Wartestall und die Anzahl *Salmonella*-negativer Schweine nach Transport und Wartestall. Im Modul „Schlachtprozess“ durchlaufen die Schweine die verschiedenen Stufen des Schlachtprozesses. Eingehende Parameter sind die geschätzte Prävalenzreduktion durch den Schlachtprozess sowie das Gewicht je Schweinehälfte nach dem Schlachtabzug. Output des Moduls sind die *Salmonella*-positive Schlachtmenge sowie die *Salmonella*-negative Schlachtmenge in kg. Das vierte Modul ist die Produktverarbeitung der Schweinehälften. Diese werden zu den vier verschiedenen Produktklassen Fleisch, Hackfleisch, hitzebehandelte Fleischerzeugnisse und anderweitig konservierte Fleischerzeugnisse weiterverarbeitet. Eingehende Parameter sind hier die geschätzte Prävalenzreduktion durch die Verarbeitung zu den verschiedenen Produktklassen sowie die verschiedenen Anteile der Produktklassen an der Gesamtproduktion. Der Output des Moduls „Produktverarbeitung“ sind die *Salmonella*-positive Menge des jeweiligen Produktes nach der Verarbeitung und die *Salmonella*-negative Menge des jeweiligen Produktes nach der Verarbeitung. Das letzte Modul ist das „Verbraucher“-Modul. Die Produktklassen frisches Fleisch und Hackfleisch werden beim Verbraucher vor dem Verzehr erhitzt. Die anderen beiden Produktklassen werden beim Verbraucher direkt ohne Weiterverarbeitung verzehrt. Zwischen-Output sind die Anzahl der *Salmonella*-positiven Portionen je Produktklasse sowie die durch das Dosis-Wirkungs-Modell ermittelte Wahrscheinlichkeit der Erkrankung durch eine *Salmonella*-positive Portion. Output des Moduls ist die geschätzte jährliche Erkrankungszahl verursacht durch die jeweilige Produktklasse.

Das Modell wurde als Ausgangsszenario beispielhaft für das Jahr 2007 in @Risk implementiert. Die einzelnen Module des Modells werden in den folgenden Abschnitten im Detail erläutert.

## 6.2 Modul 1 – Betrieb

Das Modul „Betrieb“ stellt den Ausgangspunkt der Modellierung dar. In dieses erste Modul gehen die beiden Parameter  $P_B$  „Prävalenz im Betrieb“ und  $S_B$  „Anzahl der Schweineschlachtungen 2007“ ein (siehe Abbildung 33).



Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 33: Modul 1 – Betrieb**



Der Output des Moduls sind die errechneten Parameter  $S_{Bp}$  „Anzahl *Salmonella*-positiver Schweine“ sowie  $S_{Bn}$  „Anzahl *Salmonella*-negativer Schweine“ (siehe Abbildung 33). Diese beiden Output-Parameter gehen als Input in das nächste „Transport und Wartestall“-Modul ein. Die verschiedenen Parameter des ersten Moduls „Betrieb“ werden in der Tabelle 11 nochmals übersichtlich aufgelistet.

Korrespondierend zur Tabelle 11 gibt es auch für die Module „Transport und Wartestall“, „Schlachtprozess“, „Produktverarbeitung“ und „Verbraucher“ eine ähnliche Tabelle. Für jeden Parameter werden dabei die Art, die Einheit, die Beschreibung und die Quelle angegeben. Bei der Art kann zwischen Input-Parametern, eingehenden Parametern und Output-Parametern unterschieden werden. Als Input-Parameter werden jene Parameter verstanden, welche aus einem vorangegangenen Modul stammen und nun als Input in das zu betrachtende Modul einlaufen. Als eingehende Parameter werden Parameter bezeichnet, welche mit neuen Informationen in das zu betrachtende Modul eingehen. Und als Output-Parameter werden Parameter bezeichnet, welche in dem zu betrachteten Modul unter Verwendung der Input-Parameter und der eingehenden Parameter berechnet wurden. Die Output-Parameter gehen dann als Input in das anschließende Modul ein. Die Bezeichnung der Parameter wurde möglichst logisch gewählt. So wurde der Parameter  $S_B$  „Anzahl der Schweineschlachtungen 2007“ mit dem Buchstaben S wie **S**chweineschlachtungen bezeichnet. Der Index **B** in dem Parameter  $S_B$  deutet auf das erste Modul „**B**etrieb“ hin. Außerdem steht der Index **p** bzw. **n** nach dem **B** für *Salmonella*-**p**ositiv bzw. *Salmonella*-**n**egativ (z. B.  $S_{Bp}$ ). Die Einheit, Beschreibung und Quellenangaben sind ebenfalls Bestandteil der Tabellen zur Beschreibung der Modul-Parameter (siehe Tabelle 11).

**Tabelle 11: Parameter des „Betrieb“-Moduls**

Art	Bezeichnung	Einheit	Beschreibung	Quellen
eingehend	$P_B$	RiskBeta	Prävalenz im Betrieb	Hartung (2009)
eingehend	$S_B$	Stück	Anzahl der Schweineschlachtungen 2007	ZMP (2008)
Output	$S_{Bp}$	Stück	Anzahl <i>Salmonella</i> -positiver Schweine	
Output	$S_{Bn}$	Stück	Anzahl <i>Salmonella</i> -negativer Schweine	

Quelle: Eigene Darstellung

### Erläuterung zum Parameter $P_B$

Unter dem Begriff der Prävalenz wird, wie bereits im Abschnitt 2.2.4 erwähnt, die epidemiologische Häufigkeit aller Fälle einer bestimmten Krankheit in einer Population zum Zeitpunkt der Untersuchung verstanden (Roche Lexikon Medizin, 2003d). Die Prävalenz kann mathematisch wie folgt ausgedrückt werden:

$$(9) \quad \text{Prävalenz} = \frac{\text{Anzahl der zum Untersuchungszeitpunkt kranken Einheiten}}{\text{Anzahl der gesamten untersuchten Einheiten}}$$

Bereits in Abschnitt 2.2.4 wurde auf das Vorkommen von Salmonellen in deutschen Schweinebeständen eingegangen. In dem Bericht „Erreger von Zoonosen in Deutschland im Jahr 2007 – Mitteilungen der Länder zu Lebensmitteln, Tieren, Futtermitteln und Umweltproben“ (Hartung, 2009) werden verschiedene Daten zur Salmonellenbelastung der Schweine im Betrieb angegeben. Neben der Unterscheidung von Plan- und Anlassproben werden sowohl Ergebnisse aus bakteriologischen Untersuchungen als auch immunologische Untersuchungsergebnisse getrennt aufgeführt. Außerdem wird zwischen der Untersuchung von Einzeltieren und der Untersuchung von Herden differenziert. Zusätzlich werden die Untersuchungsergebnisse in Zuchtschweinproben, Mastschweinproben oder gemischte Proben unterteilt. In Tabelle 12 werden die für das Jahr 2007 verfügbaren Daten zur Prävalenz im Betrieb zusammenfassend dargestellt. Es ist jedoch anzumerken, dass es sich bei den bakteriologischen Untersuchungen im Betrieb um Kotproben und nicht um Lymphknotenproben

handelt, da am lebenden Tier keine bakteriologische Untersuchung der Lymphknoten möglich ist (siehe Abschnitt 2.1.4). Durch diese Tatsache ist die Aussage der bakteriologischen Untersuchungsergebnisse mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Sie sollen trotzdem für diese Fragestellung den serologischen Untersuchungsergebnissen vorgezogen werden, da sie eine höhere Spezifität aufweisen.

Für die Berechnung des Input-Parameters  $P_B$  „Prävalenz im Betrieb“ dienen für das Ausgangsszenario die in der Tabelle 12 markierten Werte Anzahl der untersuchten Einzeltiere sowie die Anzahl *Salmonella*-positiver Proben. Die Anzahl *Salmonella*-positiver Proben wurde anhand von 1.960 untersuchten Kotproben von Mastschweinen (Einzeltieren) bakteriologisch ermittelt (93 von 1.960 *Salmonella*-positiv). Dies entspricht einer Prävalenz von 4,74 % im Betrieb.

Da bei diesem Modell die Einheit „Schwein“ im Vordergrund stehen soll, wird der „%-Wert positive Proben“, welcher aus den Einzeltieruntersuchungen ermittelt wurde, für diese Fragestellung als relevant erachtet und ausgewählt. Ziel dieser Arbeit ist es, den Einsatz von Maßnahmen in Mastschweinebeständen zu modellieren, daher werden nur solche Proben betrachtet, welche sich auf Mastschweine beziehen.

**Tabelle 12: Übersicht der Daten zur Prävalenz von Mast- und Zuchtschweinen für das Jahr 2007**

	Untersuchte Herden/Einzeltiere	Anzahl positive Proben	% positive Proben	Quelle
<b>Bakteriologische Untersuchung</b>				
Herden				
Zuchtschweine	67	1	1,49	*
Mastschweine	500	40	8,00	*
gemischt	1.737	124	7,14	*
Einzeltiere				
Zuchtschweine	341	21	6,16	**
Mastschweine	1.960	93	4,74	**
gemischt	12.308	584	4,74	**
<b>Immunologische Untersuchung</b>				
Herden				
gemischt	54	37	68,52	*
Einzeltiere nur Planproben				
Zuchtschweine	3.830	214	5,59	***
Mastschweine	2.201	209	9,50	***
gemischt	6.067	426	7,02	***
Einzeltiere				
gemischt	9.343	1.299	13,90	**

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Hartung (2009)

\* Hartung (2009: Tabelle 23a)

\*\* Hartung (2009: Tabelle 23b)

\*\*\* Hartung (2009: Tabelle 23c)

Anlassproben werden nur aufgrund eines Verdachtes, einer Verfolgung oder aufgrund einer Wiederholung genommen (Hartung, 2009), daher können sie keine repräsentative Stichprobe darstellen. Für die bakteriologische Untersuchung von Einzeltieren in Bezug auf Mastschweine werden die Planproben und Anlassproben leider nicht getrennt angegeben. Daher ist der gewählte Wert von 4,74 % sowohl anhand von untersuchten Planproben als auch anhand von untersuchten Anlassproben ermittelt worden.

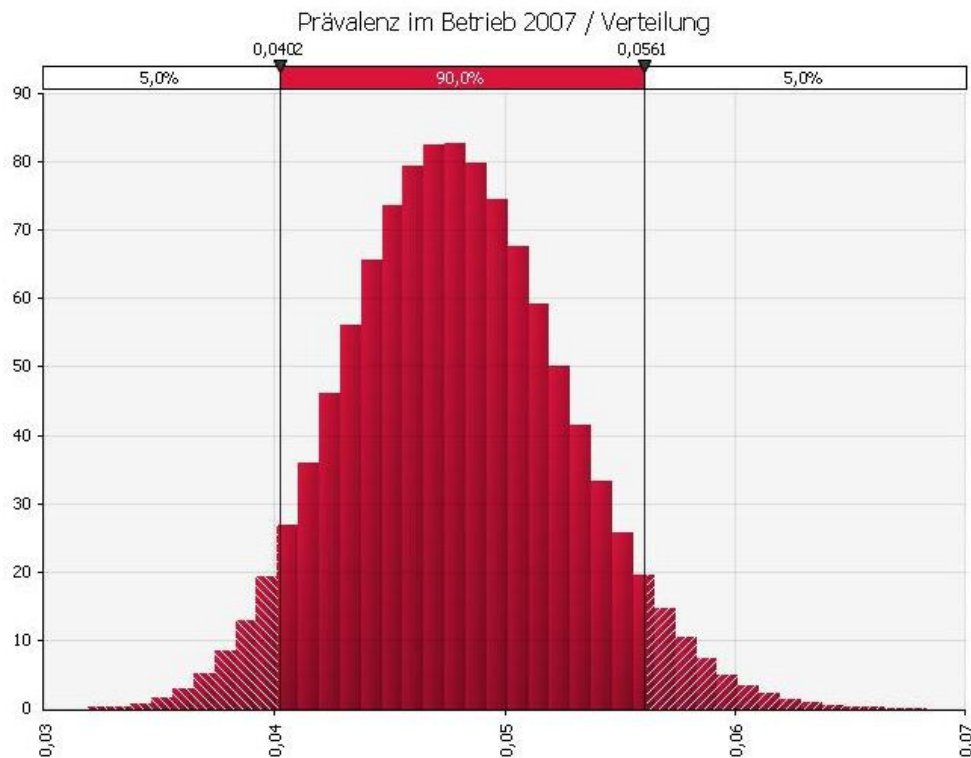
Der Input-Parameter  $P_B$  „Prävalenz im Betrieb“ wird als Beta-Verteilung dargestellt, um der Unsicherheit Rechnung zu tragen. Diese kann in Anlehnung an VOSE (2008) folgendermaßen ermittelt werden:

$$(10) \quad P_B = \text{RiskBeta} (\text{Anzahl positive Proben} + 1; \text{untersuchte Einzeltiere} - \text{Anzahl positive Proben} + 1)$$

Unter Verwendung dieser Formel und Einsetzen der in der Tabelle 12 markierten Werte wird für das Ausgangsszenario folgende  $P_B$  „Prävalenz im Betrieb“ angenommen:

$$(11) \quad P_B = \text{RiskBeta} (93+1; 1.960-93 + 1)$$

Diese Beta-Verteilung kann durch das Programm @Risk in Form eines Outputs visuell dargestellt werden (siehe Abbildung 34).



Quelle: @Risk-Output – Prävalenz im Betrieb 2007/Verteilung

**Abbildung 34: Prävalenz im Betrieb**

### Erläuterung zum Parameter $S_B$

Neben dem Input-Parameter  $P_B$  „Prävalenz im Betrieb“ geht der Parameter  $S_B$  „Anzahl der Schweineschlachtungen“ im Jahr 2007 als Input in das „Betrieb“-Modul ein. Der Input-Wert von 44.484.000 geschlachteten Schweinen im Jahr 2007 ist der von der Zentralen Markt- und Preisberichtsstelle (ZMP) ermittelte Wert der Bruttoeigenerzeugung für Deutschland (siehe Tabelle 13).

**Tabelle 13: Bruttoeigenerzeugung von Schweinen (in 1.000 Stück)**

	2006	2007*
Januar – März	10.499	10.967
April – Juni	10.478	10.658
Juli – September	10.431	11.065
Oktober – Dezember	11.098	11.794
Januar – Dezember	<b>42.506</b>	<b>44.484</b>

\*vorläufige Zahlen

Schlachtungen vermindert um Einfuhr und vermehrt um Ausfuhr von Schweinen und Ferkeln. Außenhandel einschließlich Zuschätzungen für Intrahandelsstatistik nach Vergleich mit nationalen Statistiken anderer Länder.

Quelle: ZMP (2008)

### Berechnung

Die Output-Parameter des Moduls  $S_{BP}$  „Anzahl *Salmonella*-positive Schweine“ sowie  $S_{Bn}$  „Anzahl *Salmonella*-negative Schweine“ ergeben sich aus den folgenden Formeln:

$$(12) \quad S_{BP} = P_B \times S_B$$

$$(13) \quad S_{Bn} = S_B - S_{BP}$$

Um die Berechnung zu veranschaulichen, zeigt die Abbildung 34 einen Ausschnitt des Modells in @Risk. Da der eingehende Parameter  $P_B$  „Prävalenz im Betrieb“ eine Verteilung (= stochastische Größe) darstellt, sind auch die Output-Parameter stochastische Größen. Diese Output-Parameter des Moduls „Betrieb“ gehen als Input in das folgende Modul „Transport und Wartestall“ ein.

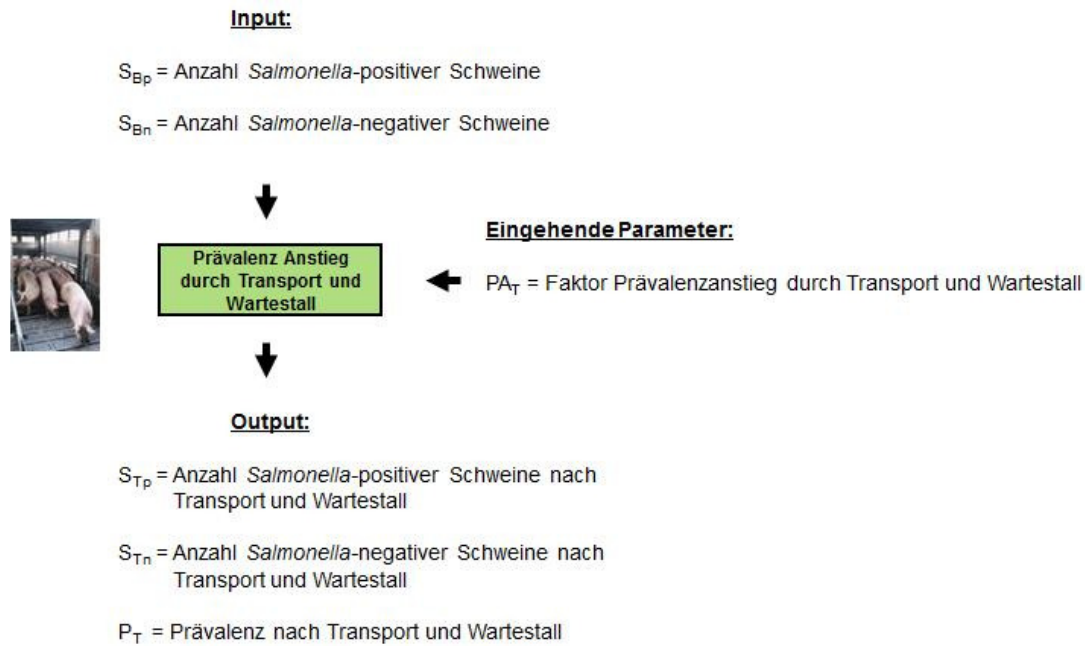
	2007	Parameter	Wert	Verteilung
Prävalenz im Betrieb		$P_B$		RiskBeta(93+1;1960-93+1)
Bruttoeigenerzeugung von Schweinen 2007		$S_B$	44484000	
Anzahl <i>Salmonella</i> positive Schweine		$S_{BP}$		$P_B \times S_B$
Anzahl <i>Salmonella</i> negative Schweine		$S_{Bn}$		$S_B - S_{BP}$

Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 35: Berechnung der Prävalenz im Betrieb**

### 6.3 Modul 2 – Transport und Wartestall

Das zweite Modul ist das „Transport und Wartestall“-Modul. Die Schlachtschweine werden vom Betrieb zu den Schlachthäusern transportiert. Nach dem Abladen werden die Schweine der Schlacht tieruntersuchung unterzogen. Wenn die Schlachterlaubnis erteilt wurde, werden die Schweine bis zur Schlachtung vorübergehend in Wartebuchten aufgestellt. Input des Moduls stellen die beiden Output-Parameter des vorangegangenen „Betrieb“-Moduls  $S_{BP}$  „Anzahl *Salmonella*-positive Schweine“ sowie  $S_{Bn}$  „Anzahl *Salmonella*-negative Schweine“ dar.



Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 36: Modul 2 – Transport und Wartestall**

Der in das Modul eingehende Parameter ist der „Prävalenzanstieg durch Transport und Wartestall“ (=  $PA_T$ ). In der Bezeichnung  $PA_T$  steht das **PA** für **Prävalenzanstieg**. Das **T** im Index deutet auf das Modul „Transport und Wartestall“ hin. Der Parameter  $PA_T$  geht in Form einer Normalverteilung in das Modul ein. Output des Moduls sind die errechneten Parameter  $S_{Tp}$  „Anzahl *Salmonella*-positive Schweine nach Transport und Wartestall (T & W)“ sowie  $S_{Tn}$  „Anzahl *Salmonella*-negative Schweine nach Transport und Wartestall“ (siehe Abbildung 36, Tabelle 14). Zusätzlich kann auch die „Prävalenz nach Transport und Wartestall“ errechnet werden (siehe Tabelle 14).

**Tabelle 14: Parameter des „Transport- und Wartestall“-Moduls**

Art	Bezeichnung	Einheit	Beschreibung	Quellen
Input	$S_{Bp}$	Stück	Anzahl <i>Salmonella</i> -positive Schweine	
Input	$S_{Bn}$	Stück	Anzahl <i>Salmonella</i> -negative Schweine	
eingehend	$PA_T$	RiskNormal ( $\mu;\sigma$ )	Prävalenzanstieg durch Transport und Wartestall (T & W)	Hurd (2001c) Hurd (2002; 2003) McKean (2001) Larsen (2003) Gebreyes (2004) Hartung (2009) BfR (2008)
Output	$S_{Tp}$	Stück	Anzahl <i>Salmonella</i> -positive Schweine nach T & W	
Output	$S_{Tn}$	Stück	Anzahl <i>Salmonella</i> -negative Schweine nach T & W	
Output	$P_T$	%	Prävalenz nach T & W	

Quelle: Eigene Darstellung

### Erläuterung zum Parameter $PA_T$

Wie im Abschnitt 3.3.3 erläutert, kann es durch den Transport zum Schlachthof und durch den Aufenthalt im Wartestall zu einem erheblichen Prävalenzanstieg kommen. Eingehender Parameter für das „Transport und Wartestall“-Modul ist daher der Parameter  $PA_T$  „Prävalenzanstieg durch Transport und Wartestall“. Dieser geht in Form einer Normalverteilung in das Modul ein. Mittelwert und Standardabweichung für die Normalverteilung werden auf Grundlage von vorhandenen Daten aus Studien zur Prävalenzänderung durch den Transport und Aufenthalt im Wartestall in Anlehnung an Dersimonian/Laird (1986) mithilfe der gewichteten Prävalenz-Differenzen ermittelt. Im Folgenden werden solche Studien beschrieben. Die Ergebnisse der Studien werden in Tabelle 15 zusammenfassend dargestellt. Angegeben werden jeweils die Stichprobengröße im Betrieb (= nB) sowie nach dem Transport und Wartestall (= nT). Außerdem wird die Anzahl der positiven Proben im Betrieb (= ApPB) und nach dem Transport und Aufenthalt im Wartestall (= ApPT) aufgeführt. Aus diesen Werten kann in Bezug auf die verschiedenen Studien nach Formel 9 aus Abschnitt 6.2 die Prävalenz im Betrieb (= PBS) sowie die Prävalenz nach dem Transport und Aufenthalt im Wartestall (= PTS) berechnet werden. Mithilfe der folgenden Formel wird die Differenz des Prävalenzanstieges  $PA_{Diff}$  berechnet:

$$(14) \quad PA_{Diff} = PTS - PBS$$

Da die Ergebnisse der verschiedenen Studien einen unterschiedlichen Stellenwert in Bezug auf die in dieser Arbeit verfolgte Fragestellung einnehmen, soll eine Gewichtung der Studiendaten anhand folgender drei Kriterien erfolgen:

- $K_1$ : 10 = Daten auf Deutschland bezogen, 0,5 = Daten nicht auf Deutschland bezogen
- $K_2$ : 1 = Betrieb/Schlachthof gleiche Probenmethode, 0,5 = nicht gleiche Methode
- $K_3$ : 1 = identische Schweine Betrieb/Schlachthof, 0,5 = unterschiedliche Schweine

Da Ziel der Arbeit die Modellierung eines Modells für Deutschland ist, wird ein besonderer Schwerpunkt auf die Verwendung von Studiendaten aus deutschen Studien gelegt; aus diesem Grund wird das erste Kriterium  $K_1$  (= Daten auf Deutschland bezogen vs. Daten nicht auf Deutschland bezogen) mit dem Wert 10 bei Erfüllung des Kriteriums bewertet. Ist das erste Kriterium nicht erfüllt, so wird der Wert 0,5 vergeben. Für die anderen beiden Kriterien werden für die sechs verschiedenen Studien jeweils der Wert 1 (= Kriterium erfüllt) bzw. der Wert 0,5 (= Kriterium nicht erfüllt) vergeben. Diese Gewichtungskriterien und jeweiligen Werte werden ebenfalls in Tabelle 15 angegeben.

In Untersuchungen von Hurd et al. (2001c) wurden auf Betriebsebene Kotproben von 290 Schweinen genommen. Zehn Proben wurden positiv getestet, dies entspricht einer Rate von 3,4 %. Dieselben Schweine wurden nach einem etwa 137 km langen Transport anhand von Darminhaltsproben und Lymphknotenproben zu 71,8 % als *Salmonella*-positiv getestet (196 von 273). Dies entspricht einem Prävalenzanstieg um den Wert 68,4 ( $PA_{Diff} = 68,4$ ). Es handelt sich um amerikanische Daten, somit ist das Kriterium  $K_1$  nicht erfüllt. Es wurden dieselben Schweine untersucht ( $K_3 = 1$ ), jedoch auf den Stufen verschiedene Probentypen als zu untersuchenden Einheit gewählt ( $K_2 = 0,5$ ) (siehe Tabelle 15).

Tabelle 15: Studien zum Prävalenzanstieg durch Transport und Wartestall

Literaturquelle	n <sub>B</sub>	A <sub>pPB</sub>	P <sub>BS</sub> (%)	n <sub>T</sub>	A <sub>pPT</sub>	P <sub>TS</sub> (%)	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>
Hurd (2001c) USA*	290	10	3,4	273	196	71,8	0,5	1	0,5
Hurd (2002)/Hurd (2003) USA*	281	15	5,3	286	114	39,9	0,5	1	0,5
MCKEAN (2001)/LARSEN (2003) USA**	181	5	3	180	74	41	0,5	0,5	1
GEBREYES (2004) – Studie 1 USA***	1.790	202	12	810	315	41	0,5	0,5	1
GEBREYES (2004) – Studie 2 USA***	1.436	168	12	830	505	61	0,5	0,5	1
Hartung (2009)/BFR (2008) G	1.968	93	4,74	2.569	326	12,7	10	0,5	0,5

\* Iowa State University

\*\* Iowa State University & Federal University of Lavras

\*\* Iowa State University & Federal University of Lavras

\*\*\* North Carolina State University

Quelle: Eigene Darstellung

In einer späteren Studie von Hurd et al. (2002b; 2003) konnten die Autoren nach einem Transport von durchschnittlich 169 km und einer Aufstallung von zwei bis drei Stunden im Schlachthof bei 39,9 % (114 von 286 *Salmonella*-positiv) der Schlachtschweine einen positiven Nachweis auf Salmonellen belegen. Zuvor waren die Schweine lediglich zu 5,3 % (15 von 281 *Salmonella*-positiv) positiv getestet worden. Dies entspricht einem Prävalenzanstieg um den Wert  $PA_{\text{Diff}} = 34,6$ . Es handelt sich auch hier nicht um auf Deutschland bezogene Daten, daher ist das erste Kriterium  $K_1$  nicht erfüllt. Sowohl die Betriebsproben als auch die Schlachthofproben wurden anhand einer Nekropsie untersucht. Auf beiden Stufen wurden je 1 g Kotprobe, 10 g Caecuminhalt, 25 g Fleischsaft sowie Lymphknotenproben genommen. Es sind demnach der gleiche Probentyp und auch die gleiche Probengröße gewählt worden. Insgesamt wurden 567 Schlachtschweine aus sechs verschiedenen Herden entweder im Betrieb oder später im Schlachthaus nekroskopiert. Das Kriterium  $K_2$  ist damit erfüllt, das Kriterium  $K_3$  jedoch nicht (siehe Tabelle 15).

Ähnliches zeigten Untersuchungen von McKean et al. (2001)/Larsen et al. (2003). Sauengruppen wiesen hier im Bestand eine Prävalenz von 3 % (10 g Kotprobe je Schwein) auf; nach dem zehnstündigen Transport zum Schlachthof und sechsstündigem Aufenthalt im Wartestall waren die Darmproben/Lymphknotenproben zu 41 % *Salmonella*-positiv. Dies entspricht einer Prävalenzsteigerung etwa um den Wert  $PA_{\text{Diff}} = 38$ . Bei einer Tiergruppe, welche hingegen direkt auf dem Betrieb getötet und auf Salmonellen untersucht wurde, konnten nur bei 5,3 % der Tiere Salmonellen nachgewiesen werden. Die Studie wurde in den USA durchgeführt, es handelt sich demnach nicht um deutsche Daten ( $K_1 = 0,5$ ). Die Untersuchungsmethoden waren auf Betriebsebene und im Schlachthaus unterschiedlich ( $K_2 = 0,5$ ), jedoch erfolgte die Probenahme in Bezug auf dieselben Schweine ( $K_3 = 1$ ) (siehe Tabelle 15). Gebreyes et al. (2004) haben im Zeitraum zwischen 1998 bis 2000 in North Carolina zwei Studien durchgeführt, bei denen jeweils Kotproben von Schweinen im Betrieb und später im Schlachthaus Proben des Caecalinhalts und Lymphknotenproben genommen wurden. In der ersten Studie wurden 202 von 1.790 Kotproben als *Salmonella*-positiv getestet, dies entspricht einer Rate von 12 %. Dabei stammten die Proben von vier verschiedenen Farmen, welche jeweils nochmals in je zwei Gruppen untergliedert sind. Die Rate der positiven Kotproben variierte zwischen den verschiedenen Gruppen von 2 % bis zu 34 %. Auch bei der zweiten Studie wurde eine Rate von 12 % festgestellt (168 von 1436 Kotproben *Salmonella*-positiv). Die Caecal- und Lymphknotenproben, welche auf dem Schlachthof genommen wurden, waren in der ersten Studie zu 41 % *Salmonella*-positiv (315 von 810 Proben). Dies entspricht einer Prävalenzsteigerung um den Wert  $PA_{\text{Diff}} = 29$ . In der zweiten Studie konnten 505 von 830 Proben (61 %) als *Salmonella*-positiv ermittelt werden. Dies



entspricht einer Prävalenzsteigerung um den Wert  $PA_{\text{Diff}} = 49$ . Es handelt sich um eine amerikanische Untersuchung, das erste Kriterium  $K_1$  ist daher nicht erfüllt. Die Probenahme erfolgte im Betrieb und im Schlachthaus verschieden (Kotprobe vs. Caecal-/Lymphknotenprobe) ( $K_3 = 0,5$ ). Es wurden jedoch dieselben Schweine zuerst im Betrieb und dann im Schlachthof untersucht ( $K_3 = 1$ ) (siehe Tabelle 15).

Eine Untersuchung in Bezug auf den Prävalenzanstieg, welche sich auf den Transport zu einem deutschen Schlachthof und den Aufenthalt im Wartebereich eines deutschen Schlachthofes bezieht, gibt es derzeit nicht. Durch den Vergleich der Daten zur Prävalenz auf Betriebsebene (Hartung, 2009) (siehe Abschnitt 6.2, Tabelle 12) mit den Werten aus der „Grundlagenerhebung in den Mitgliedsstaaten über die Prävalenz von Salmonellen bei Schlachtschweinen“ (BFR, 2008) (siehe Abschnitt 2.3.3, Tabelle 5) ergibt sich für Deutschland ein Prävalenzanstieg durch den Transport zum Schlachthof und den Aufenthalt im Wartestall um 7,96. Da es sich um deutsche Daten handelt, ist das Kriterium  $K_1$  erfüllt ( $K_1 = 10$ ), jedoch wurden unterschiedliche Probemethoden durchgeführt ( $K_2 = 0,5$ ). Auf Betriebsebene handelt es sich um bakteriologisch untersuchte Kotproben. Im Schlachthof hingegen wurden im Rahmen der Grundlagenerhebung 2.569 Proben von Darmlymphknoten untersucht. Außerdem handelte es sich bei der Untersuchung im Betrieb bzw. auf dem Schlachthof nicht um dieselben Schweine, daher ist das Kriterium  $K_3$  ( $K_3 = 0,5$ ) ebenfalls nicht erfüllt (siehe Tabelle 15).

Anhand der errechneten Prävalenz-Differenzen ( $PA_{\text{Diff}}$ ) (siehe Formel 14) sowie der Gewichtungen (siehe Tabelle 15) werden nach Dersimonian/Laird (1986) der Mittelwert ( $\mu$ ) sowie die Standardabweichung ( $\sigma$ ) für eine Normalverteilung in Bezug auf die vorhandenen Studien errechnet. Es ergeben sich errechnete Werte von  $\mu = 0,098$  und  $\sigma = 0,026$ :

$$(15) \quad PA_T = \text{RiskNormal}(0,098;0,026)$$

Es gibt, wie dargestellt, einige internationale Studien in Bezug auf den Prävalenzanstieg durch den Transport zum Schlachthof und den Aufenthalt im Wartestall des Schlachthofes. Es existiert jedoch bislang keine deutsche Erhebung. Um die in das Modell eingehende Verteilung  $PA_T$  „Prävalenzanstieg durch Transport und Wartestall“ zu verbessern, ist eine Erhebung von Daten, welche alle oben aufgeführten Kriterien  $K_1 - K_3$  erfüllen, sinnvoll.

## Berechnung

Der Output des Moduls  $S_{TP}$  „Anzahl *Salmonella*-positiver Schweine nach Transport und Wartestall“ sowie „ $S_{TN}$  „Anzahl *Salmonella*-negativer Schweine nach Transport und Wartestall“ ergibt sich aus den folgenden Formeln:

$$(16) \quad S_{TP} = S_B \times (P_B + PA_T)$$

$$(17) \quad S_{TN} = S_B - S_{TP}$$

Um die Berechnung zu veranschaulichen, zeigt die Abbildung 37 einen Ausschnitt des Modells in @Risk.

	2007	Parameter	Wert	Verteilung
Prävalenzanstieg durch Transport und Wartestall		$PA_T$		RiskNormal(0,098;0,026)
Anzahl <i>Salmonella</i> positive Schweine nach Transport und Wartebucht		$S_{TP}$		$SB \cdot (PB + PAT)$
Anzahl <i>Salmonella</i> negative Schweine nach Transport und Wartebucht		$S_{TN}$		$SB - STP$
Prävalenz nach Transport und Wartebucht		$P_T$		$PB + PAT$

Quelle: Eigene Darstellung

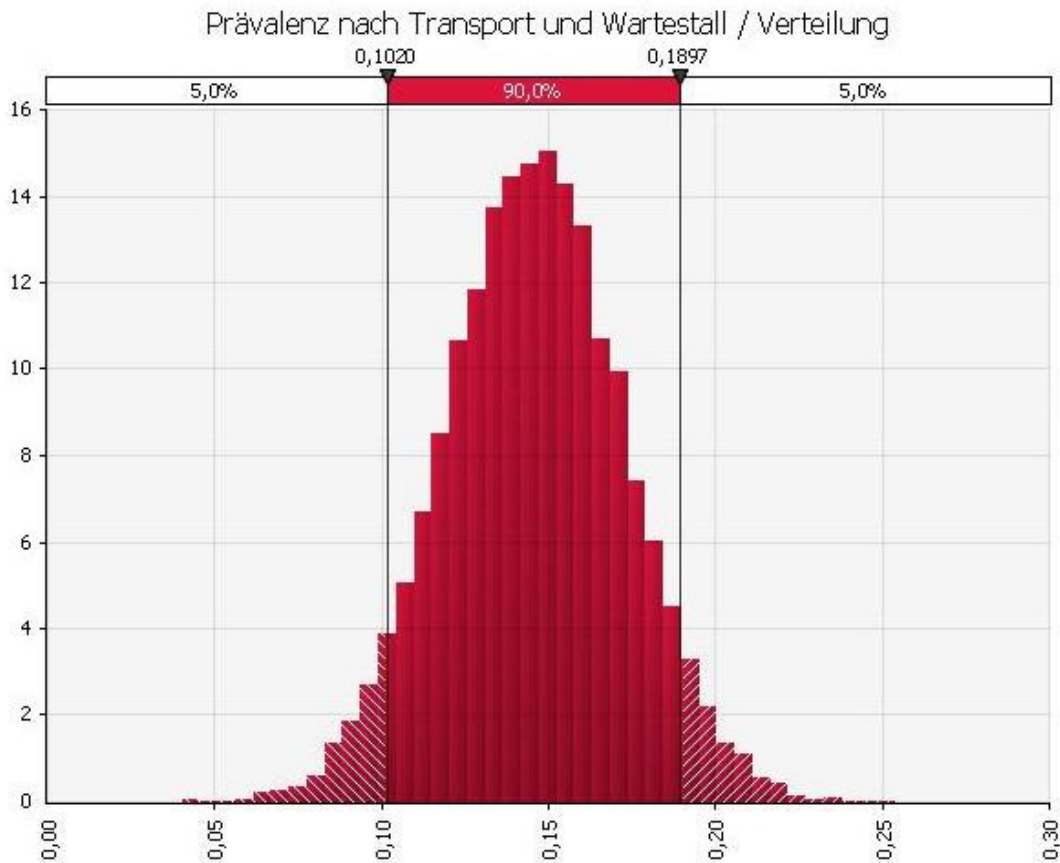
**Abbildung 37: Berechnung der Prävalenz nach Transport und Wartestall**



Zusätzlich wird als Output des Moduls die Prävalenz nach Transport und Wartestall berechnet:

$$(18) \quad P_T = P_B + PA_T$$

Diese kann durch das Programm @Risk in Form eines Outputs visuell dargestellt werden (siehe Abbildung 38). Die genannten Output-Parameter gehen als Input in das folgende „Schlachtprozess“-Modul ein.

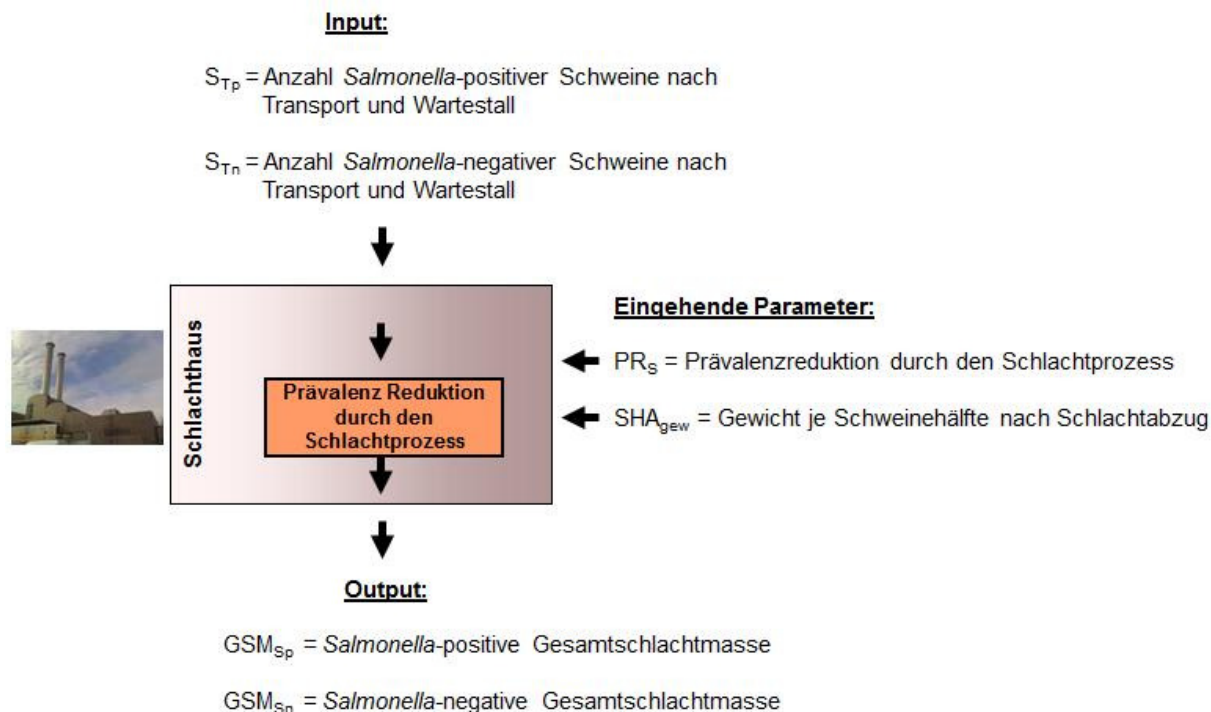


Quelle: @Risk-Output – Prävalenz nach Transport und Wartestall/Verteilung

**Abbildung 38: @Risk-Output – Prävalenz nach Transport und Wartestall**

## 6.4 Modul 3 – Schlachtprozess

Das dritte Modul ist das „Schlachtprozess“-Modul. Input des Moduls stellen die Output-Parameter des vorangegangenen „Transport und Wartestall“-Moduls dar.



Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 39: Modul 3 – Schlachtprozess**

Eingehende Parameter sind die Parameter  $PR_S$  „Prävalenzreduktion durch den Schlachtprozess“ sowie das  $SHA_{gew}$  „Gewicht je Schweinehälfte nach Schlachtabzug“. Output des Moduls sind die  $GSM_{Sp}$  „*Salmonella*-positive Gesamtschlachtmasse“ sowie die  $GSM_{Sn}$  „*Salmonella*-negative Gesamtschlachtmasse“ (siehe Abbildung 39, Tabelle 16).

**Tabelle 16: Parameter des „Schlachtprozess“-Moduls**

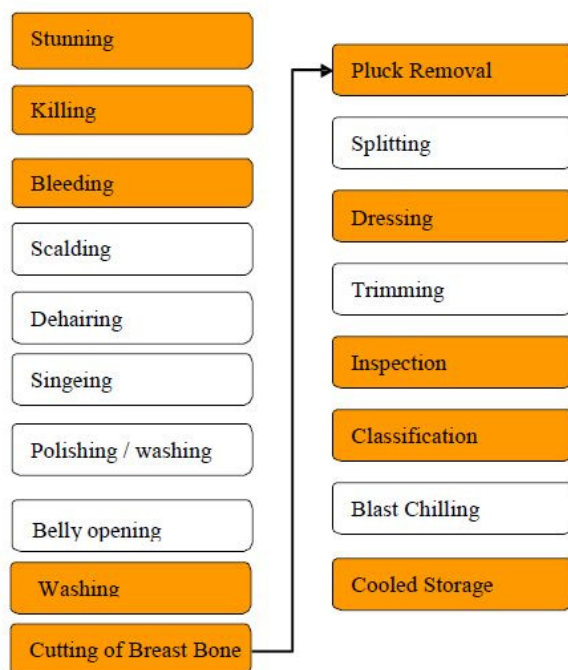
Art	Bezeichnung	Einheit	Beschreibung	Quellen
Input	$S_{Tp}$	Stück	Anzahl <i>Salmonella</i> -negativer Schweine nach Transport und Wartestall	
Input	$S_{Tn}$	Stück	Anzahl <i>Salmonella</i> -negativer Schweine nach Transport und Wartestall	
eingehend	$PR_S$	RiskNormal ( $\mu; \sigma$ )	Prävalenzreduktion durch den Schlachtprozess	Saide-Albornoz (1995) Davies (1999) Bolton (2002)
eingehend	$SHA_{gew}$	kg	Gewicht je Schweinehälfte nach Schlachtabzug	ZMP (2008) BfR (2010)
Output	$GSM_{Sp}$	kg	<i>Salmonella</i> -positive Gesamtschlachtmasse	
Output	$GSM_{Sn}$	kg	<i>Salmonella</i> -negative Gesamtschlachtmasse	
	$SH_{Sp}$	Stück	Anzahl <i>Salmonella</i> -positiver Schweinehälften	
	$SH_{Sn}$	Stück	Anzahl <i>Salmonella</i> -negativer Schweinehälften	
Output	$P_S$	%	Prävalenz nach der Schlachtung	
	$SH_{gew}$	kg	Gewicht je Schweinehälfte	ZMP (2008)
	$SA_S$	%	Schlachtabzug	BfR (2010)

Quelle: Eigene Darstellung

### Erläuterung zum Parameter PR<sub>s</sub>

Nach dem Aufenthalt im Wartestall beginnt für die Schlachtschweine in Anlehnung an das EFSA-Modell (EFSA, 2010: Abschnitt 5.2.2) mit der Betäubung der erste Schritt des eigentlichen Schlachtprozesses. Der Schlachtprozess kann in Anlehnung an das Modular Process Risk Model (MPRM)-Paradigma von Nauta (2001; 2008) in verschiedene einzelne Prozessschritte (Sub-Module) aufgeteilt werden (siehe auch Abschnitt 5.2.2). Die Schweine und später die Karkassen durchlaufen diese einzelnen Prozessschritte nacheinander.

Bei jedem einzelnen Prozessschritt können verschiedene, auch für Mikroorganismen relevante mikrobiologische Prozesse ablaufen, wie etwa Inaktivierung, Wachstum oder Kreuzkontamination durch die kontaminierte Umgebung. Die einzelnen Schritte werden im Folgenden anhand des bereits im Abschnitt 5.2.2 dargestellten Ablaufschemas des Schlachtprozesses im Detail näher beschrieben (siehe Abbildung 40). Dieses Ablaufschema des Schlachtprozesses wurde anhand der Beobachtung dänischer Schlachthäuser herausgearbeitet (EFSA, 2010).



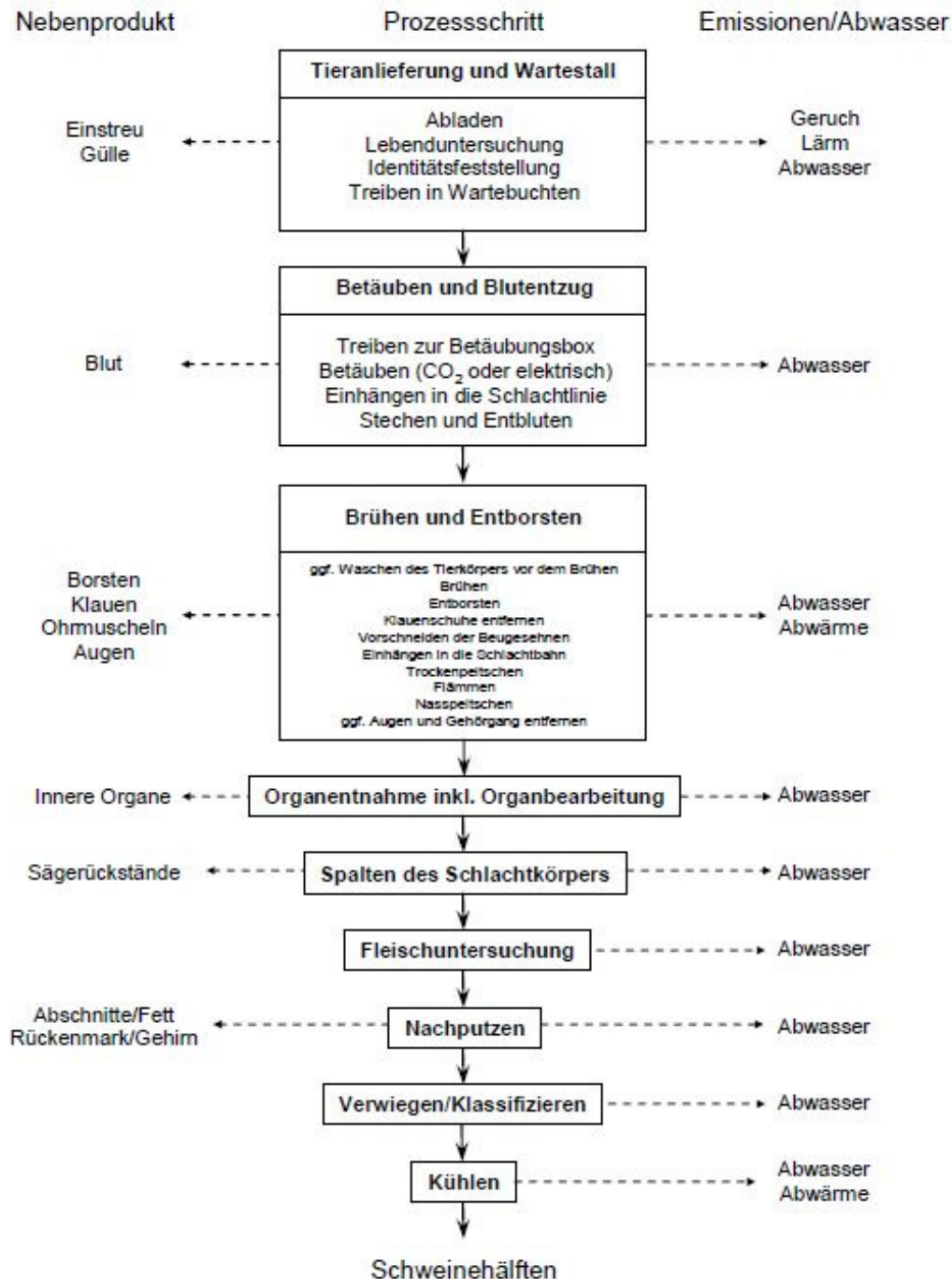
Quelle: EFSA (2010)

**Abbildung 40: Der Schlachtprozess**

Zusätzlich fließen Informationen zu dem Ablauf in deutschen Schlachthöfen anhand des im Rahmen des Twinning Project RO2006/IB/EN-08 veröffentlichten Leitfadens für Schlachtbetriebe ein (EU, 2009) (siehe Abbildung 41).

Der erste Prozessschritt des Schlachtprozesses – Betäubung der Schweine – beginnt, wenn die Schlachtschweine aus den Wartebuchten in die Betäubungsboxen getrieben werden. Die Betäubung (Quelle: Stunning) der Schweine erfolgt entweder elektrisch oder anhand von Betäubungsgasen (z. B. CO<sub>2</sub>-Luftgemisch) (EU, 2009; EFSA, 2010). Durch die elektrische Betäubungsmethode erfolgt keine mikrobiologische Veränderung. Durch die Betäubung anhand eines CO<sub>2</sub>-Luftgemisches kann es durch das Erschlaffen der Muskulatur zu einer erhöhten Ausscheidungsrate kommen. Dies kann zu einer stärkeren Kontamination der Umgebung führen, wodurch die Möglichkeit einer Kreuzkontamination der primär nicht infizierten Tier-

körper (Karkassen) besteht. Steinbach/Hartung (1999) sehen generell in Kreuzkontaminationen innerhalb der Fleischgewinnungslinie zu 20 % die Ursache für das Auftreten von Salmonellen auf den Karkassen bzw. dem Endprodukt Fleisch. Bislang gibt es jedoch keine Studien in Bezug auf die durch Betäubungsgase erhöhte Ausscheidungsrate und deren Auswirkungen auf die Kreuzkontaminationsrate (EFSA, 2010).



Quelle: EU (2009)

Abbildung 41: Fließschema einer Schweineschlachtstraße

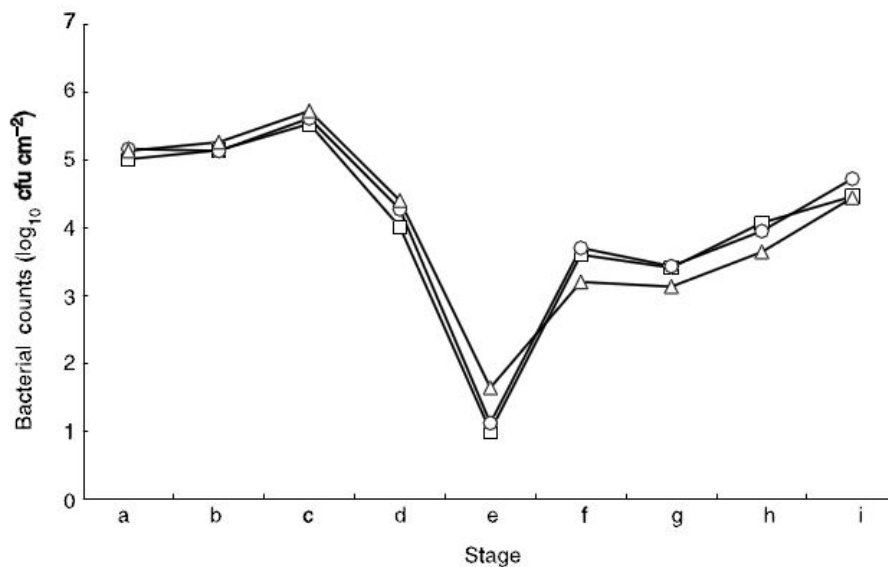
Nach der Betäubung werden die Schweine durch das Öffnen der Halsschlagader mithilfe eines Messers oder Hohlmessers getötet (Quelle: Killing). Verschiedene Studien konnten eine Kontamination der in der Schweinefleischgewinnungslinie verwendeten Messer nachweisen (Kampelmacher, 1961; Limpitakis et al., 1999). Die Messer werden jedoch routinemäßig desinfiziert und berühren bei ihrer Verwendung nur einen geringen Teil der eventuell kontaminierten Haut. Aus diesem Grund wird auch dieser Prozessschritt als relativ bedeutungslos für die Veränderung der mikrobiellen Ausgangslage eingestuft. Nach der Tötung entbluten (Quelle: Bleeding) die Tiere entweder im Liegen auf einer Förderanlage oder werden bereits vorher zum Entbluten an den Hinterbeinen aufgehängt (EU, 2009). Es wird angenommen, dass auch durch diesen Prozessschritt keine mikrobielle Veränderung erfolgt.

Nach dem Entbluten werden die Tierkörper (Karkassen) bei ca. 60 °C abgebrüht (Quelle: Scalding), es erfolgt eine mechanische Enthaarung (Quelle: Dehairing), eine thermische Restenthaarung (Quelle: Singeing) sowie das Reinigen und Polieren (Abbildung 40: Polishing/Washing) der Schlachttieroberfläche. Es werden dazu unterschiedliche Verfahren und Gerätekombinationen verwendet. Sowohl die Verwendung eines Kombinationsgerätes als auch die Verwendung von einzelnen Geräten, welche die Tierkörper nacheinander durchlaufen, ist möglich. Das Brühen (Abbildung 40: Scalding) der Tierkörper kann anhand verschiedener Verfahren erfolgen; durch das komplette Eintauchen der Tiere in Brühbottiche, anhand eines Brühltunnels mit Heißwasser oder anhand eines Brühltunnels mit Kondensat-Brühverfahren (Wasserdampf) (EU, 2009). Durch die bereits in Abschnitt 2.1.3 erwähnte Empfindlichkeit der Salmonellen gegenüber Hitze wird die Keimbelastung auf der Oberfläche der Tierkörper durch diesen Prozessschritt verringert. In Untersuchungen von Bolton et al. (2003) konnte die Zeit-Temperatur-Kombination von 1,4 min bei 60 °C zu einer log-1-Reduktion<sup>28</sup> der *Salmonella*-Belastung führen, bei einer Temperatur von 65 °C reichten 0,18 min aus, um die Keimbelastung mit Salmonellen um 90 % auf 10 % zu senken. Das mechanische Enthaaren (Abbildung 40: Dehairing) erfolgt mithilfe von Entborstungsmaschinen. Diese konnten oft als potentielle Kreuzkontaminationsquelle ermittelt werden. Beispielsweise wurde im Rahmen des Projektes Salinpork in einem Schlachthof das Auftreten von *Salmonella* Ohio eindeutig mit der Entborstungsanlage assoziiert (Hald et al., 1999). Eine Entfernung der restlichen Haare erfolgt thermisch durch das Abflammen der Tierkörper (Abbildung 40: Singeing). Dabei werden die Tierkörper Temperaturen zwischen 800 und 1.000 °C ausgesetzt. Dieser Prozessschritt ist jener mit dem höchsten mikrobiologischen Inaktivierungspotential. In einer Studie von Bolton et al. (2002) konnte in Bezug auf das Abflammen der Tierkörper eine Abnahme der Gesamtkeimzahl<sup>29</sup> um etwa 4,5 log<sub>10</sub> colony forming units (cfu) bzw. koloniebildende Einheit (KbE)<sup>30</sup> je cm<sup>2</sup> festgestellt werden (siehe Abbildung 42). Durch das Polieren und Waschen der Tierkörper besteht ein gewisses Risiko der Kreuzkontamination. Van der Palen et al. (1992) untersuchten zwei Poliermaschinen in Fleischgewinnungslinien beim Schwein. Bei einer der Maschinen waren 50 % der Proben *Salmonella*-positiv, bei der anderen konnte bei 10 % der Proben Salmonellen nachgewiesen werden.

<sup>28</sup> Reduktion der Ausgangskeimzahl um eine Zehnerpotenz (log 1) bzw. Reduktion um 90 % auf 10 % der Ausgangskeimzahl.

<sup>29</sup> Unter dem Begriff der „Gesamtkeimzahl“ wird die Keimzahl aller lebenden Mikroorganismen in einer definierten Menge an Probenmaterial verstanden, wobei keine Differenzierung in die einzelnen Arten erfolgt (PRÄNDL et al., 1988).

<sup>30</sup> Der Begriff colony forming units (cfu) = koloniebildende Einheiten (KbE) stellt eine Messgröße für die Keimbelastung einer Probe mit lebenden Mikroorganismen dar (LUMRIX. NET, 2010).



Quelle: BOLTON et al. (2002)

**Abbildung 42: Gesamtkeimzahl ( $\log_{10}$  cfu  $\text{cm}^{-2}$ ) bei Schweinekarkassen**

Als nächster Prozessschritt folgt das Öffnen der Bauchdecke und die Entnahme der inneren Organe sowie der Geschlinge (Abbildung 40: Belly opening/Pluck removal). Auf dieser Stufe besteht die Möglichkeit einer Kreuzkontamination durch Inhalte des Gastrointestinaltraktes (Magen-Darm-Trakt). Auch die Geschlinge (Zunge, Gaumenmandeln sowie der Schlundkopf) sind oft stark mit Keimen belastet. Dadurch stellen sie ein potentielles Infektionsrisiko dar. In einer Studie von Vieira-Pinto et al. (2005) wurden von insgesamt 101 Schweinen 26,7 % (Proben von Ileum, ileocaecales- und Mandibularlymphknoten sowie Tonsillen) und 12,9 % der 101 Schlachtkörper (Oberflächentupfer einer Schlachthälfte) *Salmonella*-positiv getestet. Dabei wiesen 69,2 % der Schlachthälften den gleichen Serotyp auf wie die dazugehörigen Innereien, sodass vermutet werden kann, dass im Schweinefleischsektor den Schlachttieren die größte Bedeutung als Eintragsquelle für Salmonellen in Lebensmittel zukommt. Von den untersuchten ileocaecaleslymphknoten waren 18,8 % der Proben positiv, 12,9 % der Mandibularlymphknoten und 9,9 % der Tonsillen waren ebenfalls positiv, dies spricht für eine lymphatische Ausbreitung der Salmonellen. Dies kann zu einem erhöhten Risiko für eine Kontamination des Fleisches führen. Besondere Beachtung sollte daher einer optimalen Entfernung der Innereien sowie der Mandibularlymphknoten und der Tonsillen geschenkt werden. Im Rahmen einer Pilotstudie zum Eintrag von Salmonellen in die Fleischgewinnungslinie beim Schwein untersuchten Gareis et al. (1996) in fünf verschiedenen Betrieben die Einweghandschuhe von Schlachthofmitarbeitern. Von den untersuchten Proben waren 10,6 % *Salmonella*-positiv. Von Altrock et al. (1999) untersuchten bei 150 Proben das Vorkommen von Salmonellen auf den Handflächen der Arbeiter bei verschiedenen Schlachtprozessschritten (Afterausschnitt, Eviszation, Entfernung der Tonsillen und Fleischuntersuchung). Dabei wurden lediglich bei einer der 150 Proben (bei der Entfernung der Tonsillen) Salmonellen nachgewiesen. Diese verschiedenen Studienergebnisse zeigen, dass eine gute Schlachthygiene eine große Rolle bei der Vermeidung von Kreuzkontaminationen primär nicht kontaminierter Karkassen spielt (Steinbach/Hartung, 1999).

Das Spalten der Schlachtkörper schließt sich als nächster Prozessschritt an (Abbildung 40: Splitting). Die Karkassen werden mithilfe einer Band- oder Kettensäge in zwei Hälften zerteilt. Das Innere der Säge ist oft nur schwer zugänglich, wodurch sich die Reinigung der Maschine als äußerst schwierig erweist. Bei 90 untersuchten Sägeblättern konnten Von Altrock et al. (1999) aus 6,7 % der Proben Salmonellen isolieren. Im Rahmen des Projektes „Salin-pork“ wurden zwölf Schlachthöfe in fünf Mitgliedstaaten der EU untersucht. *Salmonella* Infan-

tis konnte dabei in einem Schlachthof als „Haus-Stamm“ bei der Säge zur Tierkörperspaltung isoliert werden (Hald et al., 1999).

Nach der Tierkörperspaltung wird die Fleischuntersuchung durchgeführt (Abbildung 40: Inspection/Trimming). Hierbei werden meist von Hand sichtbare Kontaminationen entfernt und Proben entnommen. Dies erfolgt gezielt und unter Einhaltung strenger hygienischer Standards, sodass durch die Fleischuntersuchung kein Kontaminationsrisiko angenommen wird.

Als letzter Prozessschritt erfolgt die Kühlung (Abbildung 40: Cooling). Bei der sogenannten Schnellkühlung oder Schockkühlung (Abbildung 40: Blast Chilling) kann ein gewisses Maß an Inaktivierung von Salmonellen stattfinden. Die Kühlung der halben Karkassen erfolgt bei einer Temperatur von 4 °C. Bolton et al. (2002) konnten experimentell feststellen, dass während der Kühlungsphase keine Wachstumsaktivitäten der Salmonellen stattfinden.

Insgesamt ist die vorhandene Datengrundlage, welche sich auf die Veränderung der Prävalenz von *Salmonella* über den gesamten Schlachtprozess beschäftigt, sehr dünn. Der Großteil der vorhandenen Studien bezieht sich auf die Untersuchung der Gesamtkeimzahl (siehe Abbildung 43) und nicht im Speziellen auf die vorhandene Keimzahl der Spezies *Salmonella*. Die Gesamtkeimzahl gibt keine Auskunft über die Zusammensetzung der einzelnen Genera und Spezies der Mikroorganismen im Lebensmittel (Marriott, 1992), es ist jedoch anzunehmen, dass je höher die Gesamtkeimzahl ist, umso wahrscheinlicher ist es, dass pathogene Mikroorganismen, toxische mikrobielle Stoffwechselprodukte und Verderbniserreger vorkommen (Fehlhaber, 1992). Der Gesamtkeimzahl kann demnach eine Indikatorfunktion zugeschrieben werden; je nach Fragestellung ist es jedoch sinnvoll, sich auf mikrobiologische Untersuchungen von Lebensmitteln in Bezug auf den jeweilig relevanten Erreger zu beziehen (Rolle/Mayr, 2002, Sinell, 2004). Weniger als eine Handvoll der Studien bezieht sich im Speziellen auch auf die Spezies *Salmonella*.

Saide-Albornoz et al. (1995) haben in einer Untersuchung die Kontamination von Schweinekarkassen während des Schlachtprozesses und ihrer Verarbeitung bis zur Kühlung erforscht. In der Studie von Davies et al. (1999) wurden im Schlachthaus Schlachtschweine und später deren Karkassen zu verschiedenen Zeitpunkten der Schlachtung in Bezug auf ihre Oberflächenkontamination mit Salmonellen untersucht. Bolton et al. (2002) haben in ihrer Studie die Gesamtkeimzahl sowie die Inzidenz von *Salmonella* in Bezug auf die Oberflächenkontamination der Haut ermittelt. Ergebnisse aus dem Schlachtmodul der QRMA der EFSA (EFSA, 2010) sind nicht zugänglich. Die Ergebnisse der Studien werden in Tabelle 17 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 17: Übersicht von Studien zur Prävalenzreduktion durch den Schlachtprozess

	Saide-Albornoz et al. (1995)	Davies et al. (1999)	Bolton et al. (2002)
<b>Vor der Schlachtung</b>			
Anzahl Proben		2.211	60
Anzahl positive Proben		155	6
<i>Salmonella</i> -positive Proben %		7 %	10 %
<b>Nach dem Ausbluten</b>			
Anzahl Proben		70	60
Anzahl positive Proben		58	30
<i>Salmonella</i> -positive Proben %		82,9 %	50 %
<b>Nach dem Abflammen/Polieren</b>			
Anzahl Proben	270	70	60
Anzahl positive Proben	12	1	0
<i>Salmonella</i> -positive Proben %	4,4 %	1,4 %	0 %
<b>Kühlung</b>			
Anzahl Proben	270	54	60
Anzahl positive Proben	1	2	0
<i>Salmonella</i> -positive Proben %	0,4 %	3,7 %	0 %

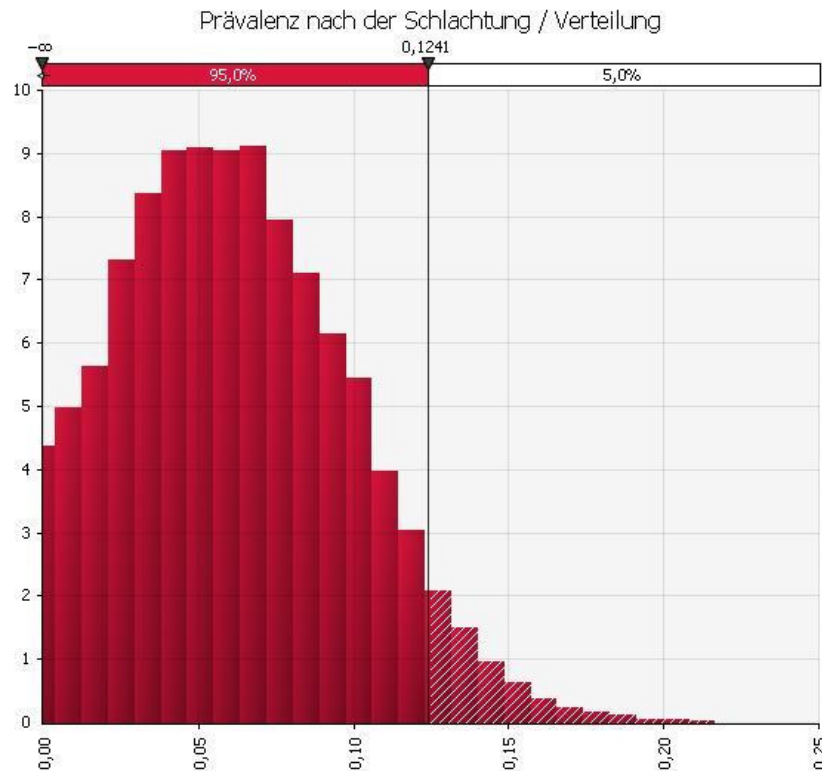
Quelle: Eigene Darstellung

Der Faktor der Prävalenzreduktion durch den Schlachtprozess ( $= PR_S$ ) ergibt sich aus den vorhandenen Daten der Tabelle 17 in Anlehnung an Dersimonian/Laird (1986) analog zur Berechnung im vorigen Abschnitt 6.3. Der Mittelwert für die Normalverteilung beträgt  $\mu = -0,092$  und jener für die Standardabweichung  $\sigma = 0,024$ :

$$(19) \quad PR_S = \text{RiskNormal}(-0,092 ; 0,024)$$

Diese kann durch das Programm @Risk in Form eines Outputs visuell dargestellt werden (siehe Abbildung 43).





Quelle: @Risk-Output – Prävalenz nach der Schlachtung/Verteilung

**Abbildung 43: Prävalenz der Schweinehälften nach der Schlachtung**

### Berechnung

In einem Zwischenschritt wird nach dem Durchlauf des Schlachtprozesses unter Verwendung der soeben ermittelten Verteilung  $PR_S$  die  $SH_{Sp}$  „Anzahl der *Salmonella*-positiven Schweinehälften“ sowie die  $SH_{Sn}$  „Anzahl der *Salmonella* negativen Schweinehälften“ anhand der folgenden Formeln errechnet:

$$(20) \quad SH_{Sp} = S_B \times (P_T + PR_S) \times 2$$

$$(21) \quad SH_{Sn} = (S_B \times 2) - SH_{Sp}$$

Zusätzlich kann die Prävalenz der Schweinehälften folgendermaßen berechnet werden:

$$(22) \quad P_S = P_T + PR_S$$

Die Schweinehälften werden in einem weiteren Schritt im sogenannten Zerlegebetrieb des Schlachthofes in kleinere Einzelteile zerlegt und dadurch auf die weitere Verarbeitung zu verschiedenen Schweinefleischprodukten vorbereitet.

Zur Berechnung der Output-Parameter des „Schlachtprozess“-Moduls  $SM_{Sp}$  „*Salmonella*-positive Schlachtmasse in kg“ und  $SM_{Sn}$  „*Salmonella*-negative Schlachtmasse in kg“ ist zusätzlich der eingehende Parameter  $SHA_{gew}$  „Gewicht je Schweinehälfte nach Schlachtabzug in kg“ notwendig. Laut Angaben der Zentralen Markt- und Preisberichtsstelle (ZMP) betrug das Schlachtgewicht von gewerblich geschlachteten Schweinen im Jahre 2007 im Durch-

schnitt 94 kg (ZMP, 2008). Somit ist das Gewicht je Schweinehälfte  $SH_{\text{gew}}$  mit 47 kg anzusetzen.

Nach Expertenmeinung (BFR, 2010) sind etwa 25 % der Gesamtmasse der angelieferten Schlachtschweine beim Schlachtprozess anfallende Abfallprodukte. Diese werden nicht vom Verbraucher verzehrt, daher ist dieser Anteil vom Gewicht der Schweinehälften abzuziehen (Faktor  $SA_s$  = Faktor für den Schlachtabzug = 0,75). Die Expertenmeinung wird durch den Vergleich der vom Statistischen Bundesamt angegebenen Zahlen zum Schweinefleischverbrauch bzw. Schweinefleischverzehr gestützt. Der tatsächliche Schweinefleischverzehr beträgt hierbei im Jahr 2007 etwa 72 % (39,9 kg von 55,4 kg) des Schweinefleischverbrauches (BVDF, 2009; BVDF, 2010) (siehe Abbildung 44).

Fleischart	Fleischverbrauch				Fleischverzehr			
	2005	2006	2007	2008 <sup>a)</sup>	2005	2006	2007	2008
Rind- und Kalbfleisch	12,1	11,9	12,7	12,5	8,3	8,2	8,7	8,6
Schweinefleisch	54,1	54,5	55,4	53,3	39,0	39,3	39,9	38,4
Schaf- und Ziegenfleisch	1,1	1,0	1,0	1,0	0,7	0,7	0,7	0,7
Pferdefleisch	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Innereien	1,1	0,8	0,8	0,9	0,3	0,2	0,2	0,2
Geflügelfleisch	17,5	16,7	17,8	18,8	10,4	10,0	10,6	11,2
sonstiges Fleisch	1,3	1,7	2,0	1,9	0,9	1,1	1,4	1,3
<b>Fleisch insgesamt</b>	<b>87,2</b>	<b>86,6</b>	<b>89,7</b>	<b>88,4</b>	<b>59,6</b>	<b>59,5</b>	<b>61,5</b>	<b>60,4</b>

Quelle: BVDF (2009)

**Abbildung 44: Fleischverbrauch und Fleischverzehr je Kopf der Bevölkerung**

Es ergibt sich somit für den eingehenden Parameter  $SHA_{\text{gew}}$  „Gewicht je Schweinehälfte nach Schlachtabzug in kg“ laut folgender Formel ein Wert von 35,25 kg:

$$(23) \quad SHA_{\text{gew}} = SH_{\text{gew}} \times SA_s$$

Der Output des „Schlachtprozess“-Moduls  $GSM_{\text{Sp}}$  „*Salmonella*-positive Gesamtschlachtmasse in kg“ sowie  $GSM_{\text{Sn}}$  „*Salmonella*-negative Gesamtschlachtmasse in kg“ ergibt sich aus den folgenden Formeln:

$$(24) \quad GSM_{\text{Sp}} = SH_{\text{Sp}} \times SHA_{\text{gew}}$$

$$(25) \quad GSM_{\text{Sn}} = SH_{\text{Sn}} \times SHA_{\text{gew}}$$

Um die Berechnung zu veranschaulichen, zeigt die Abbildung 45 einen Ausschnitt des Modells in @Risk. Die errechneten Parameter gehen als Input in das folgende Modul „Produktverarbeitung“ ein. Die Prävalenz der Gesamtschlachtmenge ist mit jener der Schweinehälften identisch; da es sich nur um eine Umrechnung von der Einheit Stück Schweinehälften in die Einheit kg und um eine Korrektur um den Schlachtabzug handelt, erfolgt keine mikrobielle Veränderung und die Prävalenz bleibt unverändert.

	2007	Parameter	Wert	Verteilung
Prävalenzreduktion durch den Schlachtprozess		$PR_S$		$RiskNormal(-0,062;0,029) + RiskNormal(-0,03;0,019)$
Anzahl <i>Salmonella</i> positive Schweinehälften		$SH_{Sp}$		$SB*(PT+PRS)^2$
Anzahl <i>Salmonella</i> negative Schweinehälften		$SH_{Sn}$		$(SB^*2)-SH_{Sp}$
Prävalenz nach der Schlachtung		$P_S$		$PT+PRS$
Gewicht je Schweinehälfte in kg		$SH_{gew}$	47	
Schlachtabzug		$SA_S$	0,75	
Gewicht je Schweinehälfte nach Schlachtabzug in kg		$SHA_{gew}$	35,25	
<i>Salmonella</i> positive Gesamtschlachtmasse in kg		$GSM_{Sp}$		$SH_{Sp}*SHA_{gew}$
<i>Salmonella</i> negative Gesamtschlachtmasse in kg		$GSM_{Sn}$		$SHA_{gew}*SH_{Sn}$

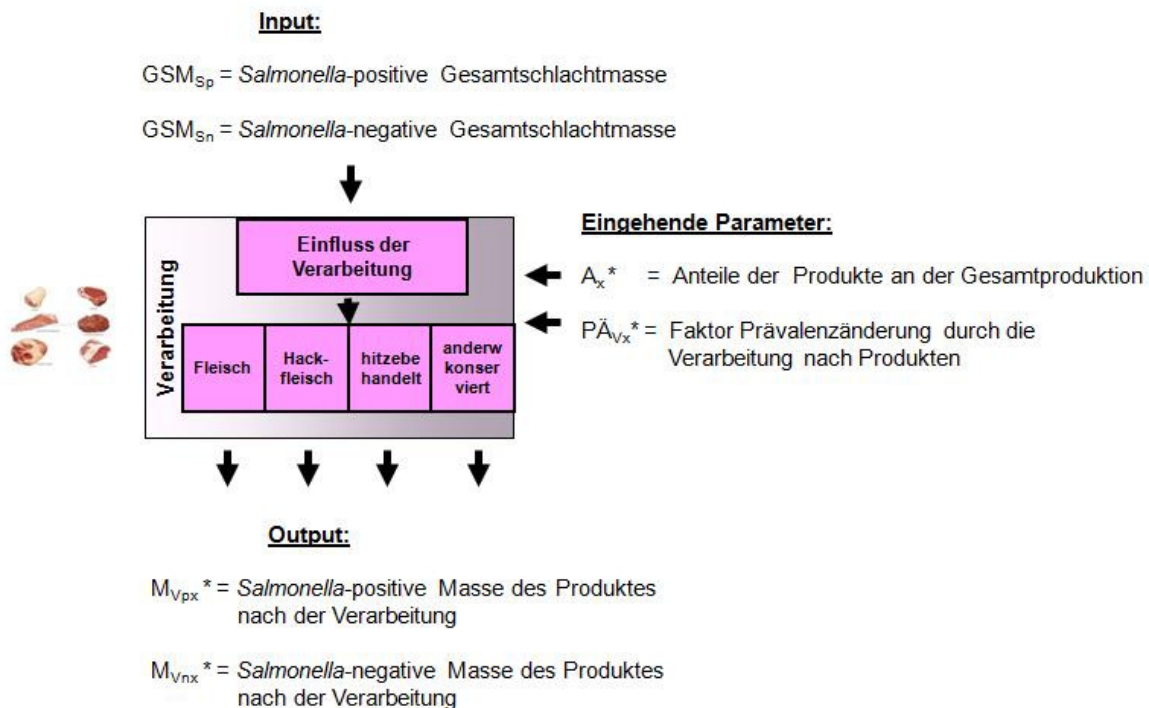
Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 45: Berechnung der Prävalenz nach dem Schlachtprozess

### 6.5 Modul 4 – Produktverarbeitung

Das vierte Modul ist das „Produktverarbeitungs“-Modul. Input des Moduls stellen die Output-Parameter des vorangegangenen „Schlachtprozess“-Moduls dar. Eingehende Parameter sind die Parameter  $A_x$  „Anteile der Produkte an der Gesamtproduktion“ sowie der Faktor  $P\ddot{A}_{Vx}$  „Prävalenzänderung durch die Verarbeitung in die unterschiedlichen Produkte“.

Output des Moduls sind die  $M_{Vpx}$  „*Salmonella*-positive Masse des Produktes nach der Verarbeitung“ sowie die  $M_{Vnx}$  „*Salmonella*-negative Masse des Produktes nach der Verarbeitung“. Zusätzlich kann noch die Prävalenz  $P_{Vx}$  der einzelnen Produkte nach der Verarbeitung ausgerechnet werden (siehe Abbildung 46, Tabelle 18).



\* Das x steht für die jeweiligen Produkte Fleisch = F, Hackfleisch = HF, hitzebehandelte Fleischerzeugnisse = hiF sowie anderweitig konservierte Fleischerzeugnisse = awkF.

Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 46: Modul 4 – Produktverarbeitung.

**Tabelle 18: Parameter des „Produktverarbeitungs“-Moduls**

Art	Bezeichnung	Einheit	Beschreibung	Quellen
Input	$GSM_{Sp}$	kg	<i>Salmonella</i> -positive Gesamtschlachtmasse	
Input	$GSM_{Sn}$	kg	<i>Salmonella</i> -negative Gesamtschlachtmasse	
eingehend	$A_x$	kg	Anteile der Produkte an der Gesamtproduktion	Statistisches Bundesamt (2006, 2008b) BVDF (2009)
eingehend	$P\ddot{A}_{Vx}$		Prävalenzänderung durch die Produktverarbeitung	Hartung (2009)
Output	$M_{VpX}$	kg	<i>Salmonella</i> -positive Masse des Produktes	
Output	$M_{VnX}$	kg	<i>Salmonella</i> -negative Masse des Produktes	
Output	$P_{Vx}$	%	Prävalenz der Produkte nach der Verarbeitung	

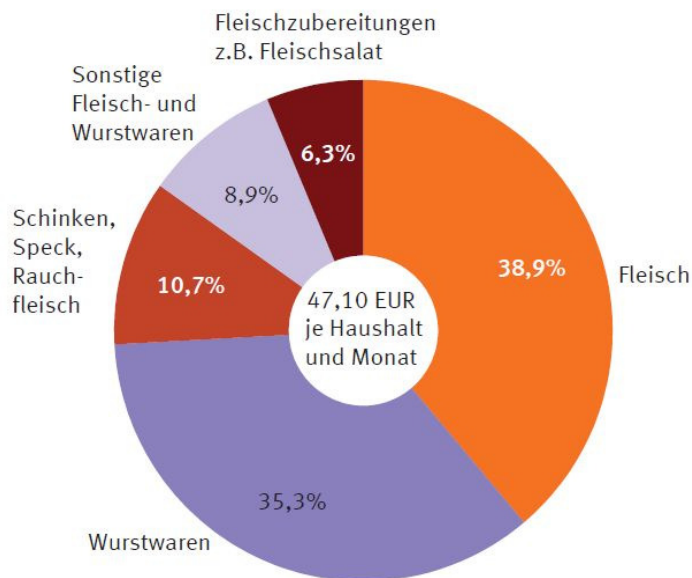
Quelle: Eigene Darstellung

Die als Input aus dem vorigen „Schlachtprozess“-Modul eingehende errechnete positive/negative Gesamtschlachtmasse in kg  $GSM_{Sp}/GSM_{Sn}$  wird modellhaft zu vier verschiedenen Produktklassen weiterverarbeitet. Diese sind:

- **F**rischfleisch = Fleisch = **F**,
- **H**ackfleisch = **HF**,
- **hi**tzebehandelte **F**leischerzeugnisse = **hiF** und
- **aw**derweitig **k**onservierte **F**leischerzeugnisse = **awkF**.

Die Einteilung in diese vier Produktklassen ist an die nach Hartung (2009) vorgenommene Einteilung bei der Darstellung der Ergebnisse der amtlichen Lebensmittelkontrolle angelehnt (Hartung, 2009; Tabelle 3).

Anhand der vom Statistischen Bundesamt durchgeführten Einkommens- und Verbrauchsstichproben (EVS) kann das Einkaufsverhalten deutscher Haushalte auch in Bezug auf die Ausgaben für Fleisch und Fleischwaren beurteilt werden, wodurch eine Schätzung in Hinblick auf die Aufteilung der Gesamtschlachtmasse in die vier hier gewählten Produktklassen möglich ist. Diese freiwillige Haushaltserhebung wird alle fünf Jahre durch das Statistische Bundesamt gemeinsam mit den Statistischen Landesämtern durchgeführt. Die Ergebnisse bezüglich der Aufwendungen privater Haushalte für Nahrungsmittel, Getränke und Tabakwaren (Fachserie 15, Heft 3) beziehen sich auf die EVS 2003 (Statistisches Bundesamt, 2006) (siehe Abbildung 47; Tabelle 19).



Quelle: Statistisches Bundesamt (2008b, S. 29)

**Abbildung 47: Struktur der Ausgaben privater Haushalte für Fleisch und Fleischwaren nach EVS, 2003**

Nach der EVS 2003 gaben die Haushalte monatlich 38,9 % der Ausgaben für „Fleisch“ (= „Frischfleisch“) zum Schmoren, Braten und Kochen aus (siehe Abbildung 47), dies entspricht durchschnittlichen 18,30 € pro Monat (insgesamt wurden je Haushalt und Monat 47,10 € für Fleisch und Fleischwaren ausgegeben). In die Kategorie „Fleisch“ fällt auch das Hackfleisch, welches für 2,40 € je Haushalt und Monat eingekauft wurde. Das entspricht 13,1 % der Ausgaben für „Fleisch“ bzw. 5,1 % der Gesamtausgaben je Monat und Haushalt (Statistisches Bundesamt, 2008b; Abbildung 47).

In Anlehnung an diese Zahlen wird der Anteil, zu jenem eine Weiterverarbeitung der Gesamtschlachtmenge zu der Produktklasse „Frischfleisch“ stattfindet, mit  $A_F = 0,35$  angenommen. Das heißt, dass 35 % der Gesamtschlachtmenge zu dem Produkt „Frischfleisch“ weiterverarbeitet werden. Von der Gesamtschlachtmenge werden außerdem geschätzte 5 % zu dem Produkt „Hackfleisch“ weiterverarbeitet. Somit ist der Anteil des Produktes „Hackfleisch“ an der Gesamtschlachtmenge  $A_{HF} = 0,05$ .

**Tabelle 19: Aufwendungen privater Haushalte für Fleisch und Fleischwaren – Ausschnitt aus der Übersicht 2**

Lfd. Nr.	Gegenstand der Nachweisung	Deutschland			Früheres Bundesgebiet			Neue Länder und Berlin-Ost		
		EUR	%	Menge <sup>1)</sup>	EUR	%	Menge <sup>1)</sup>	EUR	%	Menge <sup>1)</sup>
1	Erfasste Haushalte (Anzahl).....	12 072			9 554			2 518		
2	Hochgerechnete Haushalte (1 000).....	38 110			31 018			7 092		
		je Haushalt und Monat								
3	Nahrungsmittel, Getränke und Tabakwaren.....	272,31	100,0	-	276,97	100,0	-	251,91	100,0	-
4	Nahrungsmittel und alkoholfreie Getränke.....	227,34	83,5	-	230,83	83,3	-	212,08	84,2	-
5	Nahrungsmittel.....	196,56	72,2	-	199,12	71,9	-	185,38	73,6	-
6	Brot und Getreideerzeugnisse.....	36,62	13,4	-	37,77	13,6	-	31,60	12,5	-
7	Reis und -zubereitungen.....	0,76	0,3	-	0,80	0,3	-	0,61	0,2	-
8	Brot, andere Backwaren aus Brotteig und Dauerbackwaren.....	22,00	8,1	-	22,79	8,2	-	18,55	7,4	-
9	Teigwaren und Zubereitungen aus Teigwaren.....	2,99	1,1	-	3,25	1,2	-	1,85	0,7	-
10	Feine Backwaren.....	6,94	2,5	-	6,86	2,5	-	7,30	2,9	-
11	Sandwiches, belegte Brötchen.....	0,27	0,1	-	0,29	0,1	-	0,19	0,1	-
12	Anderer Getreideerzeugnisse und -zubereitungen.....	3,65	1,3	-	3,78	1,4	-	3,09	1,2	-
13	Fleisch, Fleischwaren.....	47,10	17,3	-	47,36	17,1	-	45,94	18,2	-
14	Rindfleisch und Kalbfleisch.....	3,71	1,4	472	3,97	1,4	490	2,54	1,0	393
15	dar.: Kalbfleisch.....	0,20	0,1	16	0,23	0,1	18	(0,07)	(0,0)	(7)
16	Schweinefleisch.....	6,76	2,5	1 317	6,72	2,4	1 269	6,91	2,7	1 523
17	Schaf- und Ziegenfleisch.....	0,40	0,1	42	0,43	0,2	43	(0,24)	(0,1)	(34)
18	Geflügelfleisch.....	4,41	1,6	900	4,42	1,6	875	4,36	1,7	1 008
19	Fleisch- und Wurstwaren.....	24,15	8,9	3 120	24,28	8,8	3 046	23,61	9,4	3 443
20	Wurstwaren.....	16,63	6,1	2 270	16,63	6,0	2 210	16,64	6,6	2 532
21	Speck, Schinken, Rauchfleisch.....	5,04	1,9	535	5,20	1,9	544	4,31	1,7	496
22	Wurstwaren, Schinken, Speck o.n. Bezeichnung..	2,20	0,8	235	2,20	0,8	227	2,22	0,9	270
23	Innereien, u.a. Schlachtnebenprodukte.....	0,29	0,1	81	0,25	0,1	66	0,44	0,2	146
24	Anderer Fleischzubereitungen, Fleischsalat u.a.....	2,96	1,1	-	2,95	1,1	-	3,01	1,2	-
25	Anderes Fleisch, z.B. Pferdefleisch.....	3,02	1,1	-	2,88	1,0	-	3,64	1,4	-
26	Fleisch, Fleischwaren o.n. Bezeichnung.....	1,70	0,6	-	1,71	0,6	-	1,63	0,6	-
27	Fisch, Fischwaren.....	6,74	2,5	-	6,74	2,4	-	6,71	2,7	-
28	Fische (auch lebend) Fischfilets, frisch und TK.....	3,11	1,1	386	3,16	1,1	377	2,89	1,1	426

Quelle: Statistisches Bundesamt (2006)

Zu der Produktklasse „hitzebehandelte Fleischerzeugnisse“ können folgende in Abbildung 47 dargestellte Produkteinteilungen gezählt werden:

- Fleischzubereitungen: 6,3 % der monatlichen Haushaltsausgaben von 47,10 €
- sonstige Fleisch- und Wurstwaren: 8,9 % der monatlichen Haushaltsausgaben von 47,10 €
- 70 % der Wurstwaren (Brüh- und Kochwürste): 24,7 % der monatlichen Haushaltsausgaben von 47,10 €

Bei den Wurstwaren sind nach Angaben des BVDF (2009) im Jahre 2007 zu etwa 70 % Brüh- und Kochwürste und zu etwa 30 % Rohwürste produziert worden. Die produzierten Rohwürste sind der Produktklasse „anderweitig konservierte Produkte“ zuzuordnen. Insgesamt ergibt sich für die Produktklasse „hitzebehandelte Fleischerzeugnisse“ ein Anteil von 39,9 % der Gesamtausgaben für Fleisch und Fleischwaren. In Anlehnung an diese Zahlen soll ein Anteil der Produktklasse hitzebehandelte Fleischerzeugnisse an der Gesamtschlachtmasse von 40 % angenommen werden ( $A_{hiF} = 0,4$ ).

Zu der Produktklasse anderweitig konservierte Fleischerzeugnisse zählen die beiden Produkteinteilungen der Abbildung 47:

- Schinken, Speck, Rauchfleisch: 10,7 % der monatlichen Haushaltsausgaben von 47,10 €
- 30 % der Wurstwaren (Rohwürste): 10,6 % der monatlichen Haushaltsausgaben von 47,10 €

Insgesamt ergibt sich somit für die Produktklasse anderweitig konservierte Fleischerzeugnisse ein Anteil von 21,3 % der Gesamtausgaben für Fleisch und Fleischwaren. In Anlehnung an diese Daten soll auch für die Produktklasse hitzebehandelte Fleischerzeugnisse ein Anteil von 20 % an der Gesamtschlachtmasse angenommen werden ( $A_{awkF} = 0,2$ ).



Die Werte für den eingehenden Parameter  $A_x$  werden in Tabelle 20 nach den vier Produktklassen zusammenfassend dargestellt.

**Tabelle 20: Werte der Parameter  $A_x$**

Produktklasse	Anteil der Produkte an der Gesamtproduktion $A_x$
Fleisch	$A_F = 0,35$
Hackfleisch	$A_{HF} = 0,05$
Hitzebehandelte Fleischerzeugnisse	$A_{hiF} = 0,4$
Anderweitig konservierte Fleischerzeugnisse	$A_{awkF} = 0,2$

Quelle: Eigene Darstellung

Die vier Produktklassen werden infolge von verschiedenen Produktionsverfahren hergestellt. Je nach Produktverarbeitungsprozess besteht ein Wachstums- oder Inaktivierungspotential für Salmonellen. Diesem Aspekt wird durch die eingehenden Parameter  $P\ddot{A}_{Vx}$  „Faktor Prävalenzänderung durch die Verarbeitung nach Produkten“ Rechnung getragen. Aus diesem Grund erfolgt auch im Folgenden eine getrennte Betrachtung der vier Produktklassen.

### 6.5.1 Frischfleisch

In die Produktklasse „Frischfleisch“ fallen vor allem frische unbehandelte Fleischstücke, welche vom Verbraucher zum Schmoren, Braten und Kochen gekauft werden. Das Fleisch wird lediglich zurechtgeschnitten und abgepackt. Durch den Verarbeitungsprozess ist daher laut Expertenmeinung des BfR keine mikrobielle Veränderung zu erwarten. Der Faktor der Prävalenzänderung durch den Produktverarbeitungsprozess wird daher mit  $P\ddot{A}_{VF} = 1$  angenommen. Anhand der folgenden Formeln kann die  $M_{VpF}$  „Salmonella-positive Masse des Produktes Frischfleisch“, die  $M_{VnF}$  „Salmonella-negative Masse des Produktes Frischfleisch“ und die  $P_{VF}$  „Prävalenz nach der Produktverarbeitung zu dem Produkt Frischfleisch“ berechnet werden:

$$(26) \quad M_{VpF} = GSM_{Sp} \times A_F \times P\ddot{A}_{VF}$$

$$(27) \quad M_{VnF} = GSM_{Sn} \times A_F \times P\ddot{A}_{VF}$$

$$(28) \quad P_{VF} = M_{VpF} / (M_{VpF} + M_{VnF})$$

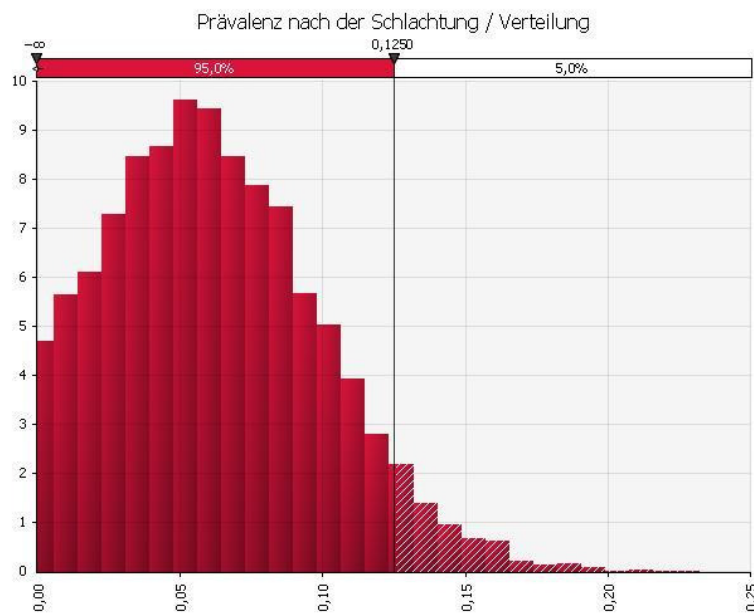
Um die Berechnung zu veranschaulichen, zeigt die Abbildung 48 einen Ausschnitt des Modells in @Risk. Die errechneten Parameter gehen als Input in das folgende Modul „Verbraucher“ ein.

2007		Parameter	Wert	Verteilung
<b>Frischfleisch</b>				
Anteil Frischfleisch		$A_F$	0,35	
Salmonella-positive Masse in kg				$GSM_{Sp} * A_F$
Salmonella-negative Masse in kg				$GSM_{Sn} * A_F$
Prävalenzänderung durch die Verarbeitung		$P\ddot{A}_{VF}$	1	
Salmonella-positive Masse nach Verarbeitung in kg		$M_{VpF}$		$GSM_{Sp} * A_F * P\ddot{A}_{VF}$
Salmonella-negative Masse nach Verarbeitung in kg		$M_{VnF}$		$GSM_{Sn} * A_F * P\ddot{A}_{VF}$
Prävalenz nach der Verarbeitung		$P_{VF}$		$M_{VpF} / (M_{VpF} + M_{VnF})$

Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 48: Berechnung der Prävalenz nach der Verarbeitung**

Abbildung 49 zeigt die Prävalenz nach der Produktverarbeitung zur Produktklasse Frischfleisch, welche mithilfe des Programms @Risk generiert wurde.



Quelle: @Risk-Output – Prävalenz nach der Schlachtung/Verteilung

**Abbildung 49: Prävalenz nach der Produktverarbeitung zur Produktklasse Frischfleisch**

### 6.5.2 Hackfleisch

Hackfleisch bietet Salmonellen durch die Oberflächenvergrößerung, welche mit der Zerkleinerung einhergeht, bessere Wachstumsmöglichkeiten und ist als besonders sensibles Lebensmittel einzustufen (Rabsch et al., 2002). Auch die bereits im Abschnitt 2.4.3 (Tabelle 8) dargestellten Ergebnisse der Lebensmittel-Planprobenuntersuchungen für das Jahr 2007 weisen im Vergleich zur Produktklasse Fleisch für zerkleinertes Rohfleisch eine um das 1,27-fach höhere Kontaminationsrate auf (3,73 % vs. 4,73 %) (Hartung, 2009). Der Faktor der Prävalenzänderung durch den Produktverarbeitungsprozess zu Hackfleisch wird daher mit  $P\ddot{A}_{VHF} = 1,27$  angenommen. Anhand der folgenden Formeln kann die  $M_{VpHF}$  „*Salmonella*-positive Masse des Produktes Hackfleisch“, die  $M_{VnHF}$  „*Salmonella*-negative Masse des Produktes Hackfleisch“ und die  $P_{VHF}$  „Prävalenz nach der Produktverarbeitung zu dem Produkt Hackfleisch“ berechnet werden:

$$(29) \quad M_{VpHF} = GSM_{Sp} \times A_{HF} \times P\ddot{A}_{VHF}$$

$$(30) \quad M_{VnHF} = GSM_{Sn} \times A_{HF} \times P\ddot{A}_{VHF}$$

$$(31) \quad P_{VHF} = M_{VpHF} / (M_{VpHF} + M_{VnHF})$$



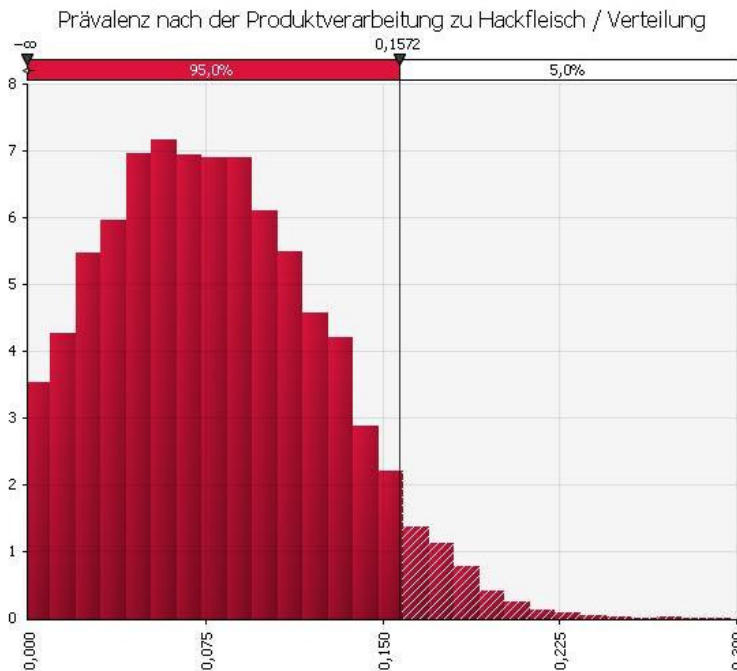
Um die Berechnung zu veranschaulichen, zeigt die Abbildung 50 einen Ausschnitt des Modells in @Risk. Die errechneten Parameter gehen als Input in das folgende Modul „Verbraucher“ ein.

Hackfleisch			
Anteil Hackfleisch	$A_{HF}$	0,05	$GSM_{Sp} * A_{HF}$
Salmonella-positive Masse in kg			$GSM_{Sn} * A_{HF}$
Salmonella-negative Masse in kg			
Prävalenzänderung durch die Verarbeitung	$P\ddot{A}_{VHF}$	1,27	
Salmonella-positive Masse nach Verarbeitung in kg	$M_{VpHF}$		$GSM_{Sp} * A_{HF} * P\ddot{A}_{VHF}$
Salmonella-negative Masse nach Verarbeitung in kg	$M_{VnHF}$		$GSM_{Sn} * A_{HF} * P\ddot{A}_{VHF}$
Prävalenz nach der Verarbeitung	$P_{VHF}$		$M_{VpHF} / (M_{VpHF} + M_{VnHF})$

Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 50: Berechnung der Prävalenz nach der Verarbeitung

Abbildung 51 zeigt die Prävalenz nach der Produktverarbeitung zur Produktklasse Hackfleisch, welche mithilfe des Programms @Risk generiert wurde.



Quelle: @Risk-Output – Prävalenz nach der Produktverarbeitung zu Hackfleisch/Verteilung

Abbildung 51: Prävalenz nach der Produktverarbeitung zur Produktklasse Hackfleisch

### 6.5.3 Hitzebehandelte Fleischerzeugnisse

Wie bereits in den Abschnitten 2.1.3 sowie 6.4 erwähnt, stellt der Vorgang des Erhitzens einen *Salmonella*-reduzierenden Prozess dar. Das Erhitzen der Lebensmittel ist nach Rolle/Mayr (2002) eine bewährte Maßnahme zur Eliminierung der Salmonellen. In den bereits im Abschnitt 2.4.3 (Tabelle 8) dargestellten Ergebnissen der Lebensmittel-Planprobenuntersuchungen für das Jahr 2007 weisen hitzebehandelte Fleischerzeugnisse im Vergleich zur Produktklasse Fleisch eine um das 46,63-Fache niedrigere Kontaminationsrate auf (0,08 % vs. 3,73 %) (Hartung, 2009). Der Faktor der Prävalenzänderung durch den Produktverarbeitungsprozess der hitzebehandelten Fleischerzeugnisse wird daher mit  $P\ddot{A}_{VhiF} = 0,021$  angenommen. Anhand der folgenden Formeln kann die  $M_{VpHiF}$  „*Salmonella*-positive Masse des

Produktes hitzebehandelte Fleischerzeugnisse“, die  $M_{VnhiF}$  „*Salmonella*-negative Masse des Produktes hitzebehandelte Fleischerzeugnisse“ und die  $P_{VhiF}$  „Prävalenz nach der Produktverarbeitung zu dem Produkt hitzebehandelte Fleischerzeugnisse“ berechnet werden:

$$(32) \quad M_{VphiF} = GSM_{Sp} \times A_{hiF} \times P_{\ddot{A}VhiF}$$

$$(33) \quad M_{VnhiF} = GSMSn \times A_{hiF} \times P_{\ddot{A}VhiF}$$

$$(34) \quad P_{VhiF} = M_{VphiF} / (M_{VphiF} + M_{VnhiF})$$

Um die Berechnung zu veranschaulichen, zeigt die Abbildung 52 einen Ausschnitt des Modells in @Risk. Die errechneten Parameter gehen als Input in das folgende Modul „Verbraucher“ ein.

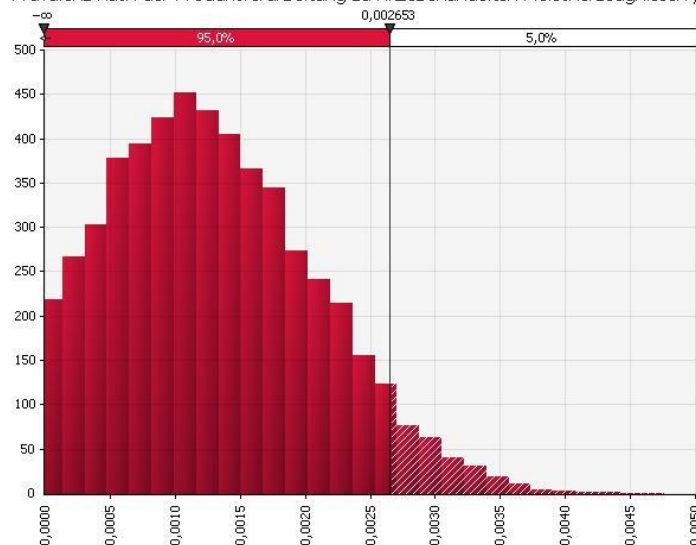
hitzebehandelte Fleischerzeugnisse			
Anteil hitzebehandelte Fleischerzeugnisse	$A_{hiF}$	0,4	$GSM_{Sp} \cdot A_{hiF}$
<i>Salmonella</i> positive Masse in kg			$GSM_{Sn} \cdot A_{hiF}$
<i>Salmonella</i> negative Masse in kg			
Prävalenzänderung durch die Verarbeitung	$P_{\ddot{A}VhiF}$	0,021	
<i>Salmonella</i> positive Masse nach Verarbeitung in kg	$M_{VphiF}$		$GSM_{Sp} \cdot A_{hiF} \cdot P_{\ddot{A}VhiF}$
<i>Salmonella</i> negative Masse nach Verarbeitung in kg	$M_{VnhiF}$		$GSM_{Sn} \cdot A_{hiF} \cdot P_{\ddot{A}VhiF}$
Prävalenz nach der Verarbeitung	$P_{VhiF}$		$M_{VphiF} / (M_{VphiF} + M_{VnhiF})$

Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 52: Berechnung der Prävalenz nach der Verarbeitung**

Abbildung 53 zeigt die Prävalenz nach der Produktverarbeitung zur Produktklasse hitzebehandelte Fleischerzeugnisse, welche mithilfe des Programms @Risk generiert wurde.

Prävalenz nach der Produktverarbeitung zu hitzebehandelten Fleischerzeugnissen / Verteilung



Quelle: @Risk-Output – Prävalenz nach der Produktverarbeitung zu hitzebehandelten Fleischerzeugnissen/Verteilung

**Abbildung 53: Prävalenz nach der Produktverarbeitung zur Produktklasse hitzebehandelte Fleischerzeugnisse**

6.5.4 Anderweitig konservierte Fleischerzeugnisse

Auch durch andere Konservierungsvorgänge, wie etwa das Räuchern oder Pökeln von Wurstwaren, kann eine Reduktion der Salmonellen erreicht werden. Die bereits im Abschnitt 2.4.3 (Tabelle 8) dargestellten Ergebnisse der Lebensmittel-Planprobenuntersuchungen für das Jahr 2007 weisen auch für anderweitig konservierte Fleischerzeugnisse im Vergleich zur Produktklasse Fleisch eine niedrigere Kontaminationsrate mit *Salmonella* auf. Diese ist um das 4,34-Fache niedriger als jene der Produktklasse Fleisch (0,86 % vs. 3,73 %) (Hartung, 2009). Der Faktor der Prävalenzänderung durch den Produktverarbeitungsprozess der anderweitig konservierten Fleischerzeugnisse wird daher mit  $P\ddot{A}_{VawkF} = 0,23$  angenommen. Anhand der folgenden Formeln kann die  $M_{VpawkF}$  „*Salmonella*-positive Masse des Produktes anderweitig konservierte Fleischerzeugnisse“, die  $M_{VnawkF}$  „*Salmonella*-negative Masse des Produktes anderweitig konservierte Fleischerzeugnisse“ und die  $P_{VawkF}$  „Prävalenz nach der Produktverarbeitung zu dem Produkt anderweitig konservierte Fleischerzeugnisse“ berechnet werden:

$$(35) \quad M_{VpawkF} = GSM_{Sp} \times A_{awkF} \times P\ddot{A}_{VawkF}$$

$$(36) \quad M_{VnawkF} = GSM_{Sn} \times A_{awkF} \times P\ddot{A}_{VawkF}$$

$$(37) \quad P_{VawkF} = M_{VpawkF} / (M_{VpawkF} + M_{VnawkF})$$

Um die Berechnung zu veranschaulichen, zeigt die Abbildung 54 einen Ausschnitt des Modells in @Risk. Die errechneten Parameter gehen als Input in das folgende Modul „Verbraucher“ ein.

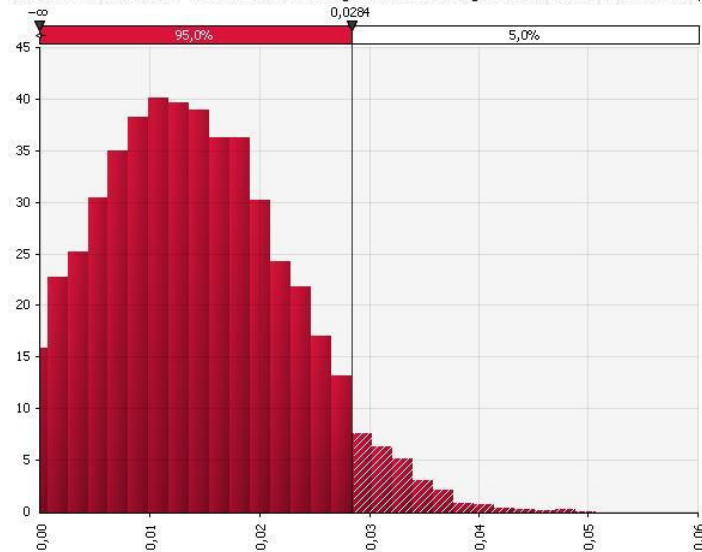
anderweitig konservierte Fleischerzeugnisse			
Anteil anderweitig konservierte Fleischerzeugnisse	$A_{awkF}$	0,2	$GSM_{Sp} \times A_{awkF}$
<i>Salmonella</i> positive Masse in kg			$GSM_{Sn} \times A_{awkF}$
<i>Salmonella</i> negative Masse in kg			
Prävalenzänderung durch die Verarbeitung	$P\ddot{A}_{VawkF}$	0,23	
<i>Salmonella</i> positive Masse nach Verarbeitung in kg	$M_{VpawkF}$		$GSM_{Sp} \times A_{awkF} \times P\ddot{A}_{VawkF}$
<i>Salmonella</i> negative Masse nach Verarbeitung in kg	$M_{VnawkF}$		$GSM_{Sn} \times A_{awkF} \times P\ddot{A}_{VawkF}$
Prävalenz nach der Verarbeitung	$P_{VawkF}$		$M_{VpawkF} / (M_{VpawkF} + M_{VnawkF})$

Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 54: Berechnung der Prävalenz nach der Verarbeitung

Abbildung 55 zeigt die Prävalenz nach der Produktverarbeitung zur Produktklasse konservierte Fleischerzeugnisse, welche mithilfe des Programms @Risk generiert wurde.

Prävalenz nach der Produktverarbeitung zu anderweitig konservierten Produkten / Verteilung



Quelle: @Risk-Output – Prävalenz nach der Produktverarbeitung zu anderweitig konservierten Produkten/Verteilung

**Abbildung 55: Prävalenz nach der Produktverarbeitung zur Produktklasse anderweitig konservierte Fleischerzeugnisse**

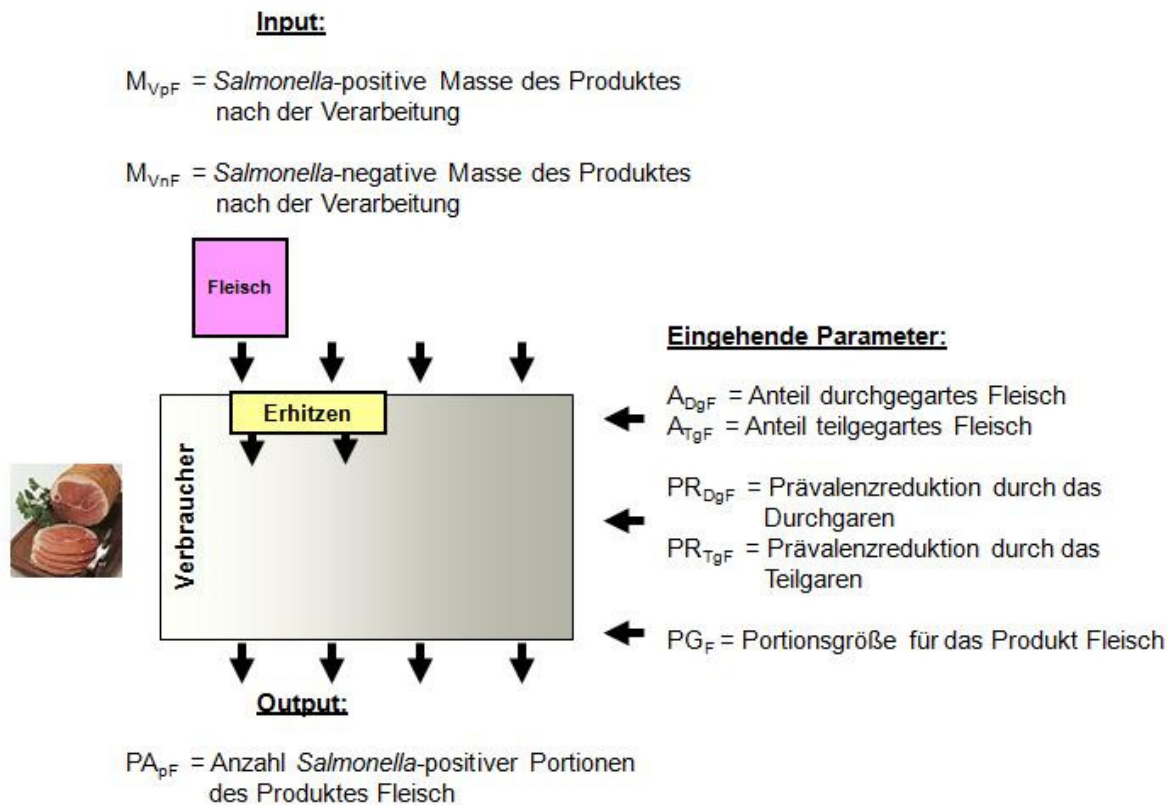
## 6.6 Modul 5 – Verbraucher

Für das „Verbraucher“-Modul wird die getrennte Betrachtung der Produktklassen fortgeführt. Die beiden Produkte „Frischfleisch“ und „Hackfleisch“ werden vor dem Verzehr durch den Verbraucher erhitzt. Die bereits „hitzebehandelten Fleischprodukte“ sowie die „anderweitig konservierten Fleischprodukte“ werden ohne einen Erhitzungsprozess durch den Verbraucher verzehrt.

### 6.6.1 Fleisch

#### Erhitzen

Input für den Prozess des Erhitzens ist die  $M_{VpF}$  bzw.  $M_{VnF}$  „*Salmonella*-positive bzw. *Salmonella*-negative Masse des Produktes Fleisch nach der Verarbeitung“.



Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 56: Erhitzen des Produktes Fleisch durch den Verbraucher**

In Anlehnung an Expertenmeinungen des BfR wird angenommen, dass das Produkt Fleisch durch den Verbraucher vor dem Verzehr durch den Erhitzungsvorgang zu einem Anteil von 95 % ( $A_{DgF} = 0,95$ ) vollständig durchgegart wird. Die restlichen 5 % werden nur teilgegart ( $A_{TgF} = 0,05$ ). In Folge der hohen Hitzeempfindlichkeit der *Salmonellen* soll in Anlehnung an die QRMA der EFSA (2010) auch hier davon ausgegangen werden, dass die *Salmonellen* durch das Durchgaren vollständig abgetötet werden ( $PR_{DgF} = 0$ ). Durch das Teilgaren wird nur ein gewisser Anteil der *Salmonellen* abgetötet. Es wird angenommen, dass durch das Teilgaren eine Prävalenzreduktion auf 10 % erreicht wird. Dies entspricht einer Prävalenzreduktion  $PR_{TgF}$  von 0,1.

**Tabelle 21: Parameter in Bezug auf das Erhitzen des Produktes Frischfleisch**

Art	Bezeichnung	Einheit	Beschreibung	Quellen
Input	$M_{VpF}$	kg	<i>Salmonella</i> -positive Masse des Produktes Fleisch	
Input	$M_{VnF}$	kg	<i>Salmonella</i> -negative Masse des Produktes Fleisch	
eingehend	$A_{DgF}$	%	Anteil durchgegartes Fleisch	
eingehend	$A_{TgF}$	%	Anteil teilgegartes Fleisch	
eingehend	$PR_{TgF}$	%	Prävalenzreduktion durch das Teilgaren	
eingehend	$PR_{DgF}$	%	Prävalenzreduktion durch das Durchgaren	EFSA (2010)
eingehend	$PG_F$	kg	Portionsgröße für das Produkt Fleisch	EFSA (2010)
Zwischen-Output	$GM_{EpF}$	kg	<i>Salmonella</i> -positive Gesamtmasse des Produktes Fleisch nach dem Erhitzen	
Output	$PA_{pF}$	Stück	Anzahl <i>Salmonella</i> -positiver Portionen des Produktes Fleisch	

Quelle: Eigene Darstellung

Als Zwischen-Output ergibt sich durch das Erhitzen beim Verbraucher die  $GM_{EpF}$  „*Salmonella*-positive Gesamtmasse des Produktes Frischfleisch nach dem Erhitzen“. Diese kann anhand folgender Formel errechnet werden:

$$(38) \quad GM_{EpF} = (M_{VpF} \times A_{TgF} \times PR_{TgF}) + (M_{VpF} \times A_{DgF} \times PR_{DgF})$$

Um die Berechnung zu veranschaulichen, zeigt die Abbildung 55 einen Ausschnitt des Modells in @Risk.

Frischfleisch			
2007	Parameter	Wert	Verteilung
Anteil durch den Verbraucher vollständig erhitzt - Salmonellen werden dadurch vollständig abgetötet	$A_{DgF}$	0,95	
Gesamtmasse, die vollständig erhitzt wird			$M_{VpF} \cdot A_{DgF}$
Faktor Prävalenzreduktion durch das Durchgaren	$PR_{DgF}$	0	
<b>Salmonella-positive Masse in kg nach Erhitzen durch den Verbraucher</b>			$M_{VpF} \cdot A_{DgF} \cdot PR_{DgF}$
Anteil durch den Verbraucher nicht vollständig erhitzt - Salmonellen überleben teilweise	$A_{TgF}$	0,05	
Gesamtmasse, die nicht vollständig erhitzt wird			$M_{VpF} \cdot A_{TgF}$
Faktor Prävalenzreduktion durch das Teilgaren	$PR_{TgF}$	0,1	
<b>Salmonella-positive Masse nach Erhitzen durch den Verbraucher in kg</b>			$M_{VpF} \cdot A_{TgF} \cdot PR_{TgF}$
<b>Salmonella-positive Gesamtmasse nach Erhitzen durch den Verbraucher in kg</b>	$GM_{EpF}$		$(M_{VpF} \cdot A_{DgF} \cdot PR_{DgF}) + (M_{VpF} \cdot A_{TgF} \cdot PR_{TgF})$

Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 57: Berechnung der *Salmonella*-positiven Gesamtmasse des Produktes Frischfleisch nach dem Erhitzen**

Unter Verwendung des eingehenden Parameters der Portionsgröße für Fleisch kann die *Salmonella*-positive Anzahl der später verzehrten Portionen der Produktklasse Fleisch nach der folgenden Formel (39) ermittelt werden ( $PA_{pF}$ ). Die Portionsgröße für das Produkt Fleisch wird nach EFSA (2010) mit  $PG_F = 0,146$  kg angegeben. Dieser Wert wurde anhand von Daten aus Irland erhoben (EFSA, 2008c).

$$(39) \quad PA_{pF} = \frac{GM_{EpF}}{PG_F}$$

Zur Veranschaulichung der Berechnung zeigt die Abbildung 58 einen Ausschnitt des Modells in @Risk.

2007	Parameter	Wert	Verteilung
Portionsgröße in kg	$PG_F$	0,146	
Anzahl <i>Salmonella</i> -positive Portionen	$PA_{pF}$		$GM_{EpF}/PG_F$

Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 58: Berechnung der Anzahl *Salmonella*-positiver Proben**

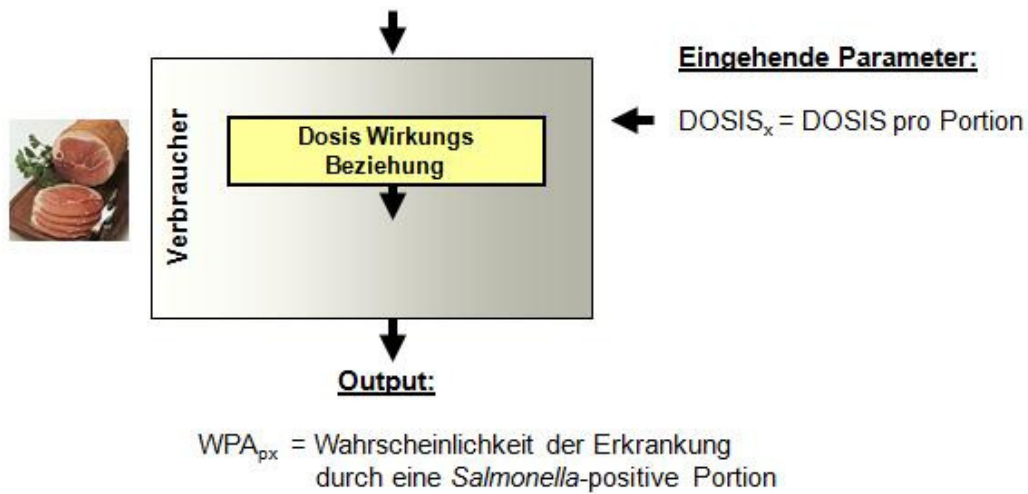
## Dosis-Wirkungs-Modell

Die errechnete Anzahl der *Salmonella*-positiven Portionen für das Jahr 2007 wird durch die Verbraucher vollständig verzehrt. Um die Wahrscheinlichkeit der Erkrankung durch eine positive Portion abzuschätzen, wird das auch im Rahmen des Modells von McNamara (siehe Abschnitt 5.2.1) und der QRMA der EFSA (siehe Abschnitt 5.2.2) angewandte Dosis-Wirkungs-Modell der Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) und der World Health Organisation (WHO) (2002) verwendet:

$$WPA_{px} = 1 - [1 + (DOSIS_x/\beta)]^{-\alpha}$$



Dieses Modell stellt die Beziehung zwischen der Aufnahme von kontaminierter Nahrung ( $DOSIS_x$ ) und der Wahrscheinlichkeit einer lebensmittelverursachten Erkrankung her ( $WPA_{px}$ ).



\*Das x steht für die jeweiligen Produkte Fleisch = F, Hackfleisch = HF, hitzebehandelte Fleischerzeugnisse = hiF sowie anderweitig konservierte Fleischerzeugnisse = awkF.

Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 59: Dosis-Wirkungs-Beziehung**

Eingehender Parameter für die Formel ist die  $DOSIS_x$  in cfu (= KBE, siehe hierzu Abschnitt 6.4) je Portion. Diese wird anhand der Formel (40) durch Umrechnung der im Rahmen der QRMA der EFSA ermittelten Keimbelastung in cfu je Portion des Produktes Fleisch ( $Kb_F = 0,69$ ) (EFSA, 2010) ermittelt. Außerdem werden für die Formel die Parameter Alpha =  $\alpha = 0,1324$  und Beta =  $\beta = 51,45$  angenommen (FAO/WHO, 2002). Output ist die Wahrscheinlichkeit der Erkrankung durch eine *Salmonella*-positive Portion.

$$(40) \quad \mathbf{DOSIS} = 10^{Kb_x}$$

**Tabelle 22: Parameter in Bezug auf den Dosis-Wirkungs-Zusammenhang**

Art	Bezeichnung	Einheit	Beschreibung	Quellen
eingehend	$DOSIS_x$	cfu	DOSIS pro Portion	EFSA (2010)
Output	$WPA_{px}$	%	Wahrscheinlichkeit der Erkrankung durch eine <i>Salmonella</i> -positive Portion	
			Dosis-Wirkungs-Modell	WHO/FAO (2002)
	$Kb_x$	cfu	Keimbelastung je Portion	EFSA (2010)

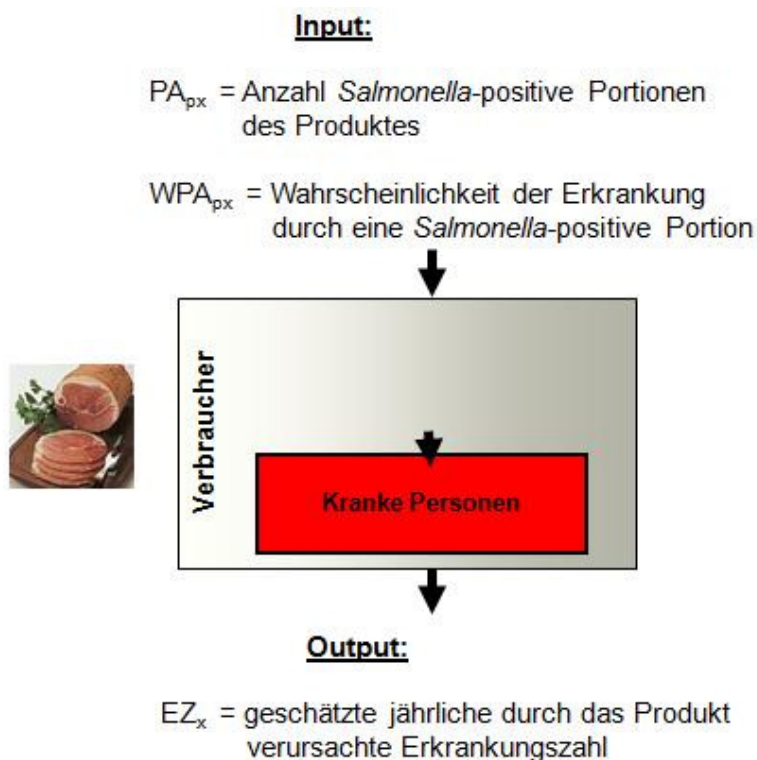
Quelle: Eigene Darstellung

## Erkrankung

Sowohl die soeben errechnete  $WPA_{px}$  „Wahrscheinlichkeit der Erkrankung durch eine *Salmonella*-positive Portion“ als auch die zuvor errechnete Anzahl  $PA_{px}$  „*Salmonella*-positiver Portionen“ gehen als Input in die Poisson-Verteilung ein:

$$(41) \quad EZ_x = \text{Poisson}(PA_{px} \times WPA_{px})$$

Output ist die  $EZ_x$  „geschätzte Anzahl der durch diese Produktgruppe erkrankten Personen für das Jahr 2007“ (siehe Abbildung 60).



Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 60: Berechnung des Outputs – Kranke Personen durch das Produkt**

Die folgende Tabelle 23 gibt die Parameter zur geschätzten jährlichen Erkrankungszahl durch ein Produkt aus den vier verschiedenen Produktklassen an.

**Tabelle 23: Parameter geschätzte jährliche Erkrankungszahl durch ein Produkt**

Art	Bezeichnung	Bereich	Einheit	Beschreibung
Input	$WPA_{px}$	$\hat{u}^+$	%	Wahrscheinlichkeit der Erkrankung durch eine <i>Salmonella</i> -positive Portion
Input	$PA_{px}$	$\hat{u}$	Anzahl	Anzahl <i>Salmonella</i> -positive Portionen
Output	$EZ_x$	$\hat{u}$	Anzahl	geschätzte jährliche Erkrankungszahl

Quelle: Eigene Darstellung



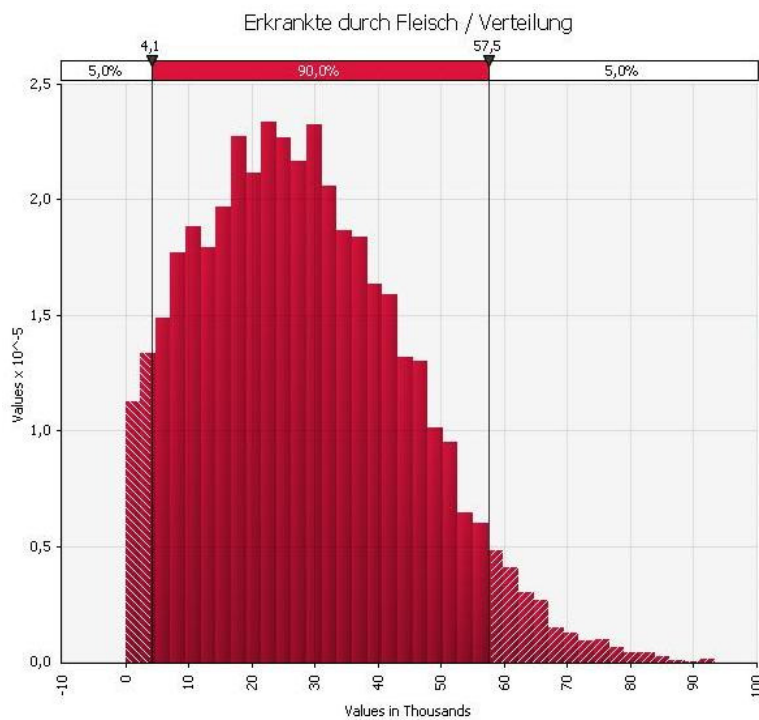
Zur Veranschaulichung der Berechnung zeigt die Abbildung 61 einen Ausschnitt des Modells in @Risk:

2007	Parameter	Wert	Verteilung
Portionsgröße in kg Anzahl <i>Salmonella</i> -positive Portionen	$PG_F$ $PA_{pF}$	0,146	$GM_{EPF}/PG_F$
log cfu / Portion DOSIS pro Portion <i>Dosis Wirkungs Zusammenhang Wahrscheinlichkeit der Erkrankung durch eine Salmonella-positive Portion</i>	$Kb_F$ $DOSIS_F$ $WPA_{pF}$	0,69 $10^{*}Kb_F$	$1-(1+(DOSIS_F/51,45))^{-0,1324}$
geschätzte jährliche Erkrankungszahl	$EZ_F$		$RiskPoisson(PA_{pF}^{*}WPA_{pF})$

Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 61: Berechnung der Prävalenz nach der Verarbeitung**

Abbildung 62 zeigt die Anzahl der Erkrankten, verursacht durch die Produktklasse „Frischfleisch“, welche mithilfe des Programms @Risk generiert wurde. Im Mittel erkranken geschätzte 21.002 Menschen infolge des Verzehrs von Fleisch.



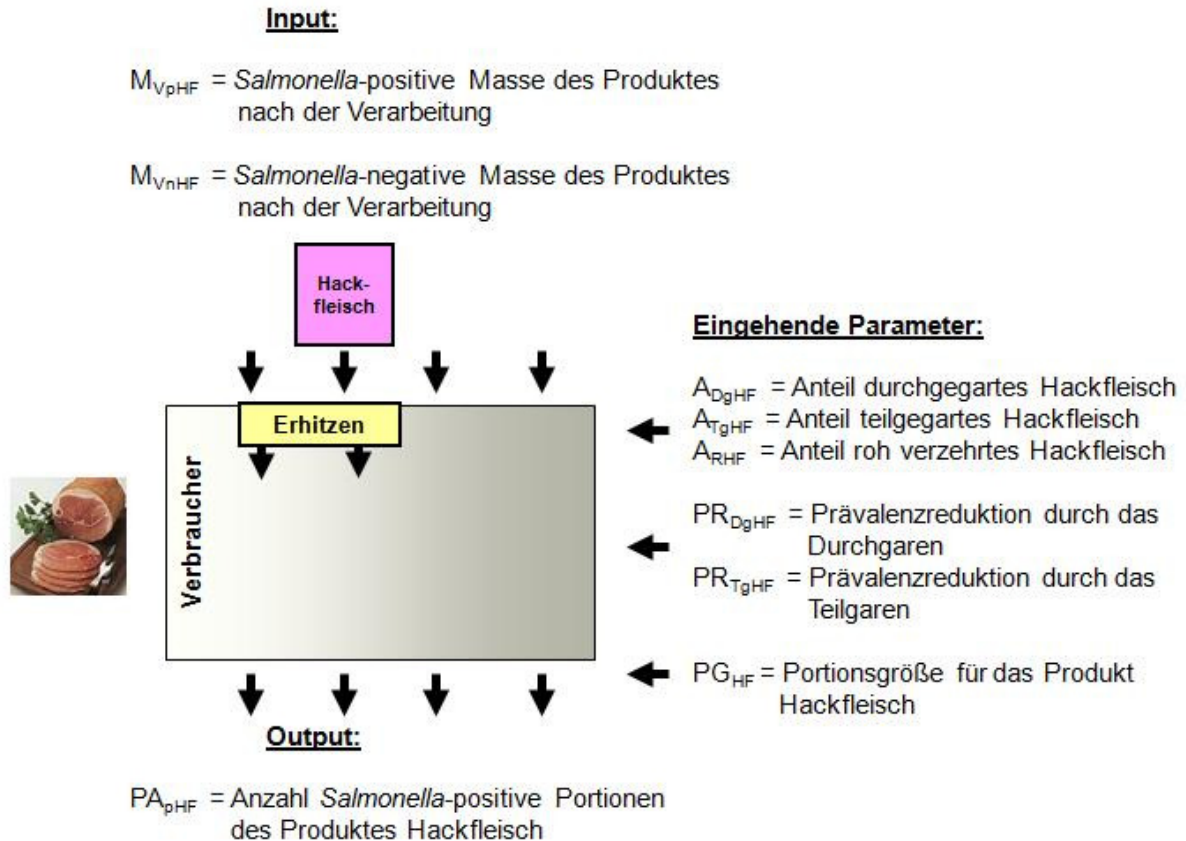
Quelle: @Risk-Output – Erkrankte durch Fleisch/Verteilung

**Abbildung 62: Geschätzte Erkrankungszahl 2007 durch die Produktklasse Frischfleisch**

## 6.6.2 Hackfleisch

**Erhitzen**

Auch das Produkt „Hackfleisch“ wird vor dem Verzehr durch den Verbraucher zum Großteil erhitzt. Input ist die  $M_{VpHF}$  und  $M_{VnHF}$  „*Salmonella*-positive bzw. *Salmonella*-negative Masse des Produktes Hackfleisch in kg nach der Verarbeitung“ (siehe Abbildung 63, Tabelle 24).



Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 63: Erhitzen des Produktes Hackfleisch durch den Verbraucher**

Auf der Grundlage von Expertenmeinungen des BfR wird im Rahmen der vorliegenden Untersuchung angenommen, dass 5 % ( $A_{RHF} = 0,05$ ) des gekauften Hackfleisches roh, z. B. in Form von Mett, verzehrt werden. 90 % ( $A_{DgHF} = 0,9$ ) des Hackfleisches werden vollständig durchgegart und die restlichen 5 % ( $A_{RHF} = 0,05$ ) werden teilgegart. Durch den Prozess des Durchgarens werden die *Salmonellen* komplett abgetötet ( $PR_{DgHF} = 0$ ). Durch das Teilgaren wird genau wie auch beim Produkt Fleisch nur ein gewisser Anteil der *Salmonellen* abgetötet. Es wird angenommen dass durch das Teilgaren von Hackfleisch ebenfalls eine Prävalenzreduktion  $PR_{TgHF}$  von 0,1 erreicht wird.

**Tabelle 24: Parameter in Bezug auf das Erhitzen des Produktes Hackfleisch**

Art	Bezeichnung	Einheit	Beschreibung	Quellen
Input	$M_{VpHF}$	kg	<i>Salmonella</i> -positive Menge des Produktes Hackfleisch	
Input	$M_{VnHF}$	kg	<i>Salmonella</i> -negative Menge des Produktes Hackfleisch	
eingehend	$A_{RHF}$	%	Anteil roh verzehrtes Hackfleisch	
eingehend	$A_{DgHF}$	%	Anteil durchgegartes Hackfleisch	
eingehend	$A_{TgHF}$	%	Anteil teilgegartes Hackfleisch	
eingehend	$PR_{TgHF}$	%	Prävalenzreduktion durch das Teilgaren	
eingehend	$PR_{DgHF}$	%	Prävalenzreduktion durch das Durchgaren	EFSA (2010)
eingehend	$PG_{HF}$	kg	Portionsgröße für das Produkt Hackfleisch	EFSA (2010)
Zwischen-Output	$GM_{EpHF}$	kg	<i>Salmonella</i> -positive Gesamtmenge des Produktes Hackfleisch nach dem Erhitzen	
Output	$PA_{pHF}$	Stück	Anzahl <i>Salmonella</i> -positiver Portionen des Produktes Hackfleisch	

Quelle: Eigene Darstellung

Als Zwischen-Output ergibt sich durch das vom Verbraucher durchgeführte Erhitzen wie beim Produkt Fleisch auch für das Produkt Hackfleisch die  $GM_{EpHF}$  „*Salmonella*-positive Gesamtmenge des Produktes nach dem Erhitzen“. In dieser ist sowohl der Anteil roh verzehrtes, teilgegartes als auch durchgegartes Hackfleisch enthalten. Diese Gesamtmenge kann anhand folgender Formel errechnet werden:

$$(42) \quad GM_{EpHF} = (M_{VpHF} \times A_{RHF} \times PR_{TgHF}) + (M_{VpHF} \times A_{DgHF} \times PR_{DgHF}) + (M_{VpHF} + M_{VnHF}) \times A_{RHF} \times P_{VHF}$$

Um die Berechnung zu veranschaulichen, zeigt die Abbildung 64 einen Ausschnitt des Modells in @Risk:

Hackfleisch			
Anteil durch den Verbraucher roh verzehrt	$A_{RHF}$	0,05	
Gesamtmasse, die roh verzehrt wird			$M_{VpHF} \times A_{RHF}$
<i>Salmonella</i> -positive Menge in kg (Rohverzehr)			$M_{VpHF} \times A_{RHF}$
Anteil durch den Verbraucher vollständig erhitzt - <i>Salmonellen</i> werden dadurch vollständig abgetötet	$A_{DgHF}$	0,9	
Gesamtmasse, die vollständig erhitzt wird			$M_{VpHF} \times A_{DgHF}$
Faktor Prävalenzreduktion durch das Durcherhitzen	$PR_{DgHF}$	0	
<i>Salmonella</i> -positive Masse in kg nach Erhitzen durch den Verbraucher			$0 \times M_{VpHF} \times A_{DgHF} \times PR_{DgHF}$
Anteil durch den Verbraucher nicht vollständig erhitzt - <i>Salmonellen</i> überleben teilweise	$A_{TgHF}$	0,05	
Gesamtmasse, die nicht vollständig erhitzt wird			$M_{VpHF} \times A_{TgHF}$
Faktor Prävalenzreduktion durch das Teilerhitzen	$PR_{TgHF}$	0,1	
<i>Salmonella</i> -positive Masse in kg nach Erhitzen durch den Verbraucher			$0 \times M_{VpHF} \times A_{TgHF} \times PR_{TgHF}$
<i>Salmonella</i> -positive Gesamtmasse nach Erhitzen durch den Verbraucher in kg	$GM_{EpHF}$		$(M_{VpHF} \times A_{RHF}) + (M_{VpHF} \times A_{DgHF} \times PR_{DgHF}) + (M_{VpHF} \times A_{TgHF} \times PR_{TgHF})$

Quelle Eigene Darstellung

**Abbildung 64: Berechnung der *Salmonella*-positiven Gesamtmasse des Produktes Hackfleisch nach dem Erhitzen**

Unter Verwendung des eingehenden Parameters der durchschnittlichen Portionsgröße für Hackfleisch ( $PG_{HF}$ ) kann die „*Salmonella*-positive Anzahl der später verzehrten Portionen“ dieser Produktklasse nach der folgenden Formel (43) ermittelt werden ( $PA_{pHF}$ ). Die Portionsgröße für das Produkt Hackfleisch wird nach EFSA (2010) mit  $PG_{HF} = 0,125$  kg angegeben. Dieser Wert wurde anhand von Daten aus Schweden erhoben (Anonymus, 2009).

$$(43) \quad PA_{pHF} = \frac{GM_{EpHF}}{PG_{HF}}$$

Zur Veranschaulichung der Berechnung zeigt die Abbildung 65 einen Ausschnitt des Modells in @Risk:

2007	Parameter	Wert	Verteilung
Portionsgröße in kg	$PG_{HF}$	0,125	
Anzahl <i>Salmonella</i> -positive Portionen	$PA_{PHF}$		$GM_{EPHF}/PG_{HF}$

Quelle: Eigene Darstellung

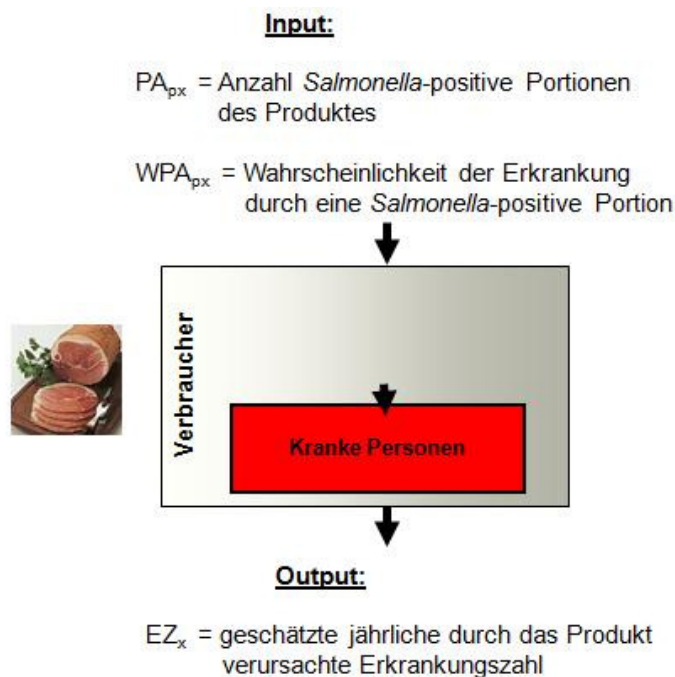
**Abbildung 65: Berechnung der Anzahl *Salmonella*-positiver Proben**

## Dosis-Wirkungs-Modell

Analog zu den Ausführungen in Bezug auf das Produkt Fleisch (siehe Abschnitt 6.6.1), erfolgt die Verwendung des Dosis-Wirkungs-Modells der FAO/WHO (2002). Dabei wird ebenfalls die durch die QRMA der EFSA ermittelte Keimbelastung in cfu je Portion des Produktes Hackfleisch von  $Kb_{HF} = 1,06$  (EFSA, 2010) angenommen. Output ist die  $WPA_{px}$  „Wahrscheinlichkeit der Erkrankung durch eine *Salmonella*-positive Portion“.

## Erkrankung

Auch diese Berechnung erfolgt analog zu jener im Abschnitt 6.6.1. Output ist die  $EZ_x$  „geschätzte Anzahl der durch diese Produktgruppe erkrankten Personen für das Jahr 2007“ (siehe Abbildung 66).



Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 66: Berechnung des Outputs – Kranke Personen durch das Produkt**

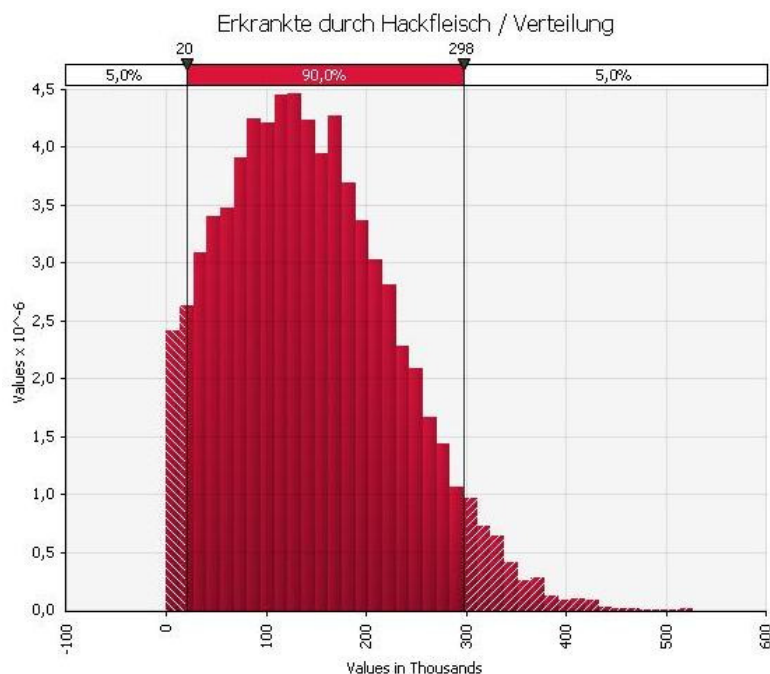
Zur Veranschaulichung der Berechnung zeigt die Abbildung 67 einen Ausschnitt des Modells in @Risk:

	2007	Parameter	Wert	Verteilung
Portionsgröße in kg Anzahl <i>Salmonella</i> -positive Portionen		$PG_{HF}$ $PA_{pHF}$	0,125	$GM_{EpHF}/PG_{HF}$
log cfu / Portion DOSIS pro Portion <i>Dosis Wirkungs Zusammenhang Wahrscheinlichkeit der Erkrankung durch eine Salmonella-positive Portion</i>		$Kb_{HF}$ $DOSIS_{HF}$ $WPA_{pHF}$	1,06 $10^{*}Kb_{HF}$	$1-(1+(DOSIS_{HF}/51,45))^{-0,1324}$
geschätzte jährliche Erkrankungszahl		$EZ_{HF}$		$RiskPoisson(PA_{pHF} * WPA_{pHF})$

Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 67: Berechnung der Prävalenz nach der Verarbeitung**

Output ist die  $EZ_{HF}$  „geschätzte jährliche durch das Produkt Hackfleisch verursachte Erkrankungszahl“. Abbildung 68 zeigt die Anzahl der Erkrankten, verursacht durch die Produktklasse „Hackfleisch“, welche mithilfe des Programms @Risk generiert wurde. Im Mittel erkrankten geschätzte 107.544 Menschen infolge des Verzehrs von Hackfleisch.



Quelle: @Risk-Output – Erkrankte durch Hackfleisch/Verteilung

**Abbildung 68: Geschätzte Erkrankungszahl 2007 durch die Produktklasse Hackfleisch**

### 6.6.3 Hitzebehandelte bzw. anderweitig konservierte Fleischerzeugnisse

Sowohl die hitzebehandelten Fleischerzeugnisse als auch die anderweitig konservierten Fleischerzeugnisse werden ohne weitere Verarbeitung vom Verbraucher verzehrt. Input ist die *Salmonella*-positive Menge des jeweiligen Produktes. Unter Verwendung des eingehenden Parameters der durchschnittlichen Portionsgröße für das jeweilige Produkt ( $PG_x$ ) kann der Zwischen-Output der *Salmonella*-positiven Anzahl der später verzehrten Portionen nach der folgenden Formel (44) ermittelt werden ( $PA_x$ ). Die Portionsgrößen werden dabei sowohl für die Produktklasse hitzebehandelte Fleischerzeugnisse als auch für die Produktklasse anderweitig konservierte Fleischerzeugnisse in Anlehnung an die Werte aus der QRMA der EFSA (2010) mit  $PG_x = 0,150$  kg angenommen. Dieser Wert wurde anhand von Daten aus Schweden erhoben (Anonymus, 2009). In der Tabelle 25 werden die notwendigen Parameter zusammenfassend dargestellt.



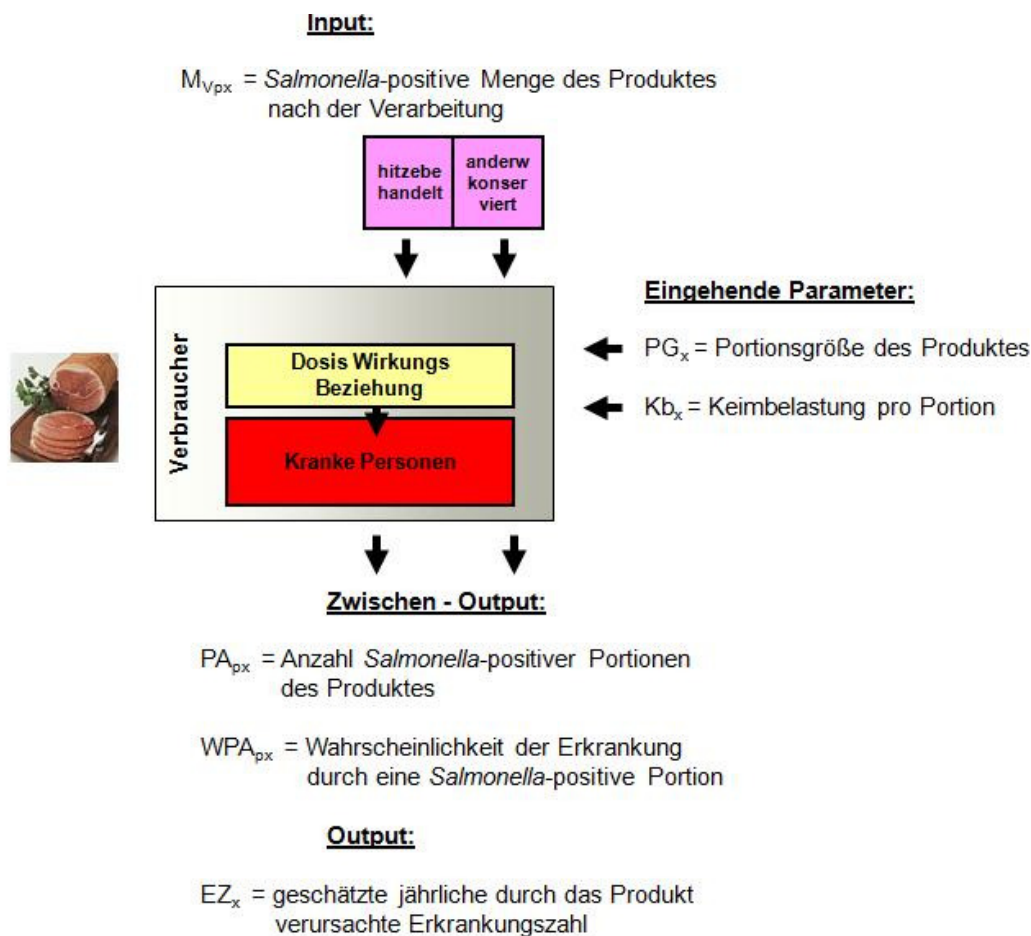
$$(44) \quad PA_x = \frac{M_{V_{px}}}{PG_x}$$

Tabelle 25: Parameter in Bezug auf hitzebehandelte bzw. anderweitig konservierte Fleischerzeugnisse

Art	Bezeichnung	Einheit	Beschreibung	Quellen
Input	$M_{V_{px}}$	kg	<i>Salmonella</i> -positive Menge des Produktes	
eingehend	$PG_x$	kg	Portionsgröße für das Produkt	EFSA (2010)
eingehend	$Kb_x$	cfu	Keimbelastung pro Portion	EFSA (2010)
Zwischen-Output	$WPA_{px}$	%	Wahrscheinlichkeit der Erkrankung durch eine <i>Salmonella</i> -positive Portion	
Zwischen-Output	$PA_{px}$	Anzahl	Anzahl <i>Salmonella</i> -positive Portionen	
Output	$EZ_x$	Anzahl	geschätzte jährliche Erkrankungszahl	

Quelle: Eigene Darstellung

Analog zu den vorangegangenen Ausführungen erfolgt die Verwendung des Dosis-Wirkungs-Modells der FAO/WHO (2002). Dabei wird in Anlehnung an die QRMA der EFSA sowohl für die Produktklasse hitzebehandelte Fleischerzeugnisse als auch für die Produktklasse anderweitig konservierte Fleischerzeugnisse eine Keimbelastung von  $Kb_x = 0,66$  cfu je Portion angenommen (EFSA, 2010). Hieraus ergibt sich analog zur Berechnung in Abschnitt 6.6.1. der Zwischen-Output „Wahrscheinlichkeit der Erkrankung durch eine *Salmonella*-positive Portion“ (siehe Abbildung 69, Tabelle 25).



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 69: Berechnung des Outputs – Geschätzte jährliche verursachte Erkrankungszahl durch hitzebehandelte bzw. anderweitig konservierte Produkte

Die Wahrscheinlichkeit der Erkrankung durch eine *Salmonella*-positive Portion ergibt sich ebenfalls analog zur Berechnung in Abschnitt 6.6.1. Output ist jeweils die geschätzte jährliche Erkrankungszahl durch die beiden Produkte.

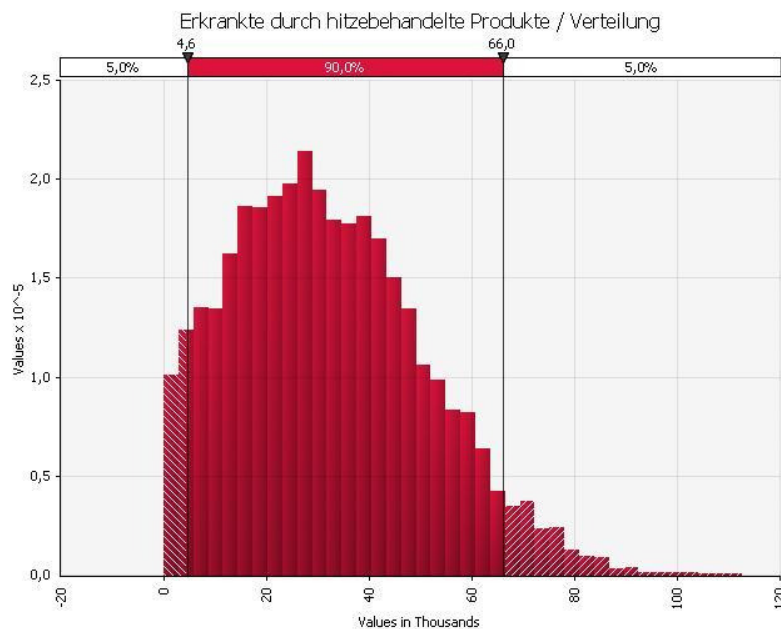
Zur Veranschaulichung der Berechnung der geschätzten jährlichen Erkrankungszahl, verursacht durch hitzebehandelte Fleischerzeugnisse, zeigt die Abbildung 70 einen Ausschnitt des Modells in @Risk:

hitzebehandelte Fleischerzeugnisse				
	2007	Parameter	Wert	Verteilung
Portionsgröße in kg		$PG_{hiF}$	0,15	
Anzahl <i>Salmonella</i> positive Portionen		$PA_{phiF}$		$M_{VphiF} * PG_{hiF}$
log cfu / Portion		$Kb_{hiF}$	0,06	
DOSIS pro Portion		$DOSIS_{hiF}$	$10^{*}Kb_{hiF}$	
<i>Dosis Wirkungs Zusammenhang Wahrscheinlichkeit der Erkrankung durch eine Salmonella positive Portion</i>		$WPA_{phiF}$		$1 - (1 + (DOSIS_{hiF} / 51,45))^{-0,1324}$
geschätzte jährliche Erkrankungszahl		$EZ_{hiF}$		$RiskPoisson(PA_{phiF} * WPA_{phiF})$

Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 70: Geschätzte Erkrankungszahl 2007 durch die Produktklasse hitzebehandelte Fleischerzeugnisse**

Output ist die  $EZ_{hiF}$  „geschätzte jährliche durch das Produkt hitzebehandelte Fleischerzeugnisse verursachte Erkrankungszahl“. Abbildung 71 zeigt die Anzahl der Erkrankten, verursacht durch die Produktklasse „hitzebehandelte Fleischerzeugnisse“, welche mithilfe des Programms @Risk generiert wurde. Im Mittel erkrankten geschätzte 23.911 Menschen infolge des Verzehrs von hitzebehandelten Fleischerzeugnissen.



Quelle: @Risk-Output – Erkrankte durch hitzebehandelte Produkte/Verteilung

**Abbildung 71: Geschätzte Erkrankungszahl 2007 durch die Produktklasse hitzebehandelte Fleischerzeugnisse**

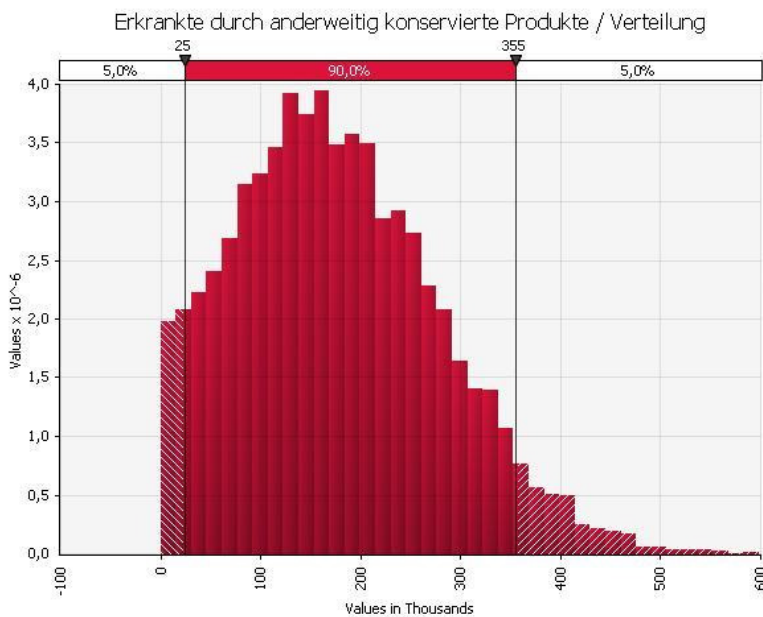
Zur Veranschaulichung der Berechnung der geschätzten jährlichen Erkrankungszahl, verursacht durch anderweitig konservierte Fleischerzeugnisse, zeigt die Abbildung 72 einen Ausschnitt des Modells in @Risk:

anderweitig konservierte Fleischerzeugnisse			
2007	Parameter	Wert	Verteilung
Portionsgröße in kg Anzahl <i>Salmonella</i> positive Portionen	$PG_{awkF}$ $PA_{pawkF}$	0,15	$M_{VpawkF} * PG_{awkF}$
log cfu / Portion DOSIS pro Portion <i>Dosis Wirkungs Zusammenhang Wahrscheinlichkeit der Erkrankung durch eine Salmonella positive Portion</i>	$Kb_{awkF}$ $DOSIS_{awkF}$ $WPA_{pawkF}$	0,06 $10 * Kb_{awkF}$	$1 - (1 + (DOSIS_{awkF} / 51,45))^{\wedge} -0,1324$
geschätzte jährliche Erkrankungszahl	$EZ_{awkF}$		$RiskPoisson(PA_{pawkF} * WPA_{pawkF})$

Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 72: Geschätzte Erkrankungszahl 2007 durch anderweitig konservierte Fleischerzeugnisse**

Output ist die  $EZ_{awkF}$  „geschätzte jährliche durch das Produkt anderweitig konservierte Fleischerzeugnisse verursachte Erkrankungszahl“. Abbildung 73 zeigt die Anzahl der Erkrankten, verursacht durch die Produktklasse „anderweitig konservierte Fleischerzeugnisse“, welche mithilfe des Programms @Risk generiert wurde. Im Mittel erkrankten geschätzte 130.909 Menschen infolge des Verzehrs von anderweitig konservierten Fleischerzeugnissen.



Quelle: @Risk-Output – Erkrankte durch anderweitig konservierte Produkte/Verteilung

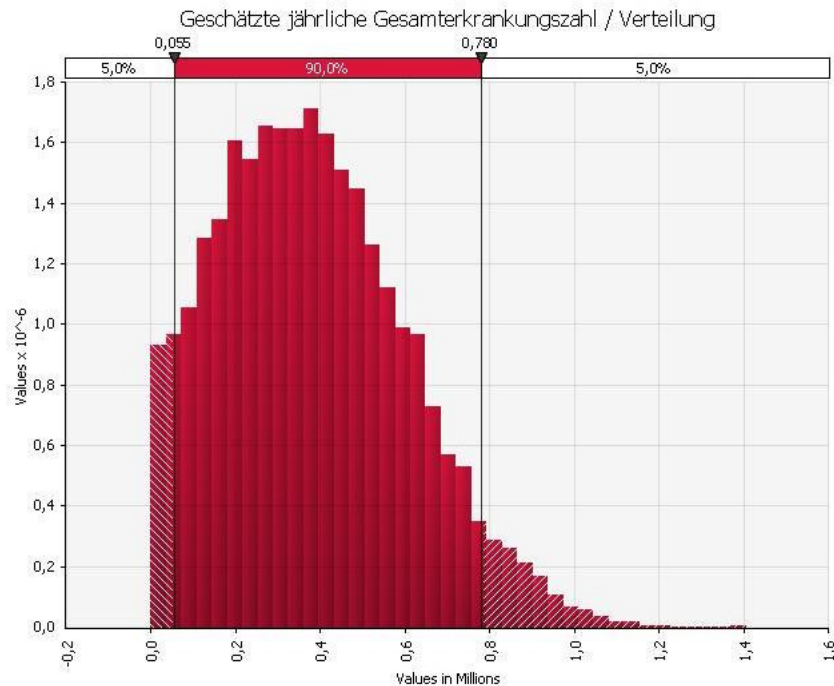
**Abbildung 73: Geschätzte Erkrankungszahl 2007 durch anderweitig konservierte Fleischerzeugnisse**



## 6.7 Output des Modells

### 6.7.1 Erkrankungszahlen

Werden die geschätzten jährlichen Erkrankungszahlen, welche durch die verschiedenen Produktklassen verursacht werden, addiert, so ergibt sich durch das Modell eine geschätzte Gesamterkrankungszahl von 327.484 Salmonellose-Fällen für das Jahr 2007 (siehe Abbildung 74).



Quelle: @Risk-Output – Geschätzte jährliche Gesamterkrankungszahl/Verteilung

**Abbildung 74: Geschätzte jährliche Gesamterkrankungszahl**

Zur Veranschaulichung der Berechnung der geschätzten jährlichen Gesamterkrankungszahl wird hier ein Ausschnitt aus dem Modell dargestellt:

	2007	Parameter	Wert	Verteilung
geschätzte jährliche Gesamterkrankungszahl		$EZ_{ges}$		$EZ_F + EZ_{HF} + EZ_{nif} + EZ_{avkf}$

Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 75: Berechnung der geschätzten jährlichen Gesamterkrankungszahl**

### 6.7.2 Todesfälle

Außerdem ergeben sich insgesamt 13 Todesfälle für das Jahr 2007. Die Berechnung der Todesfälle erfolgt in Anlehnung an das im Abschnitt 5.2.1 vorgestellte Modell von Miller et al. (2004). Es wird die jährliche ermittelte Gesamterkrankungszahl um den bereits in Abschnitt 2.4.4 erwähnten Multiplikator  $M = 12$  modifiziert sowie mit einer Pert-Verteilung „Todesfälle der low risk group“ ( $TF_{lowRisk}$ ) und mit einer Pert-Verteilung „Todesfälle der high risk group“ ( $TF_{highRisk}$ ) multipliziert. Daraus ergeben sich die geschätzten Anzahlen der Todesfälle für die low bzw. high risk group. Es wird angenommen, dass 80 % der Bevölkerung der low risk group und 20 % der Bevölkerung der high risk group angehören. Durch Addition der Todesfälle der beiden Risikogruppen ergibt sich die  $TF_{ges}$  „Anzahl der Gesamttodesfälle“:

$$(45) \quad TF_{\text{ges}} = TF_{\text{highRisk}} \times \frac{EZ_{\text{ges}}}{M} \times 0,2 + TF_{\text{lowRisk}} \times \frac{EZ_{\text{ges}}}{M} \times 0,8$$

Zur Veranschaulichung der Berechnung der geschätzten jährlichen Anzahl der Todesfälle Gesamt zeigt die Abbildung 76 einen Ausschnitt aus dem Modell:

	2007	Parameter	Wert	Verteilung
geschätzte jährliche Gesamterkrankungszahl		$EZ_{\text{ges}}$		$EZ_{\text{F}} + EZ_{\text{HF}} + EZ_{\text{HIF}} + EZ_{\text{awKF}}$
Multiplikator geschätzte gemeldete Erkrankungen (Multiplikator $M = 12$ )		$M$	12	$EZ_{\text{ges}}/M$
Verteilung Todesfälle low Risk - 80% der Bevölkerung		$TF_{\text{lowRisk}}$		$\text{RiskPert}(0,000127;0,000254;0,000553)$
Verteilung Todesfälle high Risk Group - 20% der Bevölkerung		$TF_{\text{highRisk}}$		$\text{RiskPert}(0,000248;0,000783;0,00387)$
Anzahl der Todesfälle Gesamt		$TF_{\text{ges}}$		$TF_{\text{highrisk}} * EZ_{\text{ges}}/M * 0,2 + TF_{\text{lowrisk}} * EZ_{\text{ges}}/M * 0,8$

Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 76: Berechnung der geschätzten jährlichen Anzahl der Todesfälle Gesamt**

## 7 Ergebnisse und Diskussion des Modells – ökonomische Bewertung

In diesem abschließenden siebten Kapitel erfolgen eine kurze Diskussion der Ergebnisse des Modells sowie eine erste Anwendung des Modells anhand von Beispielszenarien. Im Abschnitt 7.1 wird zunächst der Output des Ausgangsszenarios in Form der Erkrankungszahlen, Todesfälle sowie DALYs diskutiert. Der Abschnitt 7.2 beschäftigt sich mit den beiden Beispielszenarien „Impfen der Schweine“ und „Testen der Läufer“. Zunächst wird dabei der Output für das Beispielszenario in Form der Erkrankungszahlen und Todesfälle dargestellt. Anschließend werden die Kosten sowie der Nutzen der Maßnahme errechnet. Der Nutzen der Maßnahme wird dabei in Form der im Vergleich zum Ausgangsszenario verhinderten DALYs angegeben. Im Abschnitt 7.3 erfolgt ein Ranking der Szenarien.

### 7.1 Ausgangsszenario

#### 7.1.1 Output des Modells

Wie bereits im vorangegangenen Abschnitt 6.7 erläutert, wird die durch das Modell errechnete jährliche Gesamterkrankungszahl für das Jahr 2007 auf 327.484 Salmonellose-Fälle geschätzt. Im Abschnitt 2.4.4 wurde die Problematik einer hohen Dunkelziffer bereits erwähnt. Für Deutschland wurde nach Krug/Rehm (1983) für das Jahr 1978 eine Dunkelziffer, die etwa das 12-Fache der gemeldeten Salmonellosen betrug, ermittelt, dies entspricht einem Multiplikator von  $M = 12$ . Unter Beachtung dieser Dunkelziffer würden 27.290 Fälle modellhaft an das RKI gemeldet werden.

Die tatsächlich an das RKI gemeldeten Salmonellosefälle betragen für das Jahr 2007 55.400 (siehe Abschnitt 2.4.4). Wie in Abschnitt 2.4.3 dargelegt, wird angenommen, dass etwa 20 % der gemeldeten Zahl von Salmonellosen durch Schweinefleischprodukte verursacht wurden (Steinbach/Hartung, 1999; Hellwig, 2003, Blaha, 2006). Bei Beachtung dieser Annahme sind für das Jahr 2007 von den 55.400 Gesamterkrankungsfällen tatsächlich lediglich 11.082 Salmonellen-Erkrankungen durch Schweinefleisch verursacht an das RKI gemeldet worden. Das Modell überschätzt demnach die tatsächlich gemeldeten Erkrankungsfälle um etwa den Faktor 2,5.

Bei den Todesfällen ergeben sich durch das Modell insgesamt 13 Todesfälle für das Jahr 2007, welche durch *Salmonella*-kontaminiertes Schweinefleisch verursacht wurden. Die Berechnung der Gesamttodesfälle wurde bereits im vorangegangenen Abschnitt 6.7.2 vorgestellt. Wie im Abschnitt 2.4.4 erläutert, wurden für das Jahr 2007 nach ICD-10 tatsächlich 76 Todesfälle bestätigt (Statistisches Bundesamt, 2008a). Unter Beachtung der Annahme, dass von diesen 76 gemeldeten Todesfällen etwa 20 % durch Schweinefleischprodukte verursacht wurden, ergibt sich eine Schätzung von 15 Todesfällen. Das Modell schätzt die Anzahl der Todesfälle recht gut. Es ist jedoch anzumerken, dass, wie im Abschnitt 2.4.4 erwähnt, die gemeldeten Todesfälle die tatsächlichen Todesfälle erheblich unterschätzen, da einmal gemeldete Erkrankungen nicht bis zum Ende der Erkrankung nachverfolgt werden (RKI, 2010).

#### 7.1.2 DALYs des Ausgangsszenarios

Unter Verwertung des Outputs des im Kapitel 6 entwickelten Modells sollen jetzt die DALYs als Outcome-Maß verwendet werden. Im Abschnitt 4.4.1 wurde die Berechnung der DALYs vorgestellt, und in den Abschnitten 4.4.2 und 4.4.3 wurde auf die zur Berechnung der YLLs bzw. YLDs notwendige Datengrundlage eingegangen. Die grundlegende Formel (1) sei wiederholt:

(1)  $DALY = YLL + YLD$

YLL Years of Life Lost: durch vorzeitigen Tod verlorene Lebensjahre  
 YLD Years lived with Disability: mit Behinderung gelebte Lebensjahre

Als Grundlage zur Berechnung der YLLs dient der Output „geschätzte Anzahl der Gesamttodesfälle“ aus dem Modell. Formel (2) aus Abschnitt 4.4.1. zur Berechnung der YLLs besagt:

(2)  $YLL = \sum_i d_i \times e_i$  d<sub>i</sub> Anzahl der Todesfälle  
e<sub>i</sub> Verbliebene Lebenserwartung im Sterbealter (in Jahren)

Durch die Verwendung der in der Tabelle 10 des Abschnittes 4.4.2 aufgelisteten Verteilung der Gesamttodesfälle auf die drei Todesursachenkategorien (Salmonellenenteritis, Salmonellensepsis und Salmonelleninfektion, nicht näher bezeichnet) kann die d<sub>i</sub> „Anzahl der Todesfälle durch eine Krankheitsfolge“ berechnet werden (Input in Formel [2]). Die e<sub>i</sub> „verbliebene Lebenserwartung im Sterbealter (in Jahren)“ wird anhand den Daten der Todesursachenstatistik (Statistisches Bundesamt, 2008a) sowie der Sterbetafel für Deutschland (Statistisches Bundesamt, 2009) berechnet (Input in Formel [2]).

Zur Veranschaulichung der Berechnung der YLLs zeigt die folgende Abbildung 77 einen Ausschnitt aus dem Modell in @Risk:

<b>geschätzte Anzahl der</b> 13		13		<b>davon geschätzte Todesfälle</b>		4		<b>davon geschätzte Todesfälle</b>		3	
<b>davon geschätzte Todesfälle durch Salmonellenenteritis</b> 6				<b>davon geschätzte Todesfälle durch Salmonellensepsis</b> 4				<b>davon geschätzte Todesfälle durch Salmonelleninfektionen</b> 3			
Anteil Männer 70-75 Jahre in %	0,067	Anteil Männer 60-70 Jahre in %	0,250	Anteil Männer 55-70 Jahre in %	0,375	Anteil Männer 70-75 Jahre in %	0,111	Anteil Frauen 35-40 Jahre in %	0,048	Anteil Frauen 65-80 Jahre in %	0,273
Anzahl Männer 70-75 Jahre	0,403	Anzahl Männer 60-70 Jahre	0,964	Anzahl Männer 55-70 Jahre	1,072	Anzahl Frauen 35-40 Jahre	0,318	Anzahl Frauen 65-80 Jahre	1,051	Anzahl Frauen 70-75 Jahre	0,318
restliche Lebenserwartung in Jahren	12,220	restliche Lebenserwartung in Jahren	17,520	restliche Lebenserwartung in Jahren	19,470	restliche Lebenserwartung in Jahren	14,670	restliche Lebenserwartung in Jahren	46,120	restliche Lebenserwartung in Jahren	14,790
<b>YLL</b>	<b>4,930</b>	<b>YLL</b>	<b>16,887</b>	<b>YLL</b>	<b>20,879</b>	<b>YLL</b>	<b>4,661</b>	<b>YLL</b>	<b>13,290</b>	<b>YLL</b>	<b>15,552</b>
Anteil Männer 75-85 Jahre in %	0,533	Anteil Männer 70-85 Jahre in %	0,667	Anteil Männer 70-80 Jahre in %	0,500	Anteil Frauen 70-80 Jahre in %	0,778	Anteil Frauen 70-80 Jahre in %	0,143	Anteil Frauen 80-85 Jahre in %	0,545
Anzahl Männer 75-85 Jahre	3,227	Anzahl Männer 70-85 Jahre	2,570	Anzahl Männer 70-80 Jahre	1,430	Anzahl Frauen 70-80 Jahre	2,224	Anzahl Frauen 80-85 Jahre	0,864	Anzahl Frauen 80-85 Jahre	2,103
restliche Lebenserwartung in Jahren	7,980	restliche Lebenserwartung in Jahren	9,390	restliche Lebenserwartung in Jahren	10,720	restliche Lebenserwartung in Jahren	6,560	restliche Lebenserwartung in Jahren	12,820	restliche Lebenserwartung in Jahren	7,800
<b>YLL</b>	<b>25,754</b>	<b>YLL</b>	<b>24,135</b>	<b>YLL</b>	<b>15,328</b>	<b>YLL</b>	<b>14,591</b>	<b>YLL</b>	<b>11,082</b>	<b>YLL</b>	<b>16,403</b>
Anteil Männer über 85 Jahre in %	0,400	Anteil Männer über 85 Jahre in %	0,083	Anteil Männer 85-90 Jahre in %	0,125	Anteil Frauen über 80 Jahre in %	0,810	Anteil Frauen über 90 Jahre in %	0,182	Anteil Frauen über 90 Jahre in %	0,701
Anzahl Männer über 85 Jahre	2,421	Anzahl Männer über 85 Jahre	0,321	Anzahl Männer 85-90 Jahre	0,357	Anzahl Frauen über 80 Jahre	4,680	Anzahl Frauen über 90 Jahre	0,701	Anzahl Frauen über 90 Jahre	2,370
restliche Lebenserwartung in Jahren	3,410	restliche Lebenserwartung in Jahren	3,410	restliche Lebenserwartung in Jahren	4,790	restliche Lebenserwartung in Jahren	2,970	restliche Lebenserwartung in Jahren	4,680	restliche Lebenserwartung in Jahren	2,970
<b>YLL</b>	<b>8,254</b>	<b>YLL</b>	<b>1,096</b>	<b>YLL</b>	<b>1,712</b>	<b>YLL</b>	<b>22,926</b>	<b>YLL</b>	<b>2,082</b>	<b>YLL</b>	<b>2,082</b>
<b>YLL GESAMT Männer</b>	<b>38,938</b>	<b>YLL GESAMT Männer</b>	<b>42,118</b>	<b>YLL GESAMT Männer</b>	<b>37,919</b>	<b>YLL GESAMT Frauen</b>	<b>47,298</b>	<b>YLL GESAMT Frauen</b>	<b>34,037</b>	<b>YLL GESAMT Frauen</b>	<b>20,196</b>
Anteil Frauen 35-40 Jahre in %	0,048	Anteil Frauen 65-80 Jahre in %	0,273	Anteil Frauen 70-75 Jahre in %	0,111	Anteil Frauen 80-90 Jahre in %	0,778	Anteil Frauen 80-90 Jahre in %	0,143	Anteil Frauen über 90 Jahre in %	0,111
Anzahl Frauen 35-40 Jahre	0,288	Anzahl Frauen 65-80 Jahre	1,051	Anzahl Frauen 70-75 Jahre	0,318	Anzahl Frauen 80-90 Jahre	2,224	Anzahl Frauen über 90 Jahre	0,864	Anzahl Frauen über 90 Jahre	0,318
restliche Lebenserwartung in Jahren	46,120	restliche Lebenserwartung in Jahren	14,790	restliche Lebenserwartung in Jahren	14,670	restliche Lebenserwartung in Jahren	6,560	restliche Lebenserwartung in Jahren	12,820	restliche Lebenserwartung in Jahren	2,970
<b>YLL</b>	<b>13,290</b>	<b>YLL</b>	<b>15,552</b>	<b>YLL</b>	<b>4,661</b>	<b>YLL</b>	<b>14,591</b>	<b>YLL</b>	<b>11,082</b>	<b>YLL</b>	<b>0,944</b>
Anteil Frauen 70-80 Jahre in %	0,143	Anteil Frauen 80-85 Jahre in %	0,545	Anteil Frauen 80-90 Jahre in %	0,778	Anteil Frauen über 90 Jahre in %	0,111	Anteil Frauen über 90 Jahre in %	0,143	Anteil Frauen über 90 Jahre in %	0,111
Anzahl Frauen 70-80 Jahre	0,864	Anzahl Frauen 80-85 Jahre	2,103	Anzahl Frauen 80-90 Jahre	2,224	Anzahl Frauen über 90 Jahre	0,318	Anzahl Frauen über 90 Jahre	0,864	Anzahl Frauen über 90 Jahre	0,318
restliche Lebenserwartung in Jahren	12,820	restliche Lebenserwartung in Jahren	7,800	restliche Lebenserwartung in Jahren	6,560	restliche Lebenserwartung in Jahren	2,970	restliche Lebenserwartung in Jahren	4,680	restliche Lebenserwartung in Jahren	2,970
<b>YLL</b>	<b>11,082</b>	<b>YLL</b>	<b>16,403</b>	<b>YLL</b>	<b>14,591</b>	<b>YLL</b>	<b>22,926</b>	<b>YLL</b>	<b>11,082</b>	<b>YLL</b>	<b>0,944</b>
Anteil Frauen über 80 Jahre in %	0,810	Anteil Frauen über 90 Jahre in %	0,182	Anteil Frauen über 90 Jahre in %	0,111	Anteil Frauen über 90 Jahre in %	0,111	Anteil Frauen über 90 Jahre in %	0,810	Anteil Frauen über 90 Jahre in %	0,111
Anzahl Frauen über 80 Jahre	4,680	Anzahl Frauen über 90 Jahre	0,701	Anzahl Frauen über 90 Jahre	0,318	Anzahl Frauen über 90 Jahre	0,318	Anzahl Frauen über 90 Jahre	4,680	Anzahl Frauen über 90 Jahre	0,318
restliche Lebenserwartung in Jahren	4,680	restliche Lebenserwartung in Jahren	2,970	restliche Lebenserwartung in Jahren	2,970	restliche Lebenserwartung in Jahren	2,970	restliche Lebenserwartung in Jahren	4,680	restliche Lebenserwartung in Jahren	2,970
<b>YLL</b>	<b>22,926</b>	<b>YLL</b>	<b>2,082</b>	<b>YLL</b>	<b>0,944</b>	<b>YLL</b>	<b>22,926</b>	<b>YLL</b>	<b>22,926</b>	<b>YLL</b>	<b>0,944</b>
<b>YLL GESAMT Frauen</b>	<b>47,298</b>	<b>YLL GESAMT Frauen</b>	<b>34,037</b>	<b>YLL GESAMT Frauen</b>	<b>20,196</b>	<b>YLL GESAMT Frauen</b>	<b>47,298</b>	<b>YLL GESAMT Frauen</b>	<b>47,298</b>	<b>YLL GESAMT Frauen</b>	<b>20,196</b>
<b>YLL GESAMT = Anzahl der Todesfälle * verbliebene Lebenserwartung im Sterbealter in Jahren</b>	<b>86,236</b>	<b>YLL GESAMT = Anzahl der Todesfälle * verbliebene Lebenserwartung im Sterbealter in Jahren</b>	<b>76,154</b>	<b>YLL GESAMT = Anzahl der Todesfälle * verbliebene Lebenserwartung im Sterbealter in Jahren</b>	<b>58,115</b>	<b>YLL GESAMT = Anzahl der Todesfälle * verbliebene Lebenserwartung im Sterbealter in Jahren</b>	<b>86,236</b>	<b>YLL GESAMT = Anzahl der Todesfälle * verbliebene Lebenserwartung im Sterbealter in Jahren</b>	<b>86,236</b>	<b>YLL GESAMT = Anzahl der Todesfälle * verbliebene Lebenserwartung im Sterbealter in Jahren</b>	<b>58,115</b>
<b>YLL GESAMT Wichtung Tod = 1</b> 220,505											

Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 77: Berechnung der Years of Life Lost

Die YLLs der verschiedenen drei Todesursachenkategorien werden in der Tabelle 26 aufgeführt. Insgesamt ergeben sich für das Ausgangsszenario 220,51 YLLs.

Tabelle 26: DALYs nach Todesursachen und Geschlecht

ICD-10	Todesursache	YLL	YLL	YLL
		Männer	Frauen	Gesamt
A020	Salmonellenenteritis	38,94	47,3	86,24
A021	Salmonellensepsis	42,12	34,04	76,15
A029	Salmonelleninfektion, nicht näher bezeichnet	37,92	20,2	58,12
Gesamt				220,51

Quelle: Eigene Darstellung

Formel (3) aus Abschnitt 4.4.1 zur Berechnung der YLDs lautet:

$$(3) \quad YLD = \sum_l n_l \times t_l \times w_l$$

$n_l$  Anzahl der Fälle  
 $t_l$  Durchschnittliche Dauer der Behinderung bis zur Heilung oder bis zum Tod (in Jahren)  
 $w_l$  Schwere der Behinderung (Wichtungsfaktor)

YLD bezeichnet die Anzahl der Jahre, die man mit der Erkrankung oder Behinderung lebt, gewichtet mit einem Faktor zwischen 0 und 1, um die Schwere der Behinderung zu berücksichtigen (Tod als Krankheitsfolge mit dem höchsten Schweregrad entspricht dem Faktor 1). Dabei wird die Summe über alle Fälle ( $n$ ) und alle Krankheitsfolgen ( $l$ ) des Produkts von Dauer der Erkrankung ( $t$ ) und Schweregrad ( $w$ ) einer bestimmten Erkrankung gebildet.

Als Grundlage zur Berechnung der YLDs dient der Output „geschätzte jährliche Gesamterkrankungszahl“ aus dem Modell. Anhand des in Abschnitt 4.4.3 sogenannten Outcome-Trees für *Salmonella* (siehe Abbildung 23) können die möglichen Krankheitsfolgen, welche aus einer Infektion mit Salmonellen entstammen können, bestimmt werden. Infolge einer Salmonelleninfektion erkranken zunächst alle Personen an einer akuten Gastroenteritis. Wie bereits erwähnt, werden hierbei drei Schweregrade unterschieden. Es wird angenommen, dass 90 % der infizierten Personen keinen Arzt aufsuchen. Lediglich 9 % suchen einen Arzt auf, außerdem muss etwa 1 % der infizierten Personen im Krankenhaus behandelt werden.

Nach der akuten Gastroenteritis können Folgekrankheiten oder Spätkomplikationen, wie etwa ReA oder IBD, auftreten. Auch bei der ReA wird davon ausgegangen, dass 1 % das Krankenhaus, 9 % einen Arzt und 90 % keinen Arzt aufsuchen. Beim IBD wird davon ausgegangen, dass die betroffenen Personen zu 100 % lediglich den Arzt aufsuchen. Pro Jahr sind 0,02 % der zuvor an einer akuten Gastroenteritis erkrankten Personen von der ReA betroffen. An IBD erkranken lediglich 0,0003 % der zuvor akut an einer Gastroenteritis erkrankten Personen (siehe Abschnitt 2.4.1.2). Hieraus ergeben sich die in Formel (3) eingehende „Anzahlen der Fälle bezüglich der verschiedenen Krankheitsfolgen“ =  $n_l$ .

Zur Darstellung der „Schwere der Behinderung“ =  $w_l$  in Bezug auf die verschiedenen Krankheitsfolgen werden die in einer Panel-Studie für die niederländische Bevölkerung ermittelten Wichtungsfaktoren verwendet (Haagsma et al., 2008). Bei der akuten Gastroenteritis sowie der ReA werden für die drei Schweregrade verschiedene Wichtungsfaktoren verwendet (siehe Tabelle 27).

Für die ebenfalls in Formel (3) eingehende „durchschnittliche Dauer der Behinderung bis zur Heilung oder bis zum Tod (in Jahren)“ =  $t_l$  wird die durchschnittliche Dauer der akuten Erkrankung oder der Folgeerkrankung verwendet. Die durchschnittliche Dauer ist in den Wichtungsfaktoren in Anlehnung an Haagsma et al. (2008) bereits enthalten (siehe Tabelle 27).

Tabelle 27: Wichtungsfaktoren (Disability weights) nach Krankheiten

	Disability weight	Dauer der Erkrankung
Tod	1,00	
Gastroenteritis		
• kein Arztbesuch	0	1–5 Tage
• mit Arztbesuch	0,015	10 Tage
• Krankenhaus	0,041	14 Tage
IBD	0,13	k. A.
Reactive Arthritis		
• kein Arztbesuch	0,023	6 Wochen
• mit Arztbesuch	0,115	6 Monate
• Krankenhaus	0,186	6 Monate

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Haagsma et al. (2008)

Zur Veranschaulichung der Berechnung der YLLs zeigt die folgende Abbildung 78 einen Ausschnitt aus dem Modell in @Risk.

geschätzte jährliche Gesamterkrankungszahl		327484			
		kein Arztbesuch	Arztbesuch	Krankenhaus	Summe
Anteil an GE erkrankt		90%	9%	1%	
Fälle pro Jahr		294735,6	29473,56	3274,84	327484
Wichtungsfaktor (Schwere der Behinderung)		0	0,015	0,041	
<b>YLD = jährliche Erkrankungszahl * Wichtungsfaktor * Durchschnittliche Dauer der Behinderung in Jahren</b>		0	<b>442,103</b>	<b>134,268</b>	<b>576,372</b>
		kein Arztbesuch	Arztbesuch	Krankenhaus	Summe
Anteil an ReA erkrankt		90%	9%	1%	
Fälle pro Jahr		5894,712	589,4712	65,4968	6549,68
Wichtungsfaktor (Schwere der Behinderung)		0,023	0,115	0,186	
<b>YLD = jährliche Erkrankungszahl * Wichtungsfaktor * Durchschnittliche Dauer der Behinderung in Jahren</b>		<b>135,57838</b>	<b>67,7892</b>	<b>12,1824</b>	<b>215,55</b>
		kein Arztbesuch	Arztbesuch	Krankenhaus	Summe
Anteil an IBD erkrankt			100%		
Fälle pro Jahr			98,2452		98,2452
Wichtungsfaktor (Schwere der Behinderung)			0,13		
<b>YLD = jährliche Erkrankungszahl * Wichtungsfaktor * Durchschnittliche Dauer der Behinderung in Jahren</b>		0	<b>12,7719</b>	0	<b>12,7719</b>
<b>SUMME YLD</b>		135,578376	<b>522,664</b>	<b>146,451</b>	<b>804,694</b>
<b>DALY = YLD + YLL</b>		<b>1025,199</b>			

Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 78: Berechnung der Years lived with Disability

Insgesamt ergeben sich bei Beachtung aller möglichen Krankheitsfolgen 804,69 YLDs.

Bezugnehmend auf die Formel (1) addieren sich die YLLs und YLDs für das Ausgangsszenario zu insgesamt 1025,2 DALYs.

## 7.2 Beispielszenarien

Um zu verdeutlichen, wie die Anwendung des Modells zur Durchführung einer gesundheitsökonomischen Analyse verschiedener bereits im Betrieb eingesetzter Maßnahmen möglich ist, sollen in diesem Abschnitt die beiden Beispielszenarien „Impfen der Schweine“ und „Testen der Läufer“ modelliert werden. Für die beiden Szenarien werden jeweils der Output des Modells, die errechneten DALYs sowie die Kosten und der Nutzen der Maßnahme angegeben. Als Beispielszenarien wurden jene Szenarien gewählt, für die bereits im Kapitel 3.4 die Wirkungsgrade zur Senkung der Prävalenz im Betrieb angegeben werden und die Kosten relativ einfach zu ermitteln sind. Wenn für weitere Maßnahmen alle notwendigen Daten verfügbar sind, können auch weitere Maßnahmen in Form von Szenarien modelliert und in einem Ranking verglichen werden.

### 7.2.1 Szenario Impfen der Schweine – Output des Modells

Durch das Impfen der Schweine kann nach Kolb et al. (2003), wie in Abschnitt 3.4.2.3 erwähnt, der Wirkungsgrad zur Senkung der Prävalenz im Betrieb auf Werte von 50 bis 70 % geschätzt werden. Zur Modellierung dieses Szenarios wird die  $P_B$  „Prävalenz im Betrieb“, welche als erster eingehender Parameter in das Modell einfließt, durch einfache Multiplikation um 50 %, 60 % und 70 % gesenkt und in das Modell eingesetzt. Das Einsetzen der reduzierten Ausgangsprävalenzen liefert folgende Output-Werte bezüglich der Gesamterkrankungszahlen und Todesfälle (siehe Tabelle 28).

**Tabelle 28: Durch das Modell errechnete Gesamterkrankungszahlen und Todesfälle bei reduzierter Prävalenz im Betrieb**

	Prävalenz im Betrieb	Output Gesamterkrankungszahl	Output Todesfälle
Ausgangsszenario	RiskBeta (93+1;1960–93+1)	327.484	13
Senkung um 50 %	RiskBeta (93+1;1960–93+1)*0,5	181.966	7
Senkung um 60 %	RiskBeta (93+1;1960–93+1)*0,4	152.862	6
Senkung um 70 %	RiskBeta (93+1;1960–93+1)*0,3	123.758	5

Quelle: Eigene Darstellung

### 7.2.2 Szenario Testen der Läufer – Output des Modells

Nach Berends et al. (1996) wurde der Salmonelleneintrag über neu eingestellte Läufer auf ca. 1 bis 10 % aller Infektionen, die während der Mast auftreten, geschätzt. Demnach wird angenommen, dass durch das Testen der Schweine und Auswahl zum Einstellen nur jener Läufer, welche *Salmonella*-negativ getestet wurden, ein Wirkungsgrad zur Senkung der Prävalenz im Betrieb zwischen 1 % und 10 % möglich ist. Auch hier wird für die Modellierung dieses Szenarios die  $P_B$  „Prävalenz im Betrieb“, welche als erster eingehender Parameter in das Modell einfließt, durch einfache Multiplikation um 1 % und 10 % gesenkt. Beim Einsetzen einer um 1 % bis 10 % reduzierten Ausgangsprävalenz in das Modell liefert das Modell folgende Output-Werte bezüglich der Gesamterkrankungszahlen und Todesfälle (siehe Tabelle 29):



**Tabelle 29: Durch das Modell errechnete Gesamterkrankungszahlen und Todesfälle bei reduzierter Prävalenz im Betrieb**

	Prävalenz im Betrieb	Gesamterkrankungszahl	Todesfälle
Ausgangsszenario	RiskBeta (93+1;1960-93+1)	327.484	13
Senkung um 1 %	RiskBeta (93+1;1960-93+1)*0,99	324.573	13
Senkung um 10 %	RiskBeta (93+1;1960-93+1)*0,90	298.380	12

Quelle: Eigene Darstellung

### 7.2.3 Szenario Impfen der Schweine – DALYs und Kosten-Nutzen-Verhältnis

Der Nutzen der Maßnahme wird in Form der DALY-Senkung im Vergleich zum Ausgangsszenario angegeben. Beim Ausgangsszenario wurden insgesamt 1025,2 DALYs errechnet. Das Modell liefert beim Einsetzen einer um 50 %, 60 % und 70 % reduzierten Ausgangsprävalenz im Betrieb die in der Tabelle 30 dargestellten DALYs sowie den Nutzen der Maßnahme, ausgedrückt in DALYs.

**Tabelle 30: Durch das Modell errechnete DALYs und Nutzen der Maßnahme „Impfen der Schweine“ in DALYs**

	DALYs	Nutzen der Maßnahme in verhinderten DALYs
Ausgangsszenario	1025,2	
Senkung um 50 %	569,65	455,55
Senkung um 60 %	478,54	546,66
Senkung um 70 %	387,43	637,77

Quelle: Eigene Darstellung

Zur Veranschaulichung der Berechnung der DALYs zeigt die folgende Abbildung einen Ausschnitt aus dem Modell in @Risk, bei dem die Berechnung der YLLs und YLDs beispielhaft für die Senkung der Ausgangsprävalenz um 70 % dargestellt wird (siehe Abbildung 80).

geschätzte Anzahl der		5	davon geschätzte Todesfälle durch Salmonellensepsis		1	davon geschätzte Todesfälle durch Salmonelleninfektionen		1
davon geschätzte Todesfälle durch Salmonellenenteritis		2						
Anteil Männer 70-75 Jahre in %	0,067		Anteil Männer 60-70 Jahre in %	0,250		Anteil Männer 55-70 Jahre in %	0,375	
Anzahl Männer 70-75 Jahre	0,152		Anzahl Männer 60-70 Jahre	0,364		Anzahl Männer 55-70 Jahre	0,405	
restliche Lebenserwartung in Jahren	12,220		restliche Lebenserwartung in Jahren	17,520		restliche Lebenserwartung in Jahren	19,470	
<b>YLL</b>	<b>1,863</b>		<b>YLL</b>	<b>6,382</b>		<b>YLL</b>	<b>7,890</b>	
Anteil Männer 75-85 Jahre in %	0,533		Anteil Männer 70-85 Jahre in %	0,667		Anteil Männer 70-80 Jahre in %	0,500	
Anzahl Männer 75-85 Jahre	1,220		Anzahl Männer 70-85 Jahre	0,971		Anzahl Männer 70-80 Jahre	0,540	
restliche Lebenserwartung in Jahren	7,980		restliche Lebenserwartung in Jahren	3,390		restliche Lebenserwartung in Jahren	10,720	
<b>YLL</b>	<b>9,733</b>		<b>YLL</b>	<b>3,121</b>		<b>YLL</b>	<b>5,792</b>	
Anteil Männer über 85 Jahre in %	0,400		Anteil Männer über 85 Jahre in %	0,083		Anteil Männer 85-90 Jahre in %	0,125	
Anzahl Männer über 85 Jahre	0,915		Anzahl Männer über 85 Jahre	0,121		Anzahl Männer 85-90 Jahre	0,135	
restliche Lebenserwartung in Jahren	3,410		restliche Lebenserwartung in Jahren	3,410		restliche Lebenserwartung in Jahren	4,790	
<b>YLL</b>	<b>3,119</b>		<b>YLL</b>	<b>0,414</b>		<b>YLL</b>	<b>0,647</b>	
<b>YLL GESAMT Männer</b>	<b>14,715</b>		<b>YLL GESAMT Männer</b>	<b>15,916</b>		<b>YLL GESAMT Männer</b>	<b>14,330</b>	
Anteil Frauen 35-40 Jahre in %	0,048		Anteil Frauen 65-80 Jahre in %	0,273		Anteil Frauen 70-75 Jahre in %	0,111	
Anzahl Frauen 35-40 Jahre	0,109		Anzahl Frauen 65-80 Jahre	0,397		Anzahl Frauen 70-75 Jahre	0,120	
restliche Lebenserwartung in Jahren	46,120		restliche Lebenserwartung in Jahren	14,790		restliche Lebenserwartung in Jahren	14,670	
<b>YLL</b>	<b>5,022</b>		<b>YLL</b>	<b>5,877</b>		<b>YLL</b>	<b>1,762</b>	
Anteil Frauen 70-80 Jahre in %	0,143		Anteil Frauen 80-85 Jahre in %	0,545		Anteil Frauen 80-90 Jahre in %	0,778	
Anzahl Frauen 70-80 Jahre	0,327		Anzahl Frauen 80-85 Jahre	0,795		Anzahl Frauen 80-90 Jahre	0,841	
restliche Lebenserwartung in Jahren	12,820		restliche Lebenserwartung in Jahren	7,800		restliche Lebenserwartung in Jahren	6,560	
<b>YLL</b>	<b>4,188</b>		<b>YLL</b>	<b>6,199</b>		<b>YLL</b>	<b>5,514</b>	
Anteil Frauen über 80 Jahre in %	0,810		Anteil Frauen über 90 Jahre in %	0,182		Anteil Frauen über 90 Jahre in %	0,111	
Anzahl Frauen über 80 Jahre	1,851		Anzahl Frauen über 90 Jahre	0,265		Anzahl Frauen über 90 Jahre	0,120	
restliche Lebenserwartung in Jahren	4,680		restliche Lebenserwartung in Jahren	2,970		restliche Lebenserwartung in Jahren	2,970	
<b>YLL</b>	<b>8,664</b>		<b>YLL</b>	<b>0,787</b>		<b>YLL</b>	<b>0,357</b>	
<b>YLL GESAMT Frauen</b>	<b>17,874</b>		<b>YLL GESAMT Frauen</b>	<b>12,863</b>		<b>YLL GESAMT Frauen</b>	<b>7,632</b>	
<b>YLL GESAMT = Anzahl der Todesfälle * verbliebene Lebenserwartung im Sterbealter in Jahren</b>	<b>32,589</b>		<b>YLL GESAMT = Anzahl der Todesfälle * verbliebene Lebenserwartung im Sterbealter in Jahren</b>	<b>28,779</b>		<b>YLL GESAMT = Anzahl der Todesfälle * verbliebene Lebenserwartung im Sterbealter in Jahren</b>	<b>21,962</b>	

**YLL GESAMT Wichtig Tod = 1** 83,330**Abbildung 79: Berechnung der DALYs – „Impfen der Schweine“**



geschätzte jährliche Gesamterkrankungszahl		123758			
	kein Arztbesuch	Arztbesuch	Krankenhaus	Summe	
Anteil an GE erkrankt	90%	9%	1%		
Fälle pro Jahr	111382,2	11138,22	1237,58	123758	
Wichtungsfaktor (Schwere der Behinderung)	0	0,015	0,041		
<b>YLD = jährliche Erkrankungszahl * Wichtungsfaktor * Durchschnittliche Dauer der Behinderung in Jahren</b>	<b>0</b>	<b>167,073</b>	<b>50,7408</b>	<b>217,814</b>	
	kein Arztbesuch	Arztbesuch	Krankenhaus	Summe	
Anteil an ReA erkrankt	90%	9%	1%		
Fälle pro Jahr	2227,644	222,7644	24,7516	2475,16	
Wichtungsfaktor (Schwere der Behinderung)	0,023	0,115	0,186		
<b>YLD = jährliche Erkrankungszahl * Wichtungsfaktor * Durchschnittliche Dauer der Behinderung in Jahren</b>	<b>51,235812</b>	<b>25,6179</b>	<b>4,6038</b>	<b>81,4575</b>	
	kein Arztbesuch	Arztbesuch	Krankenhaus	Summe	
Anteil an IBD erkrankt		100%			
Fälle pro Jahr		37,1274		37,1274	
Wichtungsfaktor (Schwere der Behinderung)		0,13			
<b>YLD = jährliche Erkrankungszahl * Wichtungsfaktor * Durchschnittliche Dauer der Behinderung in Jahren</b>	<b>0</b>	<b>4,82656</b>	<b>0</b>	<b>4,82656</b>	
<b>SUMME YLD</b>	<b>51,235812</b>	<b>197,518</b>	<b>55,3446</b>	<b>304,098</b>	
<b>DALY = YLD + YLL</b>		<b>387,428</b>			

Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 80: Berechnung der DALYs – „Impfen der Schweine“ (Fortsetzung)**

Für das Impfen eines Schweines werden nach Miller et al. (2004) 0,852 \$ je Schwein veranschlagt. Dies entspricht einem Preis von 0,69 € je geimpftes Schwein (Kurs: 1 \$ = 0,8363 €). Es wird angenommen, dass alle geschlachteten Schweine zu impfen sind. Bei einer Anzahl von 44.484.000 geschlachteten Schweinen ergeben sich durch die Maßnahme „Impfen der Schweine“ insgesamt Kosten in Höhe von 30.691.624,59 €.

Das Verhältnis von Kosten zu Nutzen beträgt bei einer angenommenen Senkung der Ausgangsprävalenz um 50 % 30.691.624,59 € zu 455,55 verhinderten DALYs im Vergleich zum Ausgangsszenario. Dies entspricht einem Betrag von 67.372 € je verhindertem DALY.

Bei einer angenommenen Senkung der Ausgangsprävalenz um 60 % beträgt das Verhältnis von Kosten zu Nutzen 30.691.624,59 € zu 546,66 verhinderten DALYs. Dies entspricht einem Betrag von 56.143 € je verhindertem DALY.

Und bei einer angenommenen Senkung der Ausgangsprävalenz um 70 % beträgt das Verhältnis von Kosten zu Nutzen 30.691.624,59 € zu 637,77 verhinderten DALYs. Dies entspricht einem Betrag von 48.123 € je verhindertem DALY.

#### 7.2.4 Szenario Testen der Läufer – DALYs und Kosten-Nutzen-Verhältnis

Der Nutzen der Maßnahme wird in Form der DALY-Senkung im Vergleich zum Ausgangsszenario angegeben. Beim Ausgangsszenario wurden insgesamt 1025,2 DALYs errechnet. Das Modell liefert beim Einsetzen einer um 1 % und 10 % reduzierten Ausgangsprävalenz im Betrieb die in der Tabelle 31 dargestellten DALYs sowie den Nutzen der Maßnahme ausgedrückt in DALYs.

**Tabelle 31: Durch das Modell errechnete DALYs und Nutzen der Maßnahme „Testen der Schweine“ in DALYs**

	DALYs	Nutzen der Maßnahme in DALYs
Ausgangsszenario	1025,2	
Senkung um 1 %	1016,09	9,11
Senkung um 10 %	934,09	91,11

Quelle: Eigene Darstellung

Zur Veranschaulichung der Berechnung der DALYs zeigt die folgende Abbildung einen Ausschnitt aus dem Modell in @Risk, bei dem die Berechnung der YLLs und YLDs beispielhaft für die Senkung der Ausgangsprävalenz um 10 % dargestellt wird (siehe Abbildung 82).

geschätzte Anzahl der		12	davon geschätzte Todesfälle durch Salmonellenrosepsis		4	davon geschätzte Todesfälle durch Salmonelleninfektionen		3
davon geschätzte Todesfälle durch Salmonellenrosepsis		6	davon geschätzte Todesfälle durch Salmonellenrosepsis		4	davon geschätzte Todesfälle durch Salmonelleninfektionen		3
Anteil Männer 70-75 Jahre in %	0,067		Anteil Männer 60-70 Jahre in %	0,250		Anteil Männer 55-70 Jahre in %	0,375	
Anzahl Männer 70-75 Jahre	0,368		Anzahl Männer 60-70 Jahre	0,878		Anzahl Männer 55-70 Jahre	0,977	
restliche Lebenserwartung in Jahren	12,220		restliche Lebenserwartung in Jahren	17,520		restliche Lebenserwartung in Jahren	19,470	
<b>YLL</b>	<b>4,492</b>		<b>YLL</b>	<b>15,386</b>		<b>YLL</b>	<b>19,024</b>	
Anteil Männer 75-85 Jahre in %	0,533		Anteil Männer 70-85 Jahre in %	0,667		Anteil Männer 70-80 Jahre in %	0,500	
Anzahl Männer 75-85 Jahre	2,941		Anzahl Männer 70-85 Jahre	2,342		Anzahl Männer 70-80 Jahre	1,303	
restliche Lebenserwartung in Jahren	7,980		restliche Lebenserwartung in Jahren	3,330		restliche Lebenserwartung in Jahren	10,720	
<b>YLL</b>	<b>23,465</b>		<b>YLL</b>	<b>21,990</b>		<b>YLL</b>	<b>13,966</b>	
Anteil Männer über 85 Jahre in %	0,400		Anteil Männer über 85 Jahre in %	0,083		Anteil Männer 85-90 Jahre in %	0,125	
Anzahl Männer über 85 Jahre	2,205		Anzahl Männer über 85 Jahre	0,293		Anzahl Männer 85-90 Jahre	0,326	
restliche Lebenserwartung in Jahren	3,410		restliche Lebenserwartung in Jahren	3,410		restliche Lebenserwartung in Jahren	4,790	
<b>YLL</b>	<b>7,520</b>		<b>YLL</b>	<b>0,998</b>		<b>YLL</b>	<b>1,560</b>	
<b>YLL GESAMT Männer</b>	<b>35,478</b>		<b>YLL GESAMT Männer</b>	<b>38,375</b>		<b>YLL GESAMT Männer</b>	<b>34,549</b>	
Anteil Frauen 35-40 Jahre in %	0,048		Anteil Frauen 65-80 Jahre in %	0,273		Anteil Frauen 70-75 Jahre in %	0,111	
Anzahl Frauen 35-40 Jahre	0,263		Anzahl Frauen 65-80 Jahre	0,958		Anzahl Frauen 70-75 Jahre	0,290	
restliche Lebenserwartung in Jahren	46,120		restliche Lebenserwartung in Jahren	14,790		restliche Lebenserwartung in Jahren	14,670	
<b>YLL</b>	<b>12,109</b>		<b>YLL</b>	<b>14,169</b>		<b>YLL</b>	<b>4,247</b>	
Anteil Frauen 70-80 Jahre in %	0,143		Anteil Frauen 80-85 Jahre in %	0,545		Anteil Frauen 80-90 Jahre in %	0,778	
Anzahl Frauen 70-80 Jahre	0,788		Anzahl Frauen 80-85 Jahre	1,916		Anzahl Frauen 80-90 Jahre	2,027	
restliche Lebenserwartung in Jahren	12,820		restliche Lebenserwartung in Jahren	7,800		restliche Lebenserwartung in Jahren	6,560	
<b>YLL</b>	<b>10,098</b>		<b>YLL</b>	<b>14,945</b>		<b>YLL</b>	<b>13,294</b>	
Anteil Frauen über 80 Jahre in %	0,810		Anteil Frauen über 90 Jahre in %	0,182		Anteil Frauen über 90 Jahre in %	0,111	
Anzahl Frauen über 80 Jahre	4,463		Anzahl Frauen über 90 Jahre	0,639		Anzahl Frauen über 90 Jahre	0,290	
restliche Lebenserwartung in Jahren	4,680		restliche Lebenserwartung in Jahren	2,970		restliche Lebenserwartung in Jahren	2,970	
<b>YLL</b>	<b>20,888</b>		<b>YLL</b>	<b>1,897</b>		<b>YLL</b>	<b>0,860</b>	
<b>YLL GESAMT Frauen</b>	<b>43,095</b>		<b>YLL GESAMT Frauen</b>	<b>31,012</b>		<b>YLL GESAMT Frauen</b>	<b>18,401</b>	
<b>YLL GESAMT</b> = Anzahl der Todesfälle verbliebene Lebenserwartung im Sterbealter in Jahren	<b>78,572</b>		<b>YLL GESAMT</b> = Anzahl der Todesfälle* verbliebene Lebenserwartung im Sterbealter in Jahren	<b>69,386</b>		<b>YLL GESAMT</b> = Anzahl der Todesfälle* verbliebene Lebenserwartung im Sterbealter in Jahren	<b>52,950</b>	
<b>YLL GESAMT Wichtig Tod = 1</b>	<b>200,909</b>							

**Abbildung 81: Berechnung der DALYs – „Testen der Schweine“**

<b>geschätzte jährliche Gesamterkrankungszahl</b>		298380			
		kein Arztbesuch	Arztbesuch	Krankenhaus	Summe
Anteil an GE erkrankt		90%	9%	1%	
Fälle pro Jahr		268542	26854,2	2983,8	298380
Wichtungsfaktor (Schwere der Behinderung)		0	0,015	0,041	
<b>YLD = jährliche Erkrankungszahl * Wichtungsfaktor * Durchschnittliche Dauer der Behinderung in Jahren</b>		0	<b>402,813</b>	<b>122,336</b>	<b>525,149</b>
		kein Arztbesuch	Arztbesuch	Krankenhaus	Summe
Anteil an ReA erkrankt		90%	9%	1%	
Fälle pro Jahr		5370,84	537,084	59,676	5967,6
Wichtungsfaktor (Schwere der Behinderung)		0,023	0,115	0,186	
<b>YLD = jährliche Erkrankungszahl * Wichtungsfaktor * Durchschnittliche Dauer der Behinderung in Jahren</b>		<b>123,52932</b>	<b>61,7647</b>	<b>11,0997</b>	<b>196,394</b>
		kein Arztbesuch	Arztbesuch	Krankenhaus	Summe
Anteil an IBD erkrankt			100%		
Fälle pro Jahr			89,514		89,514
Wichtungsfaktor (Schwere der Behinderung)			0,13		
<b>YLD = jährliche Erkrankungszahl * Wichtungsfaktor * Durchschnittliche Dauer der Behinderung in Jahren</b>		0	<b>11,6368</b>	0	<b>11,6368</b>
<b>SUMME YLD</b>		123,52932	<b>476,214</b>	<b>133,436</b>	<b>733,179</b>
<b>DALY = YLD + YLL</b>					<b>934,088</b>

Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 82: Berechnung der DALYs – „Testen der Schweine“ (Fortsetzung)**

Für das Testen eines Schweines werden nach Gorton et al. (1996) 11,25 \$ je Schwein veranschlagt. Dies entspricht einem Preis von 9,41 € je getestetes Schwein. Es wird angenommen, dass alle neu eingestellten Schweine zu testen sind. Bei einer Anzahl von 44.484.000 geschlachteten Schweinen im Jahr 2007 wird angenommen, dass auch alle diese 44.484.000 Schweine als Läufer getestet werden, bevor sie eingestallt wurden. Es ergeben sich daher durch die Maßnahme „Testen der Läufer“ insgesamt Kosten in Höhe von 418.522.153,50 €.

Das Verhältnis von Kosten zu Nutzen beträgt bei einer angenommenen Senkung der Ausgangsprävalenz um 1 % 418.522.153,50 € zu 9,11 verhinderten DALYs im Vergleich zum Ausgangsszenario. Dies entspricht einem Betrag von 45.940.960 € je verhindertem DALY.

Und bei einer angenommenen Senkung der Ausgangsprävalenz um 10 % beträgt das Verhältnis von Kosten zu Nutzen 418.522.153,50 € zu 91,11 verhinderten DALYs. Dies entspricht einem Betrag von 4.593.591 € je verhindertem DALY.

### 7.3 Ranking der Szenarien

Wie bereits in Abschnitt 4.4.4 erwähnt, besitzen die absoluten Werte solcher Maße, wie jene der DALYs, keine große Aussagekraft. Die Betrachtung nur eines einzelnen Szenarios mithilfe dieses Ansatzes ist daher nicht sinnvoll. Da erst die relativen Werte eine Aussagekraft besitzen und zur Entscheidungsfindung dienen können, ist die Betrachtung von mindestens zwei Szenarien notwendig. Erst im Verhältnis zueinander können die Szenarien gerankt werden und eine Aussage bezüglich der Sinnhaftigkeit ihres Einsatzes ist möglich. Es soll nun im Folgenden ein Ranking der Maßnahmen auf Grundlage der errechneten DALYs vorgenommen werden.

Möchte man die beiden Szenarien „Impfen der Schweine“ und „Testen der Schweine“ vergleichen, so können die in Abschnitt 7.2.3 und Abschnitt 7.2.4 errechneten Beträge in € je verhindertem DALY zur Entscheidungsfindung herangezogen werden. In Tabelle 32 wird ein Ranking der Szenarien/Maßnahmen anhand des Betrages je verhindertem DALY dargestellt. Für die beiden Szenarien/Maßnahmen wird hierzu ein Durchschnittswert für den Betrag je verhindertem DALY aus den Beträgen je verhindertem DALY der möglichen Wirkungsgrade gebildet. Das „Impfen der Schweine“ weist im Vergleich zum „Testen der Schweine“ einen geringeren Betrag je verhindertem DALY auf. Sie stellt die günstigere Maßnahme zur Verhinderung von DALYs dar und wäre daher bei Verwendung dieses Rankings jene Maßnahme, welche für den Einsatz ausgewählt werden würde.

**Tabelle 32: Ranking der Szenarien nach dem Betrag je verhindertem DALY**

Szenario/Maßnahme	Position	Betrag je verhindertem DALY
<b>„Impfen der Schweine“</b>	1	<b>57.213 €</b>
Wirkungsgrad 70 % Senkung		48.123 €
Wirkungsgrad 60 % Senkung		56.143 €
Wirkungsgrad 50 % Senkung		67.372 €
<b>„Testen der Schweine“</b>	2	<b>25.267.267 €</b>
Wirkungsgrad 10 % Senkung		4.593.591 €
Wirkungsgrad 1 % Senkung		45.940.960 €

Quelle: Eigene Darstellung

## 8 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Formulierung eines methodischen Ansatzes, mit dem die gesamtwirtschaftlichen Effekte von unterschiedlichen salmonellosereduzierenden Maßnahmen auf Ebene der Primärproduktion ökonomisch verglichen werden können. Dabei wird das gesundheitsökonomische Konzept der DALYs beispielhaft angewendet.

Im zweiten Kapitel der Arbeit werden Grundlagen bezüglich der Bakteriengattung *Salmonella* aufgezeigt. Dabei wird auf spezifische Eigenschaften der Salmonellen, wie ihre Taxonomie, serologische Eigenschaften, Tenazität, Persistenz sowie diagnostische Verfahren eingegangen. Weiterhin wird die Bedeutung von Salmonelleninfektionen und Salmonellose beim Schwein, die gesetzlichen Rahmenbedingungen und die Salmonelleninfektion und Salmonellose beim Menschen näher erläutert. Anschließend werden im dritten Kapitel die Risikobereiche, aus welchen eine Salmonelleninfektion der Schweine eines Betriebes herrühren kann, vorgestellt. Außerdem erfolgt die Darstellung verschiedener möglicher Maßnahmen, welche bereits auf Betriebsebene zur Vermeidung eines Salmonelleneintrags beitragen können. Hierdurch wird das Unterziel „Erarbeitung von Grundlagen zum Salmonelleneintrag sowie von Maßnahmen zur Verhinderung eines Salmonelleneintrags auf Betriebsebene“ erreicht. Im vierten Kapitel wird das methodische Grundgerüst zur ökonomischen Analyse im Bereich des gesundheitlichen Verbraucherschutzes dargelegt. Dabei werden zunächst verschiedene gesundheitsökonomische Ansätze vorgestellt. Der Schwerpunkt des Kapitels liegt dabei auf dem aus der Gesundheitsökonomie stammenden, noch recht jungen Konzeptes der DALYs. Durch dieses Kapitel wird das Unterziel „Erarbeitung von Grundlagen zur gesundheitsökonomischen Bewertung und Aufarbeitung gesundheitsökonomischer Konzepte“ erarbeitet. Im sechsten Kapitel wird ein eigenes „Farm-to-Fork-Modell“ entwickelt (Unterziel: Erstellung eines „Farm-to-Fork-Modells“), welches auf Grundlage bereits vorhandener Modelle sowie anhand von überwiegend deutschen Daten erstellt wurde. Im siebten Kapitel erfolgt die Anwendung des Modells anhand der Beispielszenarien „Impfen der Schweine“ und „Testen der Läufer“ sowie Erstellen eines Rankings der Maßnahmen.

Ein Modell ist nur so gut wie seine vorhandene Datengrundlage. Bei der Modellierung des Modells wurde deutlich, dass die Datenlage in Bezug auf die vorliegende Fragestellung zum Teil (sehr) lückenhaft ist. In denjenigen Fällen, in denen keine deutschen Daten verfügbar waren, wurden Daten aus anderen Ländern verwendet. In den Fällen, in denen auch im internationalen Schrifttum keine entsprechenden Daten zu finden waren, wurden Annahmen getroffen. Um das Modell auch für den Vergleich von verschiedenen Maßnahmen verwenden zu können, ist es notwendig, die vorhandene Datengrundlage zu verbessern und vorhandene Datenlücken zu schließen. Zusammenfassend eine Darstellung der Datenlücken und mangelhaften Datengrundlagen:

### **Keine deutschen Daten für den entsprechenden Parameter verfügbar (Datenlücken):**

- Prävalenzreduktion durch den Schlachtprozess
- Anteil des roh verzehrten Fleisches bzw. Anteil vollständig erhitztes bzw. nicht vollständig erhitztes Fleisch bzw. Hackfleisch
- Prävalenzreduktion durch das Teilgaren bzw. Durchgaren
- Portionsgrößen in Bezug auf die verschiedenen Produkte
- Keimbelastung je Portion in log cfu/Portion

### **Mangelhafte Datengrundlage in Bezug auf die Modellparameter:**

- Prävalenzanstieg durch Transport und den Aufenthalt der Tiere im Wartestall
- Prävalenzänderung durch die Produktverarbeitung

**Mangelhafte Datengrundlage in Bezug auf die Berechnung der DALYs:**

- Anteile kein Arztbesuch, Arztbesuch und Krankenhaus für Deutschland bislang noch unbekannt
- keine Zahlen in Bezug auf deutsche Wichtungsfaktoren und die Krankheitsdauer

Trotz der festgestellten mangelhaften Datengrundlage und der vorhandenen Datenlücken konnten die geplanten Unterziele erreicht werden. Insgesamt wurde ein ausbaubarer Ansatz zur Bewertung gesundheitsökonomischer Fragestellungen erarbeitet.

## 9 Literaturverzeichnis

- Abouzahr, C. (1999):** Disability Adjusted Life Years (DALYs) and reproductive health: a critical analysis. *Reproductive Health Matters* 7 (14): 118–129.
- Adak, G., Long, S., O'Brien, S. J. (2002).** Trends in indigenous foodborne disease and deaths, England and Wales: 1992 to 2000. *Gut* 51 (6): 832–41.
- Ahrens, D., Güntert, B. (2004):** Gesundheitsökonomie und Gesundheitsförderung. Nomos, Baden-Baden.
- Aidelsburger, P., Felder, S., Siebert, U., Wasem, J. (2003):** Gesundheitsökonomische „Kurz-HTA-Berichte“ – Eine systematische Übersichtsarbeit zur Methodik und Implementati-on. Köln.
- Alpers, K., Stark, K., Hellenbrand, W., Ammon, A. (RKI) (2004):** Zoonosen. – Zoonotische Infektionen beim Menschen – Übersicht über die epidemiologische Situation in Deutschland. *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz* 47 (7): 622–632.
- Alter, T., Fehlhaber, K. (1997):** Einfluss von Stress auf die Abwehrlage von Schlacht-schweinen. In: 38. Arbeitstagung des Arbeitsgebietes Lebensmittelhygiene der DVG, Ta-gungsbericht, Garmisch-Partenkirchen: 100–106.
- Anand, S., Hanson, K. (1996):** Disability-adjusted life years: a critical review. *Journal of Health Economics* 16: 685–702.
- Anonymus (2009):** The National Food Administration's food database (Swedish Food Con-sumption Database): [www.slv.se](http://www.slv.se).
- Audia, J. P., Webb, C. C., Foster, J. W. (2001):** Breaking through the acid barrier: an or-chestrated response to proton stress by enteric bacteria. *International Journal of Medical Mi-crobiology* 291: 97–106.
- Baggesen, D. L., Dahl, J., Wingstrand, A., Nielsen, B. (1997):** Detection of *salmonella en-terica* in different materials from the environment of pig herds. In: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> In-ternational Symposium on the Epidemiology and Control of *Salmonella* in Pork, 20. – 22. Au-gust 1997, Copenhagen, Denmark: 173–175.
- Bahnson, P. B., Mateus-Pinella, N. E., Omran, L. M., Grass, J., Fransen, L., Fedorka-Cray, P. J. (2001):** Risk factors for high levels of antibody to *salmonella* spp. Among market weight pigs. In: Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Symposium of the Epidemiology and Control of *salmonella* and other food borne pathogens in pork, Leipzig: 250–252.
- Barber, D., Weigel, R. M., Isaacson, R. E., Bahnson, P. B., Jones, C. J. (2002):** Distribu-tion of *Salmonella* in swine production ecosystems. *Journal of Food protection* 65: 1861–1868.
- Barker, C., Green, A. (1996):** Opening the debate on DALYs. *Health Policy and Planning* 11 (2): 179–183.
- Battenberg, L. (2007):** Versuch der Eintragsquellenanalyse von Salmonellen in ausgewähl-ten bayerischen Schweinehaltungsbetrieben. Dissertation, LMU München: Tierärztliche Fa-kultät.

- Baum, D. H., Harris, D. L., Nielson, B., Fedorka-Cray, P. J. (1997):** Risk factors associated with increased seroprevalence of salmonella in finishing swine. In: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium of Epidemiology and Control of *Salmonella* in Pork, Copenhagen: 212–214.
- BDI (Berufsverband deutscher Internisten e. V.) (Hrsg.) (2010):** Salmonellen-Infektion – Übertragung von Salmonellen. Stand 12/2010:  
[http://www.internisten-im-netz.de/de\\_salmonellen-uebertragung\\_835.html](http://www.internisten-im-netz.de/de_salmonellen-uebertragung_835.html).
- Beer, J. (1982):** Infektionskrankheiten der Haustiere. Teil 2, 3. Auflage, Gustav Fischer Verlag, Jena: 516–517.
- Berends, B. R., Urlings, H. A., Snijders, J. M., Van Knapen, F. (1996):** Identification and quantification of risk factors in animal management and transport regarding *Salmonella* spp. in pigs. In: International Journal of Food Microbiology 30: 37–53.
- Berends, B. R. (1998):** A risk assessment approach to the modernization of meat safety. Thesis, University of Utrecht, the Netherlands.
- Beumer, R. R., Brinkman, E., Rombouts, F. M. (1991):** Enzyme-linked immunoassays for the detection of *Salmonella* spp.: a comparison with other methods. International Journal of Food Microbiology 12 (4): 363–374.
- Beyer, F., Zweifel, P., Kifmann, M. (2004):** Gesundheitsökonomik, 5. Auflage. Springer Verlag, Berlin.
- Bisping, W., Amtsberg, G. (1988):** Farbatlas zur Diagnose bakterieller Infektionserreger der Tiere. Springer Verlag, Berlin.
- Bisping, W. (1993):** Salmonellen in Futtermitteln. Deutsche tierärztliche Wochenschrift 100: 262–263.
- Blaha, T. (1993):** Die Ausbreitungsdynamik von Salmonellen in Tierbeständen. Deutsche Tierärztliche Wochenschrift 100: 278–280.
- Blaha, T. (1996):** Untersuchungen zum Eintrag von Salmonellen aus Schweinemastbeständen in die Lebensmittelkette. Praktischer Tierarzt 77: 229–230.
- Blaha, T., Solano-Aguilar, G., Pijoan, C. (1997):** The early colonization pattern of *S. Typhimurium* in pigs after oral intake. In: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Epidemiology and Control of *Salmonella* in Pork, 20. – 22 August 1997, Copenhagen, Denmark: 71–73.
- Blaha, T. (2001):** Die Bekämpfung von Salmonellen starten. Fleischwirtschaft 10: 15–18.
- Blaha, T. (2003):** Salmonellenmonitoring und -reduzierung in der landwirtschaftlichen Primärproduktion als Beitrag zum vorbeugenden Verbraucherschutz am Beispiel der Schweinefleischproduktion. Lohmann Information 2: 15–20.
- Bode, K. (2007):** Serologische und epidemiologische Untersuchungen zur Salmonellendynamik in Schweinebeständen für die Optimierung des Salmonellenmonitorings beim Schwein. Dissertation, Tierärztliche Hochschule, Hannover.



**Böhm, R. (1993):** Verhalten ausgewählter Salmonellen in der Umwelt. Deutsche tierärztliche Wochenschrift 7: 275–278.

**Böhm, E. H., Fruth, A., Rebmann, F., Sontheimer, D., Rabsch, W. (2009a):** Reptile-associated salmonellosis in a breastfed infant. Klinische Pädiatrie 221: 74–75.

**Böhm, E. H., Fruth, A., Rabsch, W. (2009b):** Reptile-associated salmonellosis in infants in Germany. Klinische Pädiatrie 221: 60–64.

**BfR (Bundesinstitut für Risikobewertung) (2008):** Grundlagenstudie zur Erhebung der Prävalenz von Salmonellen in Mastschweinen Bericht des BfR vom 20. Februar 2008. Stand 12/2010:  
[http://www.bfr.bund.de/cm/208/grundlagenstudie\\_zur\\_erhebung\\_der\\_praevalenz\\_von\\_salmonellen\\_in\\_mastschweinen.pdf](http://www.bfr.bund.de/cm/208/grundlagenstudie_zur_erhebung_der_praevalenz_von_salmonellen_in_mastschweinen.pdf).

**BfR (Bundesinstitut für Risikobewertung) (2009):** Grundlagenstudie zum Vorkommen von *Salmonella* spp. in Zuchtschweinebeständen vorgelegt. Stellungnahme Nr. 049/2009 des BfR vom 25. März 2009. Stand 12/2010:  
[http://www.bfr.bund.de/cm/208/grundlagenstudie\\_zum\\_vorkommen\\_von\\_salmonella\\_spp\\_in\\_zuchtschweinebestaenden\\_vorgelegt.pdf](http://www.bfr.bund.de/cm/208/grundlagenstudie_zum_vorkommen_von_salmonella_spp_in_zuchtschweinebestaenden_vorgelegt.pdf).

**Bund (2010):** ICD. Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Stand 12/2010:  
<http://www.gbe-bund.de/glossar/ICD.html>.

**Bundesgesetzblatt (2007):** Verordnung zur Verminderung der Salmonellenverbreitung durch Schlachtschweine (Schweine-Salmonellen-Verordnung) vom 13. März 2007, BGBl. I S. 322. Stand 12/2010:  
[http://www.vetion.de/gesetze/Gesetzestexte\\_pdf/Schw\\_Salm\\_VO.pdf](http://www.vetion.de/gesetze/Gesetzestexte_pdf/Schw_Salm_VO.pdf).

**BMF (Bundesministerium der Finanzen) (1969a):** Bundeshaushaltsordnung vom 19. August 1969 (BGBl. I S. 1284), geändert durch Artikel 15 des Gesetzes vom 14. August 2006 (BGBl. I S. 1911). Stand 12/2010: <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bho/gesamt.pdf>.

**BMF (Bundesministerium der Finanzen) (1969b):** Gesetz über die Grundsätze des Haushaltsrechts des Bundes und der Länder (Haushaltsgrundsätze-gesetz – HGrG) vom 19. August 1969 (BGBl. I S. 1273), zuletzt geändert durch Artikel 123 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2407). Stand 12/2010:  
<http://bundesrecht.juris.de/hgrg/BJNR012730969.html>.

**BVDF (Bundesverband der deutschen Fleischwarenindustrie e. V.) (2009):** Geschäftsbericht 2008/2009 – Bundesverband der deutschen Fleischwarenindustrie e. V. Stand 12/2010: [http://www.bvdf.de/aktuell/geschaeftsbericht\\_2008\\_09/](http://www.bvdf.de/aktuell/geschaeftsbericht_2008_09/).

**BVDF (Bundesverband der deutschen Fleischwarenindustrie e. V.) (2010):** Fleischverbrauch und Fleischverzehr je Kopf der Bevölkerung. Stand 12/2010:  
[http://www.bvdf.de/in\\_zahlen/tab\\_06/](http://www.bvdf.de/in_zahlen/tab_06/).

**Callaway, T. R., Morrow, J. L., Edrington, T. S., Genovese, K. J., Dowd, S., Carrol, J., Dayley, J. W., Harvey, R. B., Poole, T. L., Anderson, R. C., Nisbet, D. J. (2006):** Social stress increasing fecal shedding of *Salmonella* Typhimurium by early weaned piglets. Current Issues in Intestinal Microbiology 7 (2): 65–71.

**Clarke, R. C., Gyles, C. L. (1993):** *Salmonella*. In: Gyles, C. L., Thoen, C. O. (Hrsg.): Pathogenesis of bacterial infections in animals. Iowa State University press, Ames: 133–153.

- CRD (2001):** Undertaking systematic reviews on research on effectiveness – CRD's guidance for those carrying out or commissioning reviews. Report Number 4, University of York NHS Centre for Review and Dissemination.
- Creus, E., Mejia, W., Baucells, F., Mateu, E. (2004):** Prevalence of subclinical *Salmonella* infection and risk factors in finishing pig herds of Catalonia. In: Proceedings of the 18<sup>th</sup> IPVS Congress, 27. Juni – 1. Juli 2004, Hamburg: 677.
- Creus, E., Pérez, J. F., Mateu, E. (2005):** Effect of an acidified diet on *Salmonella* prevalence during the last term of fattening period. In: Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Symposium on the Epidemiology and Control of Foodborne Pathogenes in Pork, Rohnert Park, California: 287–288.
- CVUA (Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Karlsruhe) (2006):** Jahresbericht 2006, Kapitel II Lebensmittel. Stand 07/2010: [http://www.cvua-karlsruhe.de/jb/jb\\_2006/jb2006.htm](http://www.cvua-karlsruhe.de/jb/jb_2006/jb2006.htm).
- Dahl, J. (1998):** Cross-sectional epidemiological analysis of the relations between different herd factors and salmonella-seropositivity. In: Proceedings of the 15<sup>th</sup> IPVS Congress, 5. – 9. July 1998, Birmingham, England: 280.
- Dahl, J., Wingstrand, A., Baggesen, D. L., Nielsen, B. (1996):** Eradication of *Salmonella typhimurium* infection by strategic removal of pigs in infected herds. Proc.: 14<sup>th</sup> International Pig Veterinary Society Congress, Bologna, Italy: 173.
- Dahl, J., Wingstrand, A., Nielsen, B., Baggesen, D. L. (1997):** Elimination of *Salmonella typhimurium* infection by the strategic movement of pigs. Veterinary Record 140: 679–681.
- D'Aoust, J.-Y. (1989):** *Salmonella*. In: Doyle, M. P. (Hrsg.): Foodborne bacterial pathogens. M. Dekker, New York/Basel: 327–445.
- Davies, P. R., Morrow, W. E., Jones, F. T., Deen J., Fedorka-Cray P. J., Gray, J. T. (1997):** Risk of shedding *Salmonella* organisms by market-age hogs in a barn with open-flush gutters. Journal of the American Veterinary Medical Association 210: 386–389.
- Davies, R. H., Wray, C. (1997a):** Distribution of *Salmonella* contamination in ten animal feedmills. Veterinary Microbiology 57: 159–169.
- Davies, R. H., Wray, C. (1997b):** Distribution of *Salmonella* on 23 pig farms in the UK. In: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Epidemiology and Control of *Salmonella* in Pork, 20. – 22. August 1997, Copenhagen, Denmark: 137–141.
- Davies, P. R., Funk, J. A., Jones, F. T., Morrow, W. E. M., Bovee, F. (1998):** *Salmonella* serotypes in a multiple-site production system. In: Proceedings of the 15<sup>th</sup> International Pig Veterinary Society Congress, Birmingham, England 2: 72.
- Davies, P. R., Funk, J. A., Morrow, W. E. M. (2000):** Fecal shedding of *Salmonella* by gilts before and after introduction to a swine breeding farm. Journal of Swine Health Production 8 (1): 25–29.
- Davis, M. A., Hancock, D. D., Rice, D. H., Call, D. R., Digiacomo, R., Samandpour, M., Besser, T. E. (2003):** Feedstuffs as a vehicle of cattle exposure to *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica*. Veterinary Microbiology 95: 199–210.

**Dedie, D., Bockemühl, J., Kühn, H., Volkmer, K.-J. Weinke, T. (1993):** Bakterielle Zoonosen bei Tier und Mensch – Epidemiologie, Pathologie, Klinik, Diagnostik und Bekämpfung. Enke Verlag, Stuttgart/Berlin.

**Dersimonian, R., Laird, N. (1986):** Meta-analysis in clinical trials. *Controlled Clinical trials* 7: 177–188.

**Doltsinis, S. (2003):** Management mikrobiologischer Risiken. *Bioforum* 26: 32–34.

**Donaldson, C., Mugford, M., Vale, L. (2002):** Using systematic reviews in economic evaluation: The basic principles. In: Donaldson, C. Mugford, M., Vale, L. (Hrsg.): *Evidence-based health economics*. BJM Books, London: 10–24.

**Doyle, M. E., Mazzotta, A. S. (2000):** Review of studies on the thermal resistance of *Salmonella*. *Journal of Food Protection* 63: 779–795.

**DRGH (Deutsche Gesellschaft für Rheumatologie e. V.) (2010):** Was ist eine Reaktive Arthritis bzw. ein Reiter-Syndrom? Stand 12/2010: <http://dgrh.de/reaktivearthritis.html>.

**Drummond, M. F., Sculpher, M. J.; Torrance, G. W. (2005):** *Methods for the economic evaluation of health care programmes*. 3. Auflage, New York.

ERS (Economic Research Service) (2010): Data Sets – Foodborne Illness Cost Calculator – *Salmonella*. Stand 12/2010: [http://www.ers.usda.gov/Data/Foodbornellness/salm\\_Intro.asp](http://www.ers.usda.gov/Data/Foodbornellness/salm_Intro.asp).

**Eddicks, M. (2006):** Überprüfung der Verträglichkeit des *Salmonella* Typhimurium-Lebendimpfstoffes Salmoporc® bei oraler Anwendung für drei Tage alte Saugferkel unter Berücksichtigung der Ausscheidung, Persistenz und Immunogenität des Impfstamms. Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität, München.

**Ellerbroek, L. (2007):** Risikobasierte Einstufung des mikrobiologischen Gefährdungspotentials von Lebensmitteln. *Archiv für Lebensmittelhygiene* 58: 142–151.

**EG (Europäische Gemeinschaft) (2002):** Verordnung (EG) Nr. 178/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 28. Januar 2002 zur Festlegung der allgemeinen Grundsätze und Anforderungen des Lebensmittelrechts, zur Errichtung der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit und zur Festlegung von Verfahren zur Lebensmittelsicherheit. *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften*: L 31/1.

**EG (Europäische Gemeinschaft) (2003a):** Verordnung (EG) Nr. 2160/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. November 2003 zur Bekämpfung von Salmonellen und bestimmten anderen durch Lebensmittel übertragbaren Zoonoseerregern. *Amtsblatt der Europäischen Union*: L 325/1.

**EG (Europäische Gemeinschaft) (2003b):** Richtlinie 2003/99/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. November 2003 zur Überwachung von Zoonosen und Zoonoseerregern und zur Änderung der Entscheidung 424/EWG des Rates sowie zur Aufhebung der Richtlinie 92/117/EWG des Rates. *Amtsblatt der Europäischen Union*: L 325/31.

**EFSA (European Food Safety Authority) (2008a):** Quantitative mikrobiologische Risikobewertung zu Salmonellen im Fleisch: Zuordnung der Herkunft menschlicher Salmonellose aus Fleisch. Wissenschaftliches Gutachten des Wissenschaftlichen Gremiums für Biologische Gefahren, Zusammenfassung. Stand 12/2010: [http://www.efsa.europa.eu/cs/BlobServer/Scientific\\_Opinion/biohaz\\_op\\_ej625\\_salmonella\\_meat\\_source\\_summary\\_de.pdf?ssbinary=true](http://www.efsa.europa.eu/cs/BlobServer/Scientific_Opinion/biohaz_op_ej625_salmonella_meat_source_summary_de.pdf?ssbinary=true).

**EFSA (European Food Safety Authority) (2008b):** A quantitative microbiological risk assessment on *Salmonella* in meat: Source attribution for human salmonellosis from meat. Scientific Opinion of the Panel on Biological Hazards. Stand 12/2010: <http://www.efsa.europa.eu/de/scdocs/doc/625.pdf>.

**EFSA (European Food Safety Authority) (2008c):** EFSA *Salmonella* in pigs risk assessment call for data. VLA, RIVM, FOOD-DTU, EFSA. Stand 12/2010: [http://www.efsa.europa.eu/EFSA/efsa\\_locale-1178620753812\\_1178696473049.htm](http://www.efsa.europa.eu/EFSA/efsa_locale-1178620753812_1178696473049.htm).

**EFSA (European Food Safety Authority) (2010):** Quantitative microbiological risk assessment on *Salmonella* in slaughter and breeder pigs: Final report. Prepared by VLA in consortium with DTU and RIVM. Stand 12/2010: <http://www.efsa.europa.eu/de/scdocs/doc/46e.pdf>.

**Fablet, C., Robinault, C., Jolly, J. P., Madec, F., Fravalo, P. (2006):** *Salmonella* enteric in farrow to finish farms: The different sections are concerned. In: Proceedings of the 19<sup>th</sup> IPVS Congress 2, Copenhagen: 363.

**FAO/WHO (2002):** Risk assessment of *Salmonella* in eggs and broiler chickens. Microbiological Risk Assessment Series 2. Stand 12/2010: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/005/y4392e/y4392e00.pdf>.

**Fedoraka-Cray, P. J. (1997):** Mechanism of host-agent interactions in subclinical *Salmonella* infection in swine herds. In: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on the Epidemiology and Control of *Salmonella* in Pork, Copenhagen, Denmark, 20. – 22. August 1997: 9–13.

**Fedoraka-Cray, P. J., Bailey, J. S., Stern, N. J., Cox, N. A. (1997):** Mucosal competitive exclusion to reduce salmonella in swine. In: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Epidemiology and Control of *Salmonella* in pork, 20. – 22. August 1997, Copenhagen, Denmark: 164–166.

**Fehlhaber, K. (1992):** Anforderungen an ein Lebensmittel – Lebensmittelverderb. In: Fehlhaber, K., Jahnetschke, P. (Hrsg.): Veterinärmedizinische Lebensmittelhygiene. Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart: 19–22; 126–137.

**Fehlhaber, K. (2003):** Microbial risks – from animal farming to the food. Deutsche tierärztliche Wochenschrift 110 (8): 312–315.

**Filter, M., Käsbohrer, A., Appel, B. (2009):** Prädiktive Mikrobiologie – verfügbare Ressourcen sowie Möglichkeiten und Grenzen ihrer Anwendung. In: Tagungsband Zoonosen und Lebensmittelsicherheit, BfR-Symposium am 2. und 3. November 2009, Berlin: 33–37. Stand 12/2010: [http://www.bfr.bund.de/cm/238/zoonosen\\_und\\_lebensmittelsicherheit.pdf](http://www.bfr.bund.de/cm/238/zoonosen_und_lebensmittelsicherheit.pdf).

**Flachowsky, G., Daenicke, R. (1996):** Probiotika in der Rinderfütterung. Übersichten zur Tierernährung 24: 62–68.

**Forshell, L. P., Ekesbo, I. (1993):** Survival of *Salmonellas* in composted and not composted solid animal manure. Zentralblatt Veterinärmedizin 40: 654–658.

**Forshell, L. P., Ekesbo, I. (1996):** Survival of *Salmonella* in urine and dry faeces from cattle – an experimental study. Acta Veterinaria Scandinavica 37: 127–131.

- Friedrich, M. (2008):** Zur Relevanz der Risikoneigung für die Allokation von Gesundheitsgütern. Schulenburg, J.-M. Graf v. d. (Hrsg.): Schriftenreihe des Instituts für Versicherungslehre der Universität Hannover, Heft 14, Cuvellier Verlag, Göttingen.
- Funk, J. A., Davies, P. R., Gebreyes, W. (2001):** Risk factors associated with *Salmonella enterica* prevalence in three-site swine production systems in North Carolina, USA. Berliner und Münchener tierärztliche Wochenschrift 114: 335–338.
- Gareis, M. (1995):** Salmonellen – Ein Überblick. Fleischwirtschaft 5: 754–758.
- Gebreyes, W. A., Davies, P. R., Turkson, P.-A., Morrow, W. E. M., Funk, J. A., Altier, C. (2004):** *Salmonella enteric* serovars from pigs on farms and after slaughter and validity of using bacteriologic data to define herd *Salmonella* status. Journal of Food Protection 67 (4): 691–697.
- Gesundheitsamt Rhein-Sieg-Kreis (2009):** Enteritische Salmonellen. Fragen und Antworten. Eine Information des Gesundheitsamtes. Stand 12/2010: [http://www.rhein-sieg-kreis.de/imperia/md/content/cms100/buergerservice/aemter/amt\\_53/salmonellen0309.pdf](http://www.rhein-sieg-kreis.de/imperia/md/content/cms100/buergerservice/aemter/amt_53/salmonellen0309.pdf).
- Gray, J. T., Ferorka-Gray, P. J. (2001):** Survival and infectivity of *S. choleraesuis* in swine faeces. Journal of Food Protection 64: 645–649.
- Greiner, W. (2008):** Die Berechnung von Kosten und Nutzen. In: Schöffski, O., Schulenburg, J.-M. Graf v. d. (Hrsg.): Gesundheitsökonomische Evaluationen. 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg.
- Griffith, R. W., Hurd, H. S., McKean, J. D., Gailey, J. K., Larsen, S. T., Harbaugh, E. M. (2003):** Peracute infection of swine with *Salmonella*. In: Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Symposium of foodborne pathogens in Pork, 1. – 04.10.2003, Kreta, Greece: 321–322.
- Grimont, P. A. D., Weill, F. X. (WHOCC-Salm) (2007):** Antigenic formulae of the *Salmonella* serovars. 9<sup>th</sup> Edition, Paris. Stand 12/2010: <http://www.pasteur.fr/ip/portal/action/WebdriveActionEvent/oid/01s-000036-089>.
- Große Austing, M. C. (2005):** Untersuchungen zum Auftreten von Salmonelleninfektionen in Schweinebeständen. Dissertation, Stand 12/2010: [http://elib.tiho-hannover.de/dissertations/grosseaustingm\\_ss05.pdf](http://elib.tiho-hannover.de/dissertations/grosseaustingm_ss05.pdf).
- Große Beilage, T. (2002):** Salmonellenreduktion im positiven Bestand – Strategisches Vorgehen – Erfahrungsbericht aus der Praxis. In: BPT-Kongress: Vortragszusammenfassungen Rind-Schwein-Praxisführung, 07. – 10. November, Nürnberg.
- Haagsma J. A., Havelaar, A. H., Janssen, B. M., Bonsel, G. J. (2008):** Disability Adjusted Life Years and minimal disease: application of a preference-based relevance criterion to rank enteric pathogens. Popul Health Metrics 6 (1): 7.
- Hanusch, H. (1994):** Nutzen-Kosten-Analyse, 2. Aufl., WiSo-Kurzlehrbücher aus der Reihe Volkswirtschaft. München.
- Hahn, H., Falke, D., Klein, P. (1994):** Medizinische Mikrobiologie. 2. Aufl., Springer Verlag, Berlin: 314–323.
- Hale, J., Cohen, D., Ludbrook, A., Phillips, C., Duffy, M.-P., Langdon, N. (2003):** Moving from evaluation into economic evaluation – a health economics manual for programmes to improve health and well-being. Dissertation, Wales. Stand 12/2010: <http://courses.essex.ac.uk/hs/hs915/health%20economic%20evaluation%20manual.pdf>.

- Hartung, M. (Hrsg.) (2009):** Erreger von Zoonosen in Deutschland im Jahr 2007. Mitteilungen der Länder zu Lebensmitteln, Tieren, Futtermittel und Umweltproben. Stand 12/2010: [http://www.bfr.bund.de/cm/238/erreger\\_von\\_zoonosen\\_in\\_deutschland\\_im\\_jahr\\_2007.pdf](http://www.bfr.bund.de/cm/238/erreger_von_zoonosen_in_deutschland_im_jahr_2007.pdf).
- Hellwig, E. G. (2003):** Hygiene, der Schlüssel für eine erfolgreiche Schweinemast. In: BFL Spezial: Praxisgerechte Mastschweinehaltung, Landwirtschaftsverlag: 44–47.
- Hellwig, E. G. (Hrsg.) (2010):** PIA – mehr und mehr in den Betrieben nachzuweisen. Sonderdruck, Handbuch der tierischen Veredelung, Tier-Vital.com, Kamlage Verlag. Stand 12/2010: <http://www.kamlage.de/vital/pia.pdf>.
- Hessel, F., Wasem, J., Buchner, F., Greß, S. (2002):** Gesundheitsökonomie – Eine Einführung in Themenbereiche, Methoden und Einsatzgebiete. In: Kolip, P. (Hrsg.): Gesundheitswissenschaften – Eine Einführung. Juventa Verlag, Weinheim/München.
- Hessel, F., Wasem, J., Buchner, F., Greß, S. (2004):** Methoden zur vergleichenden ökonomischen Evaluation von Maßnahmen im Gesundheitswesen – Einführung, Vorteile und Risiken. In: Vogel, H., Wasem, J. (Hrsg.): Gesundheitsökonomie in Psychotherapie und Psychiatrie – gesundheitsökonomische Untersuchungen in der psychotherapeutischen und psychiatrischen Versorgung. Schattauer, Stuttgart.
- Heymann, D. L. (Hrsg.) (2004):** Control of communicable diseases manual. American Public Health Association, Washington.
- Himathongkhan, S., Riemann, H., Bahari, S., Nuanualsuwan, S., Kass, P., Cliver, D. O. (2000):** Survival of *Salmonella* Typhimurium and *Escherichia coli* O157:H7 in poultry manure and manure slurry at sublethal temperatures. Avian Diseases 44: 853–860.
- Hinzpeter, B., Troche, C. J., Pfeiffer, M., Lauterbach, K. W. (1997):** Zur Bedeutung von Kosten-Nutzen-Analysen im Gesundheitswesen. Gesundheitsökonomie und Qualitätsmanagement 2: 145–150.
- Hurd, H. S., Gailey, J. K., McKean, J. D., Rostagno, M. H. (2001a):** Experimental rapid infection in market swine following exposure to a *Salmonella* contaminated environment. Berliner und Münchener tierärztliche Wochenschrift 114: 382–384.
- Hurd, H. S., Gailey, J. K., McKean, J. D., Rostagno, M. H. (2001b):** Rapid infection in market swine following exposure to a *Salmonella* Typhimurium-contaminated environment. American Journal of Veterinary Research 62: 1194–1197.
- Hurd, S., McKean, J., Wesley, I. V., Karriker, L. A. (2001c):** The effect of lairage on *Salmonella* isolation from market swine. Journal of Food Protection 64 (7): 939–944.
- Hurd, S., McKean, J., Griffith, R., Rostagno, M. (2002a):** Measuring *Salmonella* prevalence in finish swine; Evaluation of three methods. Proc. 17<sup>th</sup> IPVS Congress, Ames, Iowa, USA: 313.
- Hurd, H. S., McKean, J. D., Griffith, R. W., Wesley, I. V., Rostagno, M. H. (2002b):** *Salmonella enterica* infections in market swine with and without transport and holding. Applied Environmental Microbiology 68 (5): 2376–2381.
- Hurd, S., McKean, J., Griffith, R., Rostagno, M. (2003):** Estimation of the *Salmonella* enteric prevalence in finishing swine. Journal of Epidemiological Infection 132: 127–135.

- Käsbohrer, A., Protz, D., Helmuth, R., Nockler, K., Blaha, T., Conraths, F. J., Geue, L. (2000):** *Salmonella* in slaughter pigs of German origin: an epidemiological study. *European Journal of Epidemiology* 16: 141–146.
- Kamphues, J. (1987):** Untersuchungen zu Verdauungsorganen bei Absetzferkeln in Abhängigkeit von Futtermenge und -zubereitung sowie von Futterzusätzen. Habilitationsschrift, Tierärztliche Hochschule, Hannover.
- Kamphues, J. K., Brüning, I., Hinrichs, M., Verspohl, J. (2006):** Investigations on counts of *Salmonella* Derby in the content of the alimentary tract in piglets 4–6 hours after experimental oral infection related to dietary influences (grinding intensity, use of potassium diformate). In: Proceedings of the 19<sup>th</sup> IPVS Congress, Copenhagen, Denmark: 208.
- Kemmeren, J. M., Mangan, M. J. J., Van Duynhoven, Y. T. H. P., Havelaar, A. H. (2006):** Priority setting of foodborne pathogens: disease burden and costs of selected enteric pathogens. National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), RIVM report 330080001, Bilthoven.
- Keteran, K., Brown, J., Shotts, E. B. (1982):** *Salmonella* in the mesenteric lymph nodes of healthy sows and hogs, *American Journal of Veterinary Research* 43: 706–707.
- Kharenko, A. (2006):** Untersuchungen über die Bedeutung von Salmonellen bei Schweinen in der vertikalen Infektionskette bei Zukauftieren. *Praktischer Tierarzt* 87 (6): 466–471.
- Kolb, J., Roof, M., Burkhart, K. (2003):** Reduction of *Salmonella* contamination in pork carcasses by vaccination. In: Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Symposium on the Epidemiology and Control of *Salmonella* in Pork. 1. – 4. Oktober 2003, Heraklion-Crete, Greece: 120–124.
- Kreienbrock, L., Schach, S. (2005):** Biometrie – Epidemiologische Methoden. 4. Aufl., Heidelberg.
- Krüger, W., Müller, P., Stegemann, K. (1998):** Kosten-Nutzen-Analyse von Gesundheitsförderungsmaßnahmen. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Forschungsbericht 783, Bremerhaven.
- Krüger, M. (2005):** Beeinflussung der Magen-Darm-Flora von Schweinen und deren immunologische Folgen. *Nutztierpraxis aktuell* 1: 48–53.
- Krug, W., Rehm, N. (1983):** Nutzen-Kosten-Analyse der Salmonellosebekämpfung, Schriftenreihe des Bundesministers für Jugend, Familie und Gesundheit, Band 131, Stuttgart.
- Külp, B. (1982):** Wohlfahrtsökonomik I. In: Albers, W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Wirtschaftswissenschaft. Band 9, Fischer, Stuttgart: 476–479.
- Larsen, S. T., McKean, J. D., Hurd, H. S., Rostagno, M. H., Griffith, R. W., Wesley, I. V. (2003):** Impact of commercial preharvest transportation and holding on the prevalence of *Salmonella enterica* in cull sows. *Journal of Food Protection* 66 (7): 1134–1138.
- Larsen, S. T., Hurd, H. S., McKean, J. D., Griffith, R. W., Wesley, I. V. (2004):** Transportation effect of short-term lairage on the prevalence of *Salmonella enterica* in cull sows. *Journal of Food Protection* 67 (7): 1489–1493.

- Lee, I. S., Lin, J., Hall, H. K., Bearson, B., Foster, J. W. (1995):** The stationary-phase sigma S RpoS is required for a sustained acid tolerance response in virulent *Salmonella* Typhimurium. *Molekular Microbiology* 17: 155–167.
- Le Minor, L., Popoff, M. Y. (1987):** Designation of *Salmonella enterica* sp. nov., nom. rev., as the type and only species of the genus *Salmonella*. *International Journal of Systematic bacteriology* 37: 465–468.
- Lettelier, A., Messier, S., Quessy, S. (1997):** Control of *Salmonella* in swine by use of probiotics. In: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Epidemiology and Control of *Salmonella* in Pork, Copenhagen: 160–163.
- Libby, S. J., Halsey, T. A., Altier, C., Potter, J., Gyles, C. L. (2004):** *Salmonella*. In: Gyles, C. L., Prescott, J., Thoen, C. O. (Hrsg.): Pathogenesis of bacterial infections in animal. 3<sup>th</sup> Edition, Blackwell Publishing, Iowa State University Press.
- Liebana, E., Garcia-Migura, L., Clouting, C., Clifton-Hadley, F. A., Breslin, M., Davies, R. H. (2003):** Molecular fingerprinting evidence of the contribution of wildlife vectors in the maintenance of *Salmonella* Enteritidis infection in layer farms. *Journal of Applied Microbiology* 94: 1024–1029.
- Lindner, T., Springer, S., Steinbach, G., Geyer, E., Selbitz, H.-J. (2002):** Die Immunprophylaxe – ein Beitrag zur Bekämpfung von *Salmonella*-Typhimurium-Infektionen beim Schwein. *Tierärztliche Praxis* 30 (G): 392–294.
- Lo Fo Wong, D. M. A., Hald, T., Van der Wolf, P. J. (2002):** Epidemiology and control measures for *Salmonella* in pigs and pork. *Livestock Production Science* 76: 215–222.
- Lo Fo Wong, D. M. A., Dahl, J., Stege, H., Van der Wolf, P. J., Leontides, L., Von Altrock, A., Thorberg, B. M. (2004):** Herd-level risk factors for subclinical *Salmonella* infection in European finishing pigherds. *Preventive Veterinary Medicine* 62: 253–266.
- Lohmann-Müller, K. (2005):** Latente Salmonellose im Schweinebestand – Eine Herausforderung für den praktizierenden Tierarzt. *Praktischer Tierarzt* 4: 266–274.
- Lopez, A. D. (2005):** The evolution of the Global Burden of Disease framework for disease, injury and risk factor quantification: developing the evidence base for national, regional and global public health action. *Globalization and Health* 1: 5.
- LUMRIX.NET (2010):** Koloniebildende Einheit. Stand 12/2010: [http://www.lumrix.de/medizin/mikrobiologie/koloniebildende\\_einheit.html](http://www.lumrix.de/medizin/mikrobiologie/koloniebildende_einheit.html).
- LVL (Lebensmittel- und Veterinärlabor GmbH) (2010):** Salmonellenkontrolle – gesundheitliche Gefährdung? Stand 12/2010: <http://www.lvl.de/fach/salmo.html>.
- Mackenbach, J., Van der Maas, P. J. (2008):** Volksgezondheid en gezondheidszorg. Maarssen: Elsevier gezondheidszorg.
- Madec, F., Humbert, F., Salvat, G., Maris, P. (1999):** Measurement of the residual contamination of post-weaning facilities for pigs and related risk factors. *Journal of Veterinary Medicine B* 46: 37–45.
- Mannion, C., Egan, J., Lynch, B. P., Fanning, S., Leonhard, N. (2008):** An investigation into the efficacy of washing trucks following the transportation of pigs – a salmonella perspective. *Foodborne Pathogens and Disease* 5 (3): 261–271.



- Marburger, J. (2006):** Auftreten von *Salmonella* und *Campylobacter* in landwirtschaftlichen Betrieben. Dissertation, Freie Universität Berlin. Stand 12/2010: <http://www.diss.fu-berlin.de/2007/101/lit.pdf>.
- Marg, H., Scholz, H. C., Arnold, T., Rösler, U., Hensel, A. (2001):** Influence of long-time transportation stress on re-activation of *Salmonella* Typhimurium DT104 in experimentally infected pigs. *Berliner und Münchener tierärztliche Wochenschrift* 114: 385–388.
- Marriott, N. G. (1992):** Mikroorganismen und Hygiene – Grundlagen der Lebensmittelhygiene. Behrs Verlag, Hamburg: 37–74.
- McDermind, A. S., Lever, M. S. (1996):** Survival of *Salmonella* enteritidis PT 4 and *Salmonella* typhimurium swindon in aerosols. *Letters of Applied Microbiology* 23: 107–109.
- Mersmann, C. (2001):** Rechtliche Bewertung des Salmonellennachweises in Lebensmitteln; Stand 12/2007: [http://www.diss.fu-berlin.de/diss/receive/FUDISS\\_thesis\\_000000000448](http://www.diss.fu-berlin.de/diss/receive/FUDISS_thesis_000000000448).
- Mead, P. S., Slutsker, L., Dietz, V., McCraig, L. F., Bresse, J. S., Shapiro, C., Griffin, P. M., Tauxe, R. V. (1999):** Food-related illness and death in the United States. *Synposes* 5: 607–625. Stand 12/2010: <http://www.cdc.gov/ncidod/EID/vol5no5/mead.htm>.
- Meyer, H. (1993):** Bekämpfung von *Salmonella*-Infektionen in Tierbeständen – Grundlage der Reduzierung des Salmonelleneintrags in Lebensmitteln. *Deutsche tierärztliche Wochenschrift* 100: 292–294.
- Meyer, H. (1999):** Tiere als Infektionsquelle für den Menschen – Salmonellosen. *Deutsche tierärztliche Wochenschrift* 106: 344–351.
- Ministerialblatt von Rheinland-Pfalz (2003):** Vollzug der Landeshaushaltsordnung (VV-LHO) – Neufassung – Verwaltungsvorschrift des Ministeriums der Finanzen vom 20. Dezember 2002: S. 22. Stand 12/2010: <http://rlpvv.juris.de/rlpvv/VVRP-630000-MdF-20021220-KF-002.htm>.
- Moore, B. C., Martinez, E., Gay, J. M., Rice, D. H. (2003):** Survival of *Salmonella enterica* in freshwater and sediments and transmission by the aquatic midge chironomus tentans. *Applied and Environmental Microbiology* 69: 4556–4560.
- Murray, C. J., Lopez, A. D. (1996):** The Global Burden of Disease: a comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries and risk factors in 1990 and projected to 2020. Harvard School of Public Health, Cambridge.
- Murray, C. J., Lopez, A. D. (1996b):** Global Health Statistics: a compendium of incidence, prevalence and mortality estimates for over 200 conditions. Harvard University Press on behalf of the World Health Organization and the World Bank, Cambridge MA.
- Murray, C. J., Lopez, A. D. (1997a):** Mortality by cause for eight regions of the world: Global Burden of Disease Study. *Lancet* 349: 1269–1276.
- Murray, C. J., Lopez, A. D. (1997b):** Regional patterns of disability-free life expectancy and disability-adjusted life expectancy: Global Burden of Disease Study. *Lancet* 349: 1347–1352.
- Murray, C. J., Lopez, A. D. (1997c):** Global mortality, disability and the contribution of risk factors: Global Burden of Disease Study. *Lancet* 349: 1436–1442.
- Murray, C. J., Lopez, A. D. (1997d):** Alternative projections of mortality and disability by cause: Global Burden of Disease Study. *Lancet* 349: 1498–1504.

- Nashed, S. M. (1986):** Viability of *Salmonella* Typhimurium in different environmental conditions (feed, litter, temperature). Beiträge zur Tropischen Landwirtschaft und Veterinärmedizin 24: 431–435.
- Nauta, M. J. (2008):** The Modular Process Risk Model (MPRM): A structured approach for food chain exposure assessment. In: Schaffner, D. W. (Hrsg.): Microbial risk analysis of foods. ASM Press, Washington, D. C.: 99–136.
- Nelson, J. D., Kusmiesz, H., Jackson, L. H., et al. (1980):** Treatment of *Salmonella* gastroenteritis with ampicillin, amoxicillin, or placebo. Pediatrics 65: 1125–1130.
- Neser, J. A. (1994):** Porcine Salmonellosis. In: Coetzer, J. A. W., Thomson, G. R., Tusstin, R. C. (Hrsg.): Infectious disease of livestock, University press, Oxford: 1120–1124.
- Neumann, P. J., Stone, P. W., Chapman, R. R., Sandberg, E. A., Bell, C. M. (2000):** The quality of reporting in published cost-utility analyses – 1976–1997. Annales of Internal Medicine 132: 964–972.
- Newbold, C. J. (1996):** Probiotics for ruminants. Annales de Zootechnic 45 Supplements: 329–335.
- Nielsen, B., Baggesen, D., Bager, F., Haugegaard, J., Lind, P. (1995):** The serological response to *Salmonella* serovars typhimurium and infantis in experimentally infected pigs. The time course followed with an indirect anti-LPS ELISA and bacteriological examinations. Veterinary Microbiology 47: 205–218.
- Nielsen, B., Baggesen, D. (1997):** Update on laboratory diagnosis of subclinical salmonella infection in pigs. Proc.: 2<sup>nd</sup> International Symposium on Epidemiology and Control of *Salmonella* in Pork, Copenhagen, Denmark: 19–35.
- Nielsen, B., Ekeroth, F., Bager, F., Lind, P. (1998):** Use of muscle fluid as a source of antibodies for serologic detection of *Salmonella* infection in slaughter pig herds. Journal of Veterinary Diagnostic Investigation 10: 158–163.
- Nisbet, D. N., Anderson, R. C., Buckley, S. A., Fedorka-Cray, P. J. Stanker, L. H. (1997):** Effect of competitive exclusion on salmonella shedding in swine. In: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Epidemiology and Control of *Salmonella* in Pork, 20. – 22. August 1997, Copenhagen, Denmark: 176–177.
- Nowak, B., Klein, G. (2005):** Salmonellen-Monitoring bei Schlachtschweinen: Hintergrund, Vorgehen und Ziele. Fortbildungsveranstaltung: „Zur Bedeutung von Futter und Fütterung bei Salmonellen-Infektionen in Schweinebeständen“. Institut für Tierernährung der Stiftung Tierärztlichen Hochschule Hannover am 09.09.2005.
- Nurse, I. (1997):** Salmonellen kontrollieren. Kraftfutter 10: 415–422.
- Oberender, P. (1991):** Kosten-Nutzen-Analyse der medikamentösen Angina-pectoris-Prophylaxe in der Bundesrepublik Deutschland. In: Oberender, P., Gäfgen, G. (Hrsg.): Evaluation gesundheitspolitischer Maßnahmen. Gesundheitsökonomische Beiträge Band 10, Nomos Verlagsgesellschaft, Baden-Baden: 143–166.
- Offenberg, S. V. (2007):** Untersuchungen (Feldstudie) zur Salmonellenprävalenz bei Absetzferkeln unter dem Einfluss einer Kombination von gröberer Futtermahlung und Futteradditiven (organische Säuren bzw. Kaliumdiformiat). Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover.

- Oostenbrink, J. B., Bouwmans, C. A. M., Koopmanschap, M. A., Rutten, F. F. H. (2004):** Handleiding voor kostenonderzoek – Methoden en standaard kostprijzen voor economische evaluaties in de gezondheidszorg. College voor zorgverzekeringen, Diemen.
- Osterhoff, F. (2001):** Effektive Unternehmenszusammenarbeit in der Schweineproduktion, BFL 1, Stand 1/2008: <http://www.ahrhoff.de/blv.pdf>.
- Paalmann, M., Bekedam, H., Hawken, L., Nyheim, D. (1998):** A critical review of priority setting in the health sector: the methodology of the 1993 World Development Report. Health Policy and Planning 13 (1): 13–31.
- Papenbrock, S. (2004):** Untersuchungen zum Einfluss einer groben Vermahlung des Futters und/oder eines Kaliumdiformiat-Zusatzes auf die Chymusqualität sowie die Aktivität und Zusammensetzung der Magen-Darm-Flora unter den Bedingungen einer experimentellen Infektion von Absatzferkeln mit *Salmonella* Derby. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover.
- Papenbrock, S., Stemme, K., Amtsberg, G., Verspohl, J., Kamphues, J. (2004):** Prophylactic effects of potassium diformate (KDF) and feed form on faecal excretion of *Salmonella* examined in two different infection models. In: Proceedings of the 18<sup>th</sup> IPVS Congress, 27. Juni – 1. Juli 2004, Hamburg, Germany: 654.
- Parker, R. B. (1974):** Probiotics – The other half of the antibiotics story. Animal Nutrition and Health 29: 4–8.
- Pedersen, B. K. (1997):** Control of *Salmonella* in pig herds. In: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Epidemiology and Control of *Salmonella* in pork, 20. – 22. August 1997, Copenhagen: 179–181.
- Pietzsch, O. (1981):** *Salmonella*. In: Blobel, H., Schliesser, T. (Hrsg.): Handbuch der bakteriellen Infektionen bei Tieren. Bd. III, VEB Fischer Verlag, Jena.
- Platz, S. (1981):** Studies on survival of *Salmonella* in agricultural areas. Zentralblatt Bakteriologie, Mikrobiologie und Hygiene 173: 452–456.
- Popoff, M. Y., Bockemühl, J., Brenner, F. W. (2000):** Supplement 1997 (no. 42) to the Kauffmann-White scheme. Research Microbiology 151: 63–65.
- Popoff, M. Y., Bockemühl, J., Gheesling, L. L. (2004):** Supplement 2002 (no. 46) to the Kauffmann-White scheme. Research Microbiology 155 (7): 568–570.
- Prändl, O., Fischer, A., Schmidhofer, T., Sinell, H. J. (Hrsg.) (1988):** Fleisch – Technologie und Hygiene der Gewinnung und Verarbeitung. Ulmer Verlag, Stuttgart.
- Rabsch, W., Gericke, B., Tschäpe, H. (RKI) (2002):** Hackfleisch als Ursache von *Salmonella*-Ausbrüchen beim Menschen. In: Zoonosen des Schweins – Bekämpfung bakterieller Infektionen – eine ständige Aufgabe des gesundheitlichen Verbraucherschutzes. 21. Jenaer Symposium am 23./24. April 2002.
- Raybourne, R. B., Williams, K. M., Roberts, T. (2003):** Food poisoning: economic implications. Arthritis Working Group. In: Cabballero, B., Trugo, L., Finglas, P. (Hrsg.): Encyclopedia of food sciences and nutrition. 10. Auflage, London: 2672–2682.
- RKI (Robert Koch-Institut) (1996):** Zur Taxonomie des Genus *Salmonella*. Epidemiologisches Bulletin des RKI 27: 185.

**RKI (Robert Koch-Institut) (Hrsg.) (2000):** Wichtige Infektionskrankheiten in Deutschland – zur Situation im Jahr 1999. Teil 1: Darminfektionen (Gastroenteritiden) – 1. Folge. In: Epidemiologisches Bulletin 2000, Nr. 23. Stand 12/2010:  
[http://www.rki.de/cln\\_049/nn\\_196444/DE/Content/Infekt/EpidBull/Archiv/2000/23\\_\\_00,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/23\\_\\_00.pdf](http://www.rki.de/cln_049/nn_196444/DE/Content/Infekt/EpidBull/Archiv/2000/23__00,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/23__00.pdf).

**RKI (Robert Koch-Institut) (2007):** Salmonellose, S.-Enteritidis Erkrankugen. Epidemiologisches Bulletin 2007, Nr. 48: 445–452. Stand 12/2010:  
[http://www.rki.de/cln\\_151/nn\\_504488/DE/Content/Infekt/EpidBull/Archiv/2007/48\\_\\_07,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/48\\_\\_07.pdf](http://www.rki.de/cln_151/nn_504488/DE/Content/Infekt/EpidBull/Archiv/2007/48__07,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/48__07.pdf).

**RKI (Robert Koch-Institut) (2008):** Infektionsepidemiologisches Jahrbuch meldepflichtiger Krankheiten für 2007. Stand 12/2010:  
[http://www.rki.de/cln\\_100/nn\\_196882/DE/Content/Infekt/Jahrbuch/Jahrbuch\\_\\_2007,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Jahrbuch\\_\\_2007.pdf](http://www.rki.de/cln_100/nn_196882/DE/Content/Infekt/Jahrbuch/Jahrbuch__2007,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Jahrbuch__2007.pdf).

**RKI (Robert Koch-Institut) (2010):** Salmonellose (Salmonellen-Gastroenteritis) – RKI-Ratgeber Infektionskrankheiten – Merkblätter für Ärzte. Stand 12/2010:  
[http://www.rki.de/cln\\_169/nn\\_504488/DE/Content/Infekt/EpidBull/Merkblaetter/Ratgeber\\_\\_Mbl\\_\\_Salmonellose.html](http://www.rki.de/cln_169/nn_504488/DE/Content/Infekt/EpidBull/Merkblaetter/Ratgeber__Mbl__Salmonellose.html).

**RKI (Robert Koch-Institut) SURVSTAT (2010):** SurvStat@RKI. Abfrage der Meldedaten nach Infektionsschutzgesetz (IfSG) über das Web, Stand 01/2011:  
[http://www.rki.de/cln\\_178/nn\\_197444/sid\\_B27BDFFC634E353490F26F14F67719BD/DE/Content/Infekt/SurvStat/survstat\\_\\_inhalt.html?\\_\\_nnn=true](http://www.rki.de/cln_178/nn_197444/sid_B27BDFFC634E353490F26F14F67719BD/DE/Content/Infekt/SurvStat/survstat__inhalt.html?__nnn=true).

**Roche Lexikon Medizin (2003a):** Mortalität. Roche-online, 5. Auflage, Urban & Fischer. Stand 12/2010: <http://www.tk-online.de/rochelexikon>.

**Roche Lexikon Medizin (2003b):** Serovar. Roche-online, 5. Auflage, Urban & Fischer. Stand 12/2010: <http://www.tk-online.de/rochelexikon>.

**Roche Lexikon Medizin (2003c):** Lipopolysaccharide. Roche-online, 5. Auflage Urban & Fischer. Stand 12/2010: <http://www.tk-online.de/rochelexikon>.

**Roche Lexikon Medizin (2003d):** Prävalenz. Roche-online, 5. Auflage Urban & Fischer. Stand 12/2010: <http://www.tk-online.de/rochelexikon>.

**Roesler, U., Heller, P., Von Altrock, A., Arnold, T., Lehmann, A. T., Waldmann, K. H. et al. (2004):** Reduction of *Salmonella* by vaccination of sows using herd-specific inactivated vaccines but not by antibiotic treatment. In: Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Pig Veterinary Society World Congress, Hamburg: 859.

**Rolle, M., Mayr, A. (2002):** *Salmonella*. In: Mayr, A. (Hrsg.): Medizinische Mikrobiologie – Infektions- und Seuchenlehre für Tierärzte, Biologen, Agrarwissenschaftler und Interessierte aus benachbarten Fachgebieten. 7. Auflage, Enke Verlag, Stuttgart: 462–478.

**Sander, J. (1993):** Pathogenese der *Salmonella*-Infektion des Menschen. Deutsche tierärztliche Wochenschrift 100: 283–285.

**Schmidt, J. (2004):** Möglichkeiten und Grenzen von Kosten-Ergebnis-Analysen im Bereich Psychosomatik und Psychotherapie. In: Vogel, H., Wasem, J. (Hrsg.): Gesundheitsökonomie in Psychotherapie und Psychiatrie – gesundheitsökonomische Untersuchungen in der psychotherapeutischen und psychiatrischen Versorgung. Schattauer, Stuttgart.

**Schöffski, O. (2008):** Grundformen gesundheitsökonomischer Evaluationen. In: Schöffski, O., Schulenburg, J.-M. Graf v. d. (Hrsg.): Gesundheitsökonomische Evaluationen. 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg.

**Schöning, S. (1999):** Untersuchungen zur Epidemiologie von Salmonelleninfektionen und zur Sanierung von salmonelleninfizierten Schweinezucht- und -vermehrerbetrieben. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover.

**Scholles, F. (2006):** Die Kosten-Nutzen-Analyse. Stand 12/2010:  
[http://www.laum.uni-hannover.de/ilr/lehre/Ptm/Ptm\\_BewKna.htm](http://www.laum.uni-hannover.de/ilr/lehre/Ptm/Ptm_BewKna.htm).

**Schug, L. (2005):** Gesundheitsförderung Schweiz – Kernthema „Psychische Gesundheit – Stress“ Ökonomische Perspektive. Bericht des Winterthurer Instituts für Gesundheitsökonomie WIG, Winterthur. Stand 12/2010:  
[http://www.gesundheitsfoerderung.ch/pdf\\_doc\\_xls/d/betriebliche\\_gesundheitsfoerderung/grundlagen\\_wissen/Wirkungsmanagement/Oekonomische-Perspektive.pdf](http://www.gesundheitsfoerderung.ch/pdf_doc_xls/d/betriebliche_gesundheitsfoerderung/grundlagen_wissen/Wirkungsmanagement/Oekonomische-Perspektive.pdf).

**Schulenburg, J.-M. Graf v. d., Greiner, W. (2007):** Gesundheitsökonomik – Neue ökonomische Grundrisse. 2. Auflage, Mohr Siebeck, Tübingen.

**Schwartz, F.-W. (1998):** Public Health: Zugang zu Gesundheit und Krankheit der Bevölkerung, Analysen für effektive und effiziente Lösungsansätze. In: Schwartz, F. W., Badura, B., Leidl, R., Raspe, H., Siegrist, J. (Hrsg.): Das Public Health Buch – Gesundheit und Gesundheitswesen, München.

**Schwartz, K. J. (1999):** Salmonellosis. In: Allaire, S. D., Mengeling, W. L., Straw, B.-E., Taylor, D. J.: Diseases of swine. 8. Aufl., Blackwell Science, London/Paris: 535–547.

**SCVPH (Scientific Committee on Veterinary Measures relating to Public Health) (2003):** Opinion of the Scientific Committee on Veterinary Measures relating to Public Health on *Salmonellae* in foodstuffs. Stand 12/2010: [http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scv/out66\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scv/out66_en.pdf).

**Seidler, T., Alter, T., Krüger, M., Fehlhaber, K. (2001):** Transport stress – consequences for bacterial translocation, endogenous contamination and bacterial activity of serum of slaughter pigs. Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift 114: 375–377.

**Selbitz, H.-J. (1992):** Lehrbuch der veterinärmedizinischen Bakteriologie. Gustav Fischer Verlag, Jena/Stuttgart.

**Selbitz, H.-J., Sinell, H.-J., Sziegoleit, A. (1995):** Das Salmonellen-Problem – Salmonellen als Erreger von Tierseuchen und Zoonosen. Gustav Fischer Verlag, Jena/Stuttgart.

**Selbitz, H.-J., Moos, M. (Hrsg.) (2003):** Tierärztliche Impfpraxis. 2. Aufl., Verlag Enke, Stuttgart: 49–50.

**Selbitz, H.-J., Springer, S., Lindner T., Holubek, R., Lauterbach, L., Rüdiger, H. (2006):** Immunprophylaxe von Salmonelleninfektionen und Salmonellosen der Tiere. Tierärztliche Praxis 34: 126–131.

**Sieverding, E. (2005):** Salmonellen: Jetzt wird's ernst. Sonderdruck dlz Agrarmagazin 8: 1–4

**Sinell, H. J. (2004):** Einführung in die Lebensmittelhygiene. 3. Aufl., Parey Verlag, Berlin/Hamburg.

**Stärk, K. D. C., Wingstrand, A., Dahl, J., Møgelgård, V., Lo Fo Wong, D. M. A. (2002):** Differences and similarities among experts' opinions on *Salmonella enterica* dynamics in swine pre-harvest. *Preventive veterinary medicine* 53 (1–2): 7–20.

**Statistisches Bundesamt (2006):** Wirtschaftsrechnungen – Einkommens- und Verbrauchsstichprobe – Aufwendungen privater Haushalte für Nahrungsmittel, Getränke und Tabakwaren. Fachserie 15, Heft 3. Stand 12/2010: <https://www-ec.destatis.de/csp/shop/sfg/bpm.html.cms.cBroker.cls?cmspath=struktur,vollanzeige.csp&ID=1018175>.

**Statistisches Bundesamt (2008a):** Ergebnisse der Todesursachenstatistik für Deutschland – Ausführliche vierstellige ICD10-Klassifikation 2007. Stand 12/2010: <https://www-ec.destatis.de/csp/shop/sfg/bpm.html.cms.cBroker.cls?cmspath=struktur,vollanzeige.csp&ID=1023519>.

**Statistisches Bundesamt (2008b):** Vom Erzeuger zum Verbraucher – Fleischversorgung in Deutschland. Ausgabe 2008. Stand 12/2010: <https://www-ec.destatis.de/csp/shop/sfg/bpm.html.cms.cBroker.cls?cmspath=struktur,sfgsuchergebnis.csp>.

**Statistisches Bundesamt (2009):** Bevölkerung und Erwerbstätigkeit – Sterbetafel Deutschland 2006/08. Stand 12/2010: <http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Statistiken/Bevoelkerung/GeburtenSterbefaelle/Tabellen/Content100/SterbetafelDeutschland,templateId=renderPrint.psml>.

**Stege, H., Christensen, J., Baggesen, D. L., Nielsen, J. P. (1997):** Subclinical salmonella infection in Danish finishing pig herds: The effect of *Salmonella* contaminated feed. In: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on the Epidemiology and Control of *Salmonella* in Pork, 20. – 22. August 1997, Copenhagen, Denmark: 81–84.

**Stege, H., Christensen, J., Nielsen, J. P., Willenberg, P. (2001):** Data-quality issues and alternative variable-screening methods in a questionnaire-based study on subclinical *Salmonella enteric* infection in Danish pig herds. *Preventive Veterinary Medicine* 48 (1): 35–54.

**Steinbach, G. (1997):** Zum Begriff der Erregerfreiheit von Tierbeständen. *Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift* 110: 247–250.

**Steinbach, G. (2002):** Bekämpfung von *Salmonella*-Infektionen bei Schweinen. Möglichkeiten und Grenzen serologischer Untersuchungen. *Fleischwirtschaft* 12: 93–96.

**Steinbach, G., Hartung, M. (1999):** Versuch einer Schätzung des Anteils menschlicher Salmonellen-Erkrankungen, die auf vom Schwein stammende Salmonellen zurückzuführen sind. *Berliner und Münchener tierärztliche Wochenschrift* 112: 296–300.

**Steinbach, G., Kroell, U. (1999):** *Salmonella*-Infektionen in Schweinebeständen – zu ihrer Epidemiologie und Bedeutung für Erkrankungen des Menschen. *Deutsche tierärztliche Wochenschrift* 106: 282–288.

**Tierärztliche Umschau Spezial (2007):** Tierärztliche Umschau – Impfstoffe und Sera für Tiere. 8: 46.

**Tschäpe, H., Bockemühl, J. (2002):** Lebensmittelübertragene Salmonellose in Deutschland. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 45: 491–496.

**TSH (Tierärztliche Spezialisten Hamburg) (2010):** Die chronische entzündliche Darmerkrankung (IBD). Stand 12/2010: <http://www.tsh.de/Innere/mdt/IBD.htm>.

**Van der Wolf, P. J., Elbers, A. R. W., Wolbers, W. B., Koppen, J. M. C. C., Van der Heijden, H. M. J. F., Van Schie, F. W., Hunnemann, W. A., Tielen, M. J. M. (1998):** Risk factors for salmonella in slaughter-pigs in the Netherlands. In: Proceedings of the 15<sup>th</sup> IPVS Congress, 5. – 9. July 1998, Birmingham, England: 68.

**Van der Wolf, P. J. (2002):** Salmonellenmonitoring im Schweinebestand: Worauf kommt es an? Vortragsband BPT-Kongress Schwein/Rind/Praxisführung, 7. – 10. November 2002, Nürnberg: 218–226.

**Van Lier, E. A., Havelaar, A. H. (2007):** Disease burden of infectious diseases in Europe: a pilot study. National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), RIVM report 215011001/2007, Bilthoven.

**Visscher, C. F. (2006):** Untersuchungen (Feldstudie) zur Salmonellen-Prävalenz bei Mastschweinen unter dem Einfluss einer gröberen Futtermahlung sowie von Futteradditiven (organische Säuren bzw. Kaliumdiformiat). Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover.

**Von Altrock, A., Schütte, A., Hildebrandt, G. (2000):** Untersuchungsergebnisse aus Deutschland zu dem EU-Projekt „*Salmonella* in Pork (Salinpork)“ – 1. Mitteilung: Untersuchungen in den Beständen. Berliner und Münchener tierärztliche Wochenschrift 113: 191–201.

**Vose, D. (2008):** Risk Analysis – a quantitative guide. 3. Auflage, England.

**Wagner, B., Landfried, K. (1999):** Bullenmast mit Mikroorganismen. Veredlungsproduktion 4: 80–81.

**Waldmann, K.-H., Plonait, H. (1997):** Erkrankungen der Verdauungsorgane und des Abdomens. In: Plonait H., Bickhardt K. (Hrsg.). Lehrbuch der Schweinekrankheiten. Verlag Parey, Berlin: 307–384.

**Waldmann, K.-H., Wendt, M. (2004):** Lehrbuch der Schweinekrankheiten. 4. Auflage, Verlag Parey, Berlin.

**Waller, H. (2006):** Gesundheitswissenschaft – Eine Einführung in Grundlagen und Praxis. 4. Auflage, W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart.

**Wendt, M., Plonait, H. (2004):** Salmonelleninfektion und Salmonellose. In: Waldmann, K. H., Wendt, M. (Hrsg.): Lehrbuch der Schweinekrankheiten. 4. Auflage, Verlag Parey, Berlin: 344–348.

**Wierup, M. (1997):** Principles for integrated surveillance and control of salmonella in swine production. In: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Epidemiology and Control of *Salmonella* in Pork, Copenhagen: 42–49.

**WIKIPEDIA – Die freie Enzyklopädie (2010):** Inzidenz (Medizin). Stand 12/2010: [http://de.wikipedia.org/wiki/Inzidenz\\_%28Medizin%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Inzidenz_%28Medizin%29).

**WIKIPEDIA – Die freie Enzyklopädie (2011):** Monte-Carlo-Simulation. Stand 01/2011: <http://de.wikipedia.org/wiki/Monte-Carlo-Simulation>.

**Wingstrand, A., Dahl, J., Thomson, L. K., Jorgensen, L., Lensen, B. B. (1997):** Influence of dietary administration of organic acids and increased feed structure on salmonella typhimurium infection in pigs. In: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium of Epidemiology and Control of *Salmonella* in Pork, Copenhagen: 170–172.

**WIRTSCHAFTSLEXIKON24 (2010a):** Clusteranalyse. Stand 12/2010:  
<http://www.wirtschaftslexikon24.net/d/clusteranalyse/clusteranalyse.htm>.

**WIRTSCHAFTSLEXIKON24 (2010b):** Externer Effekt. Stand 12/2010:  
<http://www.wirtschaftslexikon24.net/d/externer-effekt/externer-effekt.htm>.

**World Bank (2003):** Investing in health: World Development Report 1993. World Bank, Washington.

**Wray, C. W., Soyka, W. J. (1977):** Reviews of the progress of dairy science: bovine salmonellosis. *Journal of Dairy Science* 44: 383–425.



## 10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: <i>Salmonella</i> Typhimurium mit Geißeln (G) und 7-nm-Fimbrien (F), die an der Plasmamembran entspringen	15
Abbildung 2: Taxonomie des Genus <i>Salmonella</i>	16
Abbildung 3: Stammbaum der Gattung <i>Salmonella</i>	17
Abbildung 4: Grundzüge der Epidemiologie der Salmonellosen	18
Abbildung 5: Multiplikatoren der Erkrankungszahlen für England und Niederlande	34
Abbildung 6: Die Entwicklung der Salmonellosen beim Menschen, 2001–2007	34
Abbildung 7: Übermittelte Salmonellosen pro 100.000 Einwohner nach Alter und Geschlecht in Deutschland, 2007	35
Abbildung 8: Der Eintrag von zoonotischen Salmonellen in die Lebensmittelkette	37
Abbildung 9: Risikofaktoren des Eintrages von Salmonellen	38
Abbildung 10: Infektionswege der Salmonellose	39
Abbildung 11: Vertikaler Eintrag = Ferkelherkunft	40
Abbildung 12: Stufen der Schweineproduktion (Angaben von Tagen und Gewicht)	41
Abbildung 13: Horizontaler Eintrag: Risikofaktoren Tierfutter/Tränkwasser, Mensch, Haustiere/Schadnager/Insekten sowie Transport	42
Abbildung 14: Risikofaktoren des Salmonelleneintrages auf Betriebsebene	47
Abbildung 15: Systematik gesundheitsökonomischer Evaluationen	54
Abbildung 16: Einzelwirtschaftliche vs. gesamtwirtschaftliche Verfahren zur Unterstützung bei der Entscheidungsfindung	55
Abbildung 17: Kostenarten nach Zurechenbarkeit und Tangibilität	55
Abbildung 18: Ansätze der gesundheitsökonomischen Evaluation	57
Abbildung 19: Kosten-Wirkungsmatrix	60
Abbildung 20: DALY-Berechnung anhand eines Beispiels	62
Abbildung 21: Altersverteilung der verstorbenen Männer	63
Abbildung 22: Altersverteilung der verstorbenen Frauen	63
Abbildung 23: Outcome-Tree <i>Salmonella</i>	64
Abbildung 24: Auswirkungen des Einsatzes von Maßnahmen im Betrieb auf den Verbraucher	67
Abbildung 25: Die Lebensmittelkette „From Farm to Fork“	68
Abbildung 26: „Farm-to-Fork-Modell“	69
Abbildung 27: „Farm-to-consumption“-Kette der Schweinefleischproduktion	72
Abbildung 28: Aufbau der QRMA der EFSA – Übersicht der vier Module	73
Abbildung 29: Überblick über das Farm-Modell	74
Abbildung 30: Der Schlachtprozess	75
Abbildung 31: Verarbeitungswege der drei Produktgruppen „pork cuts“, „minced meat“ und „fermented sausages“	76
Abbildung 32: Aufbau des Modells und eingehende Parameter	79

Abbildung 33: Modul 1 – Betrieb	80
Abbildung 34: Prävalenz im Betrieb	83
Abbildung 35: Berechnung der Prävalenz im Betrieb	84
Abbildung 36: Modul 2 – Transport und Wartestall	85
Abbildung 37: Berechnung der Prävalenz nach Transport und Wartestall	88
Abbildung 38: @Risk-Output – Prävalenz nach Transport und Wartestall	89
Abbildung 39: Modul 3 – Schlachtprozess	90
Abbildung 40: Der Schlachtprozess	91
Abbildung 41: Fließschema einer Schweineschlachtstraße	92
Abbildung 42: Gesamtkeimzahl ( $\log_{10}$ cfu $\text{cm}^2$ ) bei Schweinekarkassen	94
Abbildung 43: Prävalenz der Schweinehälften nach der Schlachtung	97
Abbildung 44: Fleischverbrauch und Fleischverzehr je Kopf der Bevölkerung	98
Abbildung 45: Berechnung der Prävalenz nach dem Schlachtprozess	99
Abbildung 46: Modul 4 – Produktverarbeitung.	99
Abbildung 47: Struktur der Ausgaben privater Haushalte für Fleisch und Fleischwaren nach EVS, 2003	101
Abbildung 48: Berechnung der Prävalenz nach der Verarbeitung	103
Abbildung 49: Prävalenz nach der Produktverarbeitung zur Produktklasse Frischfleisch	104
Abbildung 50: Berechnung der Prävalenz nach der Verarbeitung	105
Abbildung 51: Prävalenz nach der Produktverarbeitung zur Produktklasse Hackfleisch	105
Abbildung 52: Berechnung der Prävalenz nach der Verarbeitung	106
Abbildung 53: Prävalenz nach der Produktverarbeitung zur Produktklasse hitzebehandelte Fleischerzeugnisse	106
Abbildung 54: Berechnung der Prävalenz nach der Verarbeitung	107
Abbildung 55: Prävalenz nach der Produktverarbeitung zur Produktklasse anderweitig konservierte Fleischerzeugnisse	108
Abbildung 56: Erhitzen des Produktes Fleisch durch den Verbraucher	109
Abbildung 57: Berechnung der <i>Salmonella</i> -positiven Gesamtmasse des Produktes Frischfleisch nach dem Erhitzen	110
Abbildung 58: Berechnung der Anzahl <i>Salmonella</i> -positiver Proben	110
Abbildung 59: Dosis-Wirkungs-Beziehung	111
Abbildung 60: Berechnung des Outputs – Kranke Personen durch das Produkt	112
Abbildung 61: Berechnung der Prävalenz nach der Verarbeitung	113
Abbildung 62: Geschätzte Erkrankungszahl 2007 durch die Produktklasse Frischfleisch	113
Abbildung 63: Erhitzen des Produktes Hackfleisch durch den Verbraucher	114
Abbildung 64: Berechnung der <i>Salmonella</i> -positiven Gesamtmasse des Produktes Hackfleisch nach dem Erhitzen	115

---

Abbildung 65: Berechnung der Anzahl <i>Salmonella</i> -positiver Proben	116
Abbildung 66: Berechnung des Outputs – Kranke Personen durch das Produkt	116
Abbildung 67: Berechnung der Prävalenz nach der Verarbeitung	117
Abbildung 68: Geschätzte Erkrankungszahl 2007 durch die Produktklasse Hackfleisch	117
Abbildung 69: Berechnung des Outputs – Geschätzte jährliche verursachte Erkrankungszahl durch hitzebehandelte bzw. anderweitig konservierte Produkte	119
Abbildung 70: Geschätzte Erkrankungszahl 2007 durch die Produktklasse hitzebehandelte Fleischerzeugnisse	119
Abbildung 71: Geschätzte Erkrankungszahl 2007 durch die Produktklasse hitzebehandelte Fleischerzeugnisse	120
Abbildung 72: Geschätzte Erkrankungszahl 2007 durch anderweitig konservierte Fleischerzeugnisse	120
Abbildung 73: Geschätzte Erkrankungszahl 2007 durch anderweitig konservierte Fleischerzeugnisse	120
Abbildung 74: Geschätzte jährliche Gesamterkrankungszahl	121
Abbildung 75: Berechnung der geschätzten jährlichen Gesamterkrankungszahl	121
Abbildung 76: Berechnung der geschätzten jährlichen Anzahl der Todesfälle Gesamt	122
Abbildung 77: Berechnung der Years of Life Lost	124
Abbildung 78: Berechnung der Years lived with Disability	126
Abbildung 79: Berechnung der DALYs – „Impfen der Schweine“	128
Abbildung 80: Berechnung der DALYs – „Impfen der Schweine“ (Fortsetzung)	129
Abbildung 81: Berechnung der DALYs – „Testen der Schweine“	130
Abbildung 82: Berechnung der DALYs – „Testen der Schweine“ (Fortsetzung)	131



## 11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht zu den Spezies und Subspezies der Gattung <i>Salmonella</i>	17
Tabelle 2: Einteilung der Salmonellen nach Wirtsanpassung und Bedeutung für Tiere und Menschen	19
Tabelle 3: Überlebenszeit von <i>Salmonella</i> , angegeben in d = Tagen in verschiedenen Substraten	20
Tabelle 4: Überlebenszeit von <i>Salmonella</i> im Stallmilieu	21
Tabelle 5: Prävalenz von <i>Salmonella</i> spp. bei Schlachtschweinen nach Studienquartal	28
Tabelle 6: Stichprobenschlüssel der zu untersuchenden Schweine nach der Schweine-Salmonellen-Verordnung	29
Tabelle 7: Bewertung und Kategorisierung der Ergebnisse nach der Schweine-Salmonellen-Verordnung	29
Tabelle 8: Lebensmittel-Planprobenuntersuchungen auf Salmonellen, 2007	32
Tabelle 9: Cost-of-illness einer Salmonelleninfektion in Millionen €, 2004	56
Tabelle 10: Todesursachen nach ICD-10 infolge einer Salmonelleninfektion, 2007	62
Tabelle 11: Parameter des „Betrieb“-Moduls	81
Tabelle 12: Übersicht der Daten zur Prävalenz von Mast- und Zuchtschweinen für das Jahr 2007	82
Tabelle 13: Bruttoeigenerzeugung von Schweinen (in 1.000 Stück)	84
Tabelle 14: Parameter des „Transport- und Wartestall“-Moduls	85
Tabelle 15: Studien zum Prävalenzanstieg durch Transport und Wartestall	87
Tabelle 16: Parameter des „Schlachtprozess“-Moduls	90
Tabelle 17: Übersicht von Studien zur Prävalenzreduktion durch den Schlachtprozess	96
Tabelle 18: Parameter des „Produktverarbeitungs“-Moduls	100
Tabelle 19: Aufwendungen privater Haushalte für Fleisch und Fleischwaren – Ausschnitt aus der Übersicht 2	102
Tabelle 20: Werte der Parameter $A_x$	103
Tabelle 21: Parameter in Bezug auf das Erhitzen des Produktes Frischfleisch	109
Tabelle 22: Parameter in Bezug auf den Dosis-Wirkungs-Zusammenhang	111
Tabelle 23: Parameter geschätzte jährliche Erkrankungszahl durch ein Produkt	112
Tabelle 24: Parameter in Bezug auf das Erhitzen des Produktes Hackfleisch	115
Tabelle 25: Parameter in Bezug auf hitzebehandelte bzw. anderweitig konservierte Fleischerzeugnisse	118
Tabelle 26: DALYs nach Todesursachen und Geschlecht	125
Tabelle 27: Wichtungsfaktoren (Disability weights) nach Krankheiten	126
Tabelle 28: Durch das Modell errechnete Gesamterkrankungszahlen und Todesfälle bei reduzierter Prävalenz im Betrieb	127
Tabelle 29: Durch das Modell errechnete Gesamterkrankungszahlen und Todesfälle bei reduzierter Prävalenz im Betrieb	128

---

Tabelle 30: Durch das Modell errechnete DALYs und Nutzen der Maßnahme „Impfen der Schweine“ in DALYs	128
Tabelle 31: Durch das Modell errechnete DALYs und Nutzen der Maßnahme „Testen der Schweine“ in DALYs	130
Tabelle 32: Ranking der Szenarien nach dem Betrag je verhindertem DALY	132