



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN



DIPLOMARBEIT

# Simulation des Ausbruchs der Maul- und Klauenseuche in Österreich

zur Erlangung des akademischen Grades

**Diplom-Ingenieur**

im Rahmen des Studiums

**Geodäsie und Geoinformation**

eingereicht von

**Julian Hauer BSc**

Matrikelnummer 01127040

ausgeführt am Department für Geodäsie und Geoinformation  
der Fakultät für Mathematik und Geoinformation  
der Technischen Universität Wien

Betreuung

Betreuer: Univ.Prof. Dr. Dipl.-Ing. Gerhard Navratil

Wien, am 11. Oktober 2020

\_\_\_\_\_  
(Unterschrift VerfasserIn)

\_\_\_\_\_  
(Unterschrift BetreuerIn)

## Kurzfassung

Die Maul- und Klauenseuche ist eine hoch kontagiöse Viruserkrankung der Klauentiere, die in der Vergangenheit in zahlreichen Seuchenzügen Millionen Tieren das Leben kostete. Praktisch weltweit verbreitet besteht jederzeit die Möglichkeit, den Krankheitserreger in die Population einzuschleppen. Zu den Übertragungsarten zählen lokale Übertragung, Transport infizierter Tiere und die indirekte Übertragung durch Menschen und Material. In dieser Arbeit wird mit dem Programm InterSpread Plus der Ausbruch der Maul- und Klauenseuche im österreichischen Rinderbestand simuliert. Dazu wurde ein geeigneter Parametersatz gefunden, der unter realistischen Bedingungen die Größenordnung von infizierten Betrieben und Tieren sowie der Ausbruchsdauer liefert. InterSpread Plus wurde bereits bei dem letzten großen Ausbruch in Europa, 2001 in Großbritannien mit über 6 Millionen gekeulten Tieren, verwendet, um den weiteren Verlauf zu simulieren.

Der Rinderbestand in Österreich beträgt mit Stichtag 1.12.2019 54.790 Betriebe mit insgesamt ca. 1,8 Millionen Rindern. Diese Betriebe sowie 22 Schlachthöfe und 20 Märkte bildeten die Grundlage des Modells. Eingabeparameter für Infektiosität, Transporte, Schutz- und Überwachungszonen, Überwachung, Ressourcenmanagement u.v.m. wurden aus der Literatur erarbeitet und an die österreichischen Gegebenheiten angepasst. Ein Basismodell mit diesem Parametersatz bildet die Grundlage für eine Sensitivitätsanalyse. Dabei wurden einzelne Parameter variiert um deren Einfluss auf die Simulation zu beurteilen.

Im Median (0,25- bzw. 0,75 Quantil dazu in Klammer) dauert der Ausbruch des Basismodells 53 Tage (37 - 87), 95 infizierte Betriebe (58 - 276) und 2.413 infizierte Tiere (1.385 - 6.154). Bei der Sensitivitätsanalyse zeigte sich, dass die High-Risk Periode (Zeit zwischen Infektion des ersten Betriebs und der ersten Entdeckung) bzw. die lokale Übertragung den größten Einfluss auf den Ausgang zeigen. Dagegen zeigten Variationen der Infektiosität bei Transporten, extra Kontakte von Tierärzten und Bewegungseinschränkungen in den Zonen kaum Einfluss auf den Ausgang.

Neben den gesetzlichen Vorgaben zur Bekämpfung von MKS wurden 2 weitere Szenarien untersucht: die Erreichung einer Keulungszone und einer Impfzone um detektierte Betriebe. Bei der Keulungszone von 500m zeigt sich, dass die gekeulten Betriebe im Median leicht steigen, die Dauer jedoch reduziert wird. Dies könnte an ausgewählten Standorten eingesetzt werden, um einen Ausbruch schnell unter Kontrolle zu bekommen. Größere Keulungszonen und alle Impfzonen boten keine Verbesserung zum Basismodell.

## Abstract

Food and Mouth Disease (FMD) is a highly contagious viral infection that affects clove-hoofen animals. In the past, millions of animals lost their lives due to FMD. The disease is spread almost all over the world, so the danger of introducing FMD into the population is omnipresent. The transmission takes place through local spread, transportation of infected animals and indirect movements (human and material).

In this thesis, the spread of FMD in cattle in Austria will be simulated with the software InterSpread Plus. Therefore, a set of parameters was developed to create a realistic outcome regarding to infected farms, animals and the duration. InterSpread Plus was already used during the outbreak in Great Britain 2001 to simulate the ongoing epidemic, where over 6 million animals were culled.

In Austria, by the reporting date of December 1<sup>st</sup>, 2019, approximately 1,8 million cattle at 54.790 farms were registered. These farms as well as 22 abattoirs and 20 markets form the base of the model. Input parameters for infectivity, movements, zones, surveillance, resource management and more were derived from literature and adjusted to fit Austrian conditions. The base model is the basis for a sensitivity analysis where some input parameters are varied to show their influence on the model.

The median (0,25- and 0,75 quantil in brackets) of the base model is a duration of 53 days (37 - 87), 95 infected farms (58 - 276) and 2.413 infected cattle (1.385 - 6.154). The sensitivity analysis shows that the High-Risk periode (time from first infection to first detection) and the local spread have the highest influence on the outcome. In contrast, variations of infectivity of movements, extra contacts from veterinarian and movement restrictions within surveillance and protection zones show hardly any effect.

In addition to the legal regulations, two different scenarios were modelled: establishing a culling and vaccination zone around detected farms. A culling zone with 500 meters radius results in a slight increase of culled farms, but decrease in duration. This strategy could be used locally to reduce the spread in selected areas. Larger culling zones and all vaccination zones showed no improvements to the base model.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>6</b>
<b>2. Maul- und Klauenseuche</b>	<b>8</b>
2.1. Pathogenese und Verbreitung . . . . .	8
2.2. Infektiosität und Übertragung . . . . .	9
2.3. Rechtlicher Rahmen bei MKS-Verdacht in Österreich . . . . .	10
2.4. Impfung und Behandlung . . . . .	11
2.5. MKS Ausbruch in Großbritannien 2001 . . . . .	11
<b>3. Material und Methoden</b>	<b>15</b>
3.1. Einführung in die räumliche Modellierung . . . . .	15
3.2. InterSpread Plus . . . . .	15
3.2.1. Epidemiologischer Rahmen . . . . .	16
3.2.2. Zustände und epidemiologische Historie . . . . .	18
3.2.3. Zonen . . . . .	20
3.2.4. Infektiosität . . . . .	20
3.2.5. Möglichkeiten der Übertragung . . . . .	22
3.2.6. Bewegungen und Routen . . . . .	23
3.2.7. Kontrollmaßnahmen . . . . .	25
3.2.8. Ausgabe . . . . .	28
3.3. Rinderbestand Österreich . . . . .	28
<b>4. Ergebnisse</b>	<b>31</b>
4.1. Basismodell . . . . .	31
4.1.1. Bewegungen . . . . .	32
4.1.2. Lokale Übertragung . . . . .	33
4.1.3. Infektiosität . . . . .	34
4.1.4. Zonen . . . . .	34
4.1.5. Ressourcen . . . . .	34
4.1.6. Überwachung . . . . .	34
4.1.7. Standortwahl und Ergebnis . . . . .	35
4.2. Sensitivitätsanalyse . . . . .	38
4.2.1. High Risk Periode . . . . .	38
4.2.2. Inkubationszeit . . . . .	40
4.2.3. Transporte . . . . .	42
4.2.4. Lokale Übertragung . . . . .	46
4.2.5. Keulungszone . . . . .	47
4.2.6. Impfzone . . . . .	50

## Inhaltsverzeichnis

4.2.7. Impfung - Immunität . . . . .	52
4.2.8. Bewegungseinschränkungen . . . . .	54
<b>5. Diskussion</b>	<b>56</b>
5.1. High Risk Periode . . . . .	56
5.2. Inkubationszeit . . . . .	56
5.3. Transporte . . . . .	56
5.3.1. Zwischen Betrieben . . . . .	56
5.3.2. Zu Märkten - Infektiosität . . . . .	57
5.3.3. Zu Märkten - Extra Kontakte . . . . .	57
5.4. Lokale Übertragung . . . . .	57
5.5. Keulungszone . . . . .	58
5.6. Impfzone . . . . .	58
5.7. Impfung - Immunität . . . . .	59
5.8. Bewegungseinschränkungen . . . . .	59
<b>6. Zusammenfassung</b>	<b>60</b>
<b>A. Epidemic History</b>	<b>64</b>
<b>B. Eingabeparameter in InterSpread Plus</b>	<b>65</b>

# 1. Einleitung

Eine Epidemie ist ein räumlich und zeitlich begrenztes Auftreten einer Infektionskrankheit. Der Verlauf ist abhängig vom Infektionsweg und der Zahl der Individuen, die ein Infizierter während einer bestimmten Zeit anstecken kann. Als Pandemie wird eine Epidemie bezeichnet, die sie sich über Landesgrenzen und Kontinente hinweg ausbreitet (Pschyrembel et al., 2018).

Seit hunderten Jahren beschäftigen unterschiedliche Krankheitserreger die Menschheit und führten in zahlreichen Seuchenzügen zu Millionen Opfern. Neben der zeitlichen und räumlichen Ausbreitung werden Krankheitserreger, die ausschließlich Tiere betreffen, jene die nur Menschen betreffen und jene, die sowohl Tiere als auch Menschen infizieren können unterschieden. Sind Menschen und Tiere betroffen, spricht man von einer Zoonose (Pschyrembel et al., 2018).

Eine Auswahl vergangener Epidemien und Pandemien im Überblick:

Krankheit	Zeitraum	Infizierte	Verstorbene	Anmerkung
Pest	540 n. Chr.		50 % d. Bevölk.	(Russell, 1968)
	1346		25 Mio.	(Perry and Fetherston, 1997)
	Asien ab 1896		12 Mio.	
Influenza	1918-1920	500 Mio.	27 Mio.	Spanische Grippe
	jährlich		290.000-640.000	(Iuliano et al., 2018)
HIV	Seit 1983	73 Mio.	39 Mio.	
Tollwut	jährlich		60.000	
Maul- und Klauenseuche	Taiwan 1997		4 Mio. Schweine	25 % des Bestandes (Klee, 2016)
	England 2001		6 Mio. Tiere	12 Mrd. Dollar Kosten (Thompson et al., 2002)
Covid-19	Seit Dez. 2019	20 Mio.	70.000	Stand 10. August 2020 (JHU, 2020)

Tabelle 1.1.: Große Epidemien und Pandemien (World Health Organisation, 2020)

Diese Zahlen zeigen, wie wichtig Prophylaxe und Therapie zur Bekämpfung von Epidemien und Pandemien ist. Zur Prophylaxe zählen Kenntnisse über den Krankheitserreger (z.B. Infektiosität, Übertragungswege, Zoonosepotential), darauf abgestimmte Kontrollmaßnahmen (z.B. Quarantänemaßnahmen, Errichten von Schutzzonen) und Therapiemaßnahmen (z.B. Behandlung, Impfung, Keulung). Bei der Therapie ist es das Ziel, mit den gesammelten Informationen die Infizierten bestmöglich zu behandeln und eine Weiterverbreitung zu verhindern. In Österreich ist die Österreichische Agentur für Gesundheit

## 1. Einleitung

und Ernährungssicherheit GmbH (AGES) zuständig zum Schutz der Menschen und Tiere vor Infektionskrankheiten (AGES, 2020a).

Vor diesem Hintergrund entstand der Gedanke, die Simulation einer Tierseuche für Österreich durchzuführen. Entscheidungskriterien für die Wahl des Krankheitserregers waren:

- Hohe Pathogenität (Ansteckungsrate nahe 100 % bei Kontakt)
- Ansteckung durch direkten und indirekten Kontakt (Milchtanker, Veterinäre, Landwirte, Material)
- Keine zugelassene Impfung
- Geringer Einfluss von Wildtieren (z.B. Zugvögel)
- Eindeutige gesetzliche Regelungen
- Tatsächlicher vorhandener Tierbestand in Österreich zur realitätsnahen Simulation
- Hohes wirtschaftliches Interesse
- Anzeigepflichtig

Unter diesen Aspekten und nach intensiver Recherche zeigte sich, dass die Maul- und Klauenseuche (MKS), eine anzeigepflichtige Tierseuche bei Klauentieren (siehe Kapitel 2) gut zur Simulation geeignet war.

Die zu beantwortende Forschungsfrage lautet:

Ist eine realistische Simulation eines Ausbruchs der Maul- und Klauenseuche in Österreich möglich, was ist die zu erwartende Größenordnung an infizierten Betrieben und Tieren und welchen Einfluss haben einzelne Parameter auf das Ergebnis?

Das Ziel der Arbeit ist die Untersuchung der Verbreitung der Maul- und Klauenseuche in Österreich anhand der Simulation mit dem Programm InterSpread Plus (Version 6.1.1.46). Mit dem tatsächlichen Rinderbestand von 2019 des Agrarmarkt Austria (AMA) und einem erarbeiteten Parametersatz aus der Literatur soll eine möglichst realitätsnahe Simulation erzielt werden, die abschätzen lässt in welcher Größenordnung ein echter Ausbruch stattfinden wird. Ein Basismodell beschreibt einen Ausbruch unter gesetzlichen Vorgaben und Maßnahmen und bietet nach erfolgter Validierung die Grundlage für weitere Modelle. Neben dem Basismodell werden Szenarien untersucht, die von den gesetzlichen Vorgaben abweichen. Dazu zählen unterschiedliche Zonengrößen um infizierte Betriebe für präventives Impfen und Keulen sowie veränderte Bewegungseinschränkungen. Mittels einer Sensitivitätsanalyse wird überprüft, welche Eingabeparameter den Ausgang der Simulation am stärksten beeinflussen und ob dies in der Wirklichkeit erreicht werden kann. Ein Kostenmodell ist in dieser Arbeit nicht vorgesehen, die wirtschaftlichen Auswirkungen werden allein an der Anzahl der betroffenen Betriebe und der Dauer abgeschätzt.

## 2. Maul- und Klauenseuche

### 2.1. Pathogenese und Verbreitung

Die MKS ist eine hoch kontagiöse (ansteckende) Viruserkrankung bei Klautieren die durch Kontakt und Aerosol (feste oder flüssige Teilchen in der Luft) übertragen wird (Grubman and Baxt, 2004). Die Krankheit wurde erstmals im 16. Jahrhundert in Italien beschrieben (Fracastoro, 1546). 1897 konnte der Verursacher der MKS als das erste tierische Virus der Virusnatur zugeordnet werden und läutete so das Zeitalter der Viren ein (Grubman and Baxt, 2004; Sallu, 2016). Das Maul- und Klauenseuchevirus (MKSV) ist ein Picornavirus. Es existieren sieben Serotypen (sozusagen Variationen) wobei einige weltweit, andere geographisch beschränkt vorkommen (Jamal and Belsham, 2013). Die Unterscheidung der Serotypen ist wichtig bei einer Notimpfung, da keine Kreuzimmunität besteht. Kreuzimmunität beschreibt, dass bei Kontakt mit einem Erreger und nachfolgender Immunitätsbildung auch eine Immunität gegen einen anderen Erreger oder anderen Serotypen des selben Erregers ausgebildet wird.

Die anzeigepflichtige Tierseuche ist praktisch weltweit verbreitet und in allen Kontinenten außer Australien und Nordamerika enzootisch (ständiges oder sich häufig wiederholendes Auftreten in einem bestimmten Gebiet). Nur in Neuseeland wurde das Virus noch nie nachgewiesen (Grubman and Baxt, 2004). Gefährdet sind vor allem Schweine und Rindern. Bei Schafen und Ziegen verläuft die Erkrankung meist unauffällig (Pendell et al., 2007; Kitching and Hughes, 2002; Geering, 1967). Die World Organisation for Animal Health (OIE) sammelt weltweite Informationen zu MKS und stellt diese tabellarisch und graphisch dar. Abb.2.1 zeigt die Ausbrüche der MKS in den letzten 15 Jahren, die stark betroffenen Gebiete in Asien und Afrika sind gut ersichtlich (WAHIS, 2020). Blau beschreibt dabei vergangene, Rot dagegen aktuelle Ausbrüche. Die Benutzeroberfläche der OIE (World Animal Health Information System) beinhaltet die Daten seit 2005. In den USA, Kanada und Brasilien ist beispielsweise seit 2005 keine Fall gemeldet. Vor 2005 gab es dort mehrere Ausbrüche (Benutzeroberfläche HANDISTATUS II). Brasilien fährt eine Impfstrategie bis 2021, ist jetzt "MKS-frei mit Impfung" und soll 2023 "MKS-frei" werden. Die ersten Symptome zeigen sich nach einer Inkubationszeit von 3-7 Tagen (Arzt et al., 2019; Charleston et al., 2011). Sanson et al. (2006b) berechneten bei dem Ausbruch 2001 in Großbritannien einen Mittelwert von 5,6 Tagen (Medianwert 5, Spannweite 2-17, Standardabweichung 2,8). Es treten Primäraphthen (Aphthen sind meist schmerzhaft Bläschen an der Schleimhaut) an den Stellen auf, durch die das Virus in den Körper gelangt ist, meist im Mund (Stenfeldt and Arzt, 2020; AGES, 2020b). Nach der Vermehrung des Virus kommt es zur Generalisierung und Bildung von Sekundäraphthen, welchen vor allem im Maul, an der Zunge, dem Euter und den Klauen zu finden sind (Grubman and Baxt, 2004). Bei Kühen zeigt sich ein Rückgang der Milchleistung, in seltenen Fällen kann



## 2. Maul- und Klauenseuche

es bei Kälbern zur Degeneration des Herzmuskels kommen, die Folge davon ist meist der Tod des betroffenen Tieres (Stenfeldt and Arzt, 2020; AGES, 2020b). Da MKS eine Zoonose ist können auch Menschen infiziert werden. Die Symptome beschränken sich neben unspezifischen Allgemeinerkrankungen auf Aphthen in der Mundschleimhaut, an Fingern und im Genitalbereich (AGES, 2020b; Grubman and Baxt, 2004). In der Regel verläuft die Erkrankung beim Mensch nur leicht und heilt nach 10-14 Tagen ohne bleibende Schäden ab. (AGES, 2020b). Das Virus kann einige Zeit auf der Schleimhaut überleben und eine Übertragung auf andere Menschen oder Tiere ist möglich. Landwirte oder Tierärzte mit passenden Symptomen (vor allem Aphthenbildung) sollten somit stets eine Infektion mit MKS abklären lassen und in der Zeit keine empfänglichen Tiere betreuen.

In Europa gab es im 20. Jahrhundert mehrere Seuchenzüge, besonders schwere fanden 1910-1912, 1919-1921, 1937-1939 und 1950-1952 statt (AGES, 2020b). Der letzte große Ausbruch Europas fand im Jahr 2001 im Vereinigten Königreich statt (Gibbens et al., 2001) (siehe Kapitel 2.5). Österreich ist seit 1981 MKS-seuchenfrei (AGES, 2020b), der letzte große Ausbruch fand 1973 mit knapp 80.000 gekeulten Tieren statt (Land Niederösterreich, 2019).

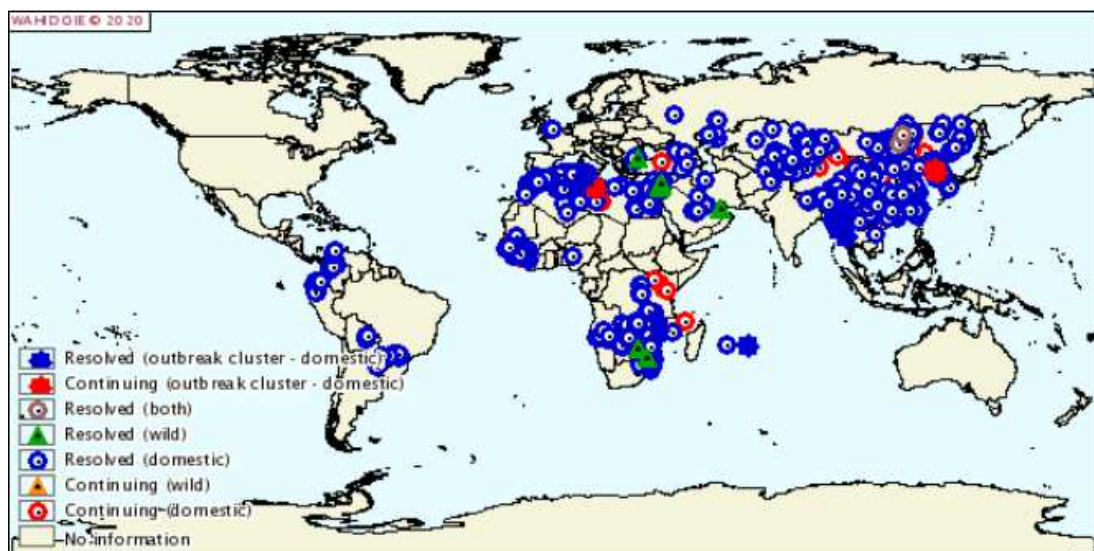


Abbildung 2.1.: Ausbrüche seit 2005 (WAHIS, 2020)

## 2.2. Infektiosität und Übertragung

Die Übertragung der MKS kann über mehrere Wege statt finden. Zu unterscheiden sind direkte und indirekte Übertragungsmöglichkeiten. Zu den direkten zählt der direkte Kontakt von infizierten Tieren zu empfänglichen Tieren bzw. Menschen. In infizierten Tieren befindet sich das Virus in der Ausatemluft, dem Speichel, dem Kot, dem Urin, dem Samen und der Milch bereits bis zu 4 Tage vor klinischen Symptomen. Weiteres können Fleisch und tierische Nebenerzeugnisse bei einem pH-Wert über 6 das Virus verbreiten (das Schwein als Allesfresser ist hier besonders anfällig). Abhängig von Temperatur und

## 2. Maul- und Klauenseuche

ph-Wert kann das Virus so bis zu einem Monat in der Umwelt überleben. Übertragungen über eine gemeinsam genutzte Weidefläche sind so beispielsweise auch möglich (WHO, 2013).

Die indirekte Übertragung erfolgt über Luft bzw. Wind und kontaminiertes Material. Die Luftübertragung, in Abhängigkeit von meteorologischen Parametern, kann über große Distanzen bis zu 60 km erfolgen. Kontaminiertes Material, dazu zählen z.B. Arbeitsgeräte von Landwirten und Tierärzten, Milchtanker, Transportfahrzeuge, Gewand, spielt bei falscher oder fehlender Hygiene ebenfalls eine Rolle bei der Weiterverbreitung in weitere Betriebe. Damit kann das Virus auch über große Distanzen Betriebe infizieren (WHO, 2013). Der Transport von infizierten Schafen war die Hauptursache für die rasche und großflächige Ausbreitung von MKS in England 2001 (siehe Kapitel 2.5).

Virussträger, genesen oder geimpft und dem Virus ausgesetzte Tiere, bei denen das Virus im Atmungstrakt für bis zu 28 Tage bestehen bleibt, können ebenfalls das Überträger in Frage kommen (WHO, 2013).

Im Falle der außerordentlich infektiösen MKS schätzt man, dass bereits 1 bis 10 MKS-Virus-Partikel ausreichen, eine Infektion beim Rind auszulösen (Gesellschaft e.V., 2020). Der Virus verbreitet sich somit rasch im gesamten Bestand (Morbidity 100 %). Diese ungehinderte Phase der Verbreitung innerhalb eines Tierbestandes wird High Risk Periode oder 'silent spread phase' genannt (Horst, 1998; Risk Solutions, 2003). Dies erklärt auch die Maßnahme, den gesamten Betrieb bei nachgewiesener Infektion zu keulen (AGES, 2020b). Die Keulung ist das (meist vorsorgliche) Töten eines Einzeltieres oder eines ganzen Bestandes mit anschließend fachgerechter Entsorgung, hauptsächlich um die Verbreitung einer Tierseuche zu verhindern. Im Gegensatz dazu steht die Schlachtung, welche eine Tötung von Tieren zum menschlichen Verzehr bezeichnet.

Die Verbreitung innerhalb der Population erfolgt durch Transport infizierter Tiere, Personal oder Material oder durch lokale Übertragung. Üblicherweise wird nach einiger Zeit die Infektion in einem Betrieb entdeckt, im Falle der MKS sind die Aphtenbildung sowie der Rückgang der Milchleistung ein starker Indikator (AGES, 2020b). Der erste positiv erkannte Betrieb wird als Indexfall bezeichnet (Stevenson et al., 2013) und es werden sofort Gegenmaßnahmen eingeleitet. Die Seuche kann sich in der Zwischenzeit jedoch schon weiter verbreitet haben. Der Indexfall muss nicht zwingend auch der zuerst infizierte Betrieb sein.

### 2.3. Rechtlicher Rahmen bei MKS-Verdacht in Österreich

Die MKS-Verordnung (BGBl. II Nr. 199, 2008) regelt das Vorgehen wie folgt: Durch die hohe Kontagiosität liegt der Fokus auf der frühen Erkennung und effektiven Bekämpfung der Seuche. Bereits ein Verdacht ist bei dem Amtstierarzt anzuzeigen, welcher weitere Schritte einleitet. Bestätigt sich der Verdacht in einem Betrieb werden alle Tiere ausnahmslos gekeult und seuchensicher entsorgt. Weiters wird eine mögliche Übertragung in andere Betriebe genau geprüft und Quarantänemaßnahmen ergriffen.

## 2. Maul- und Klauenseuche

Dies erklärt auch das hohe wirtschaftliche Interesse an der Bekämpfung der MKS da bei einer Infektion eines einzelnen Tieres der gesamte Bestand gekeult werden muss. Die Einrichtung einer Schutzzone mit mindestens drei Kilometer Radius erfolgt umgehend nach Bestätigung der Krankheit, innerhalb der Zone dürfen keine Tiere hinein und hinaus transportiert werden. Die künstliche Besamung ist ebenfalls untersagt um die Wahrscheinlichkeit einer Übertragung zu minimieren, da jeder Kontakt mit potentiell infizierten Tieren ein Risiko darstellt. Die drei Kilometer Radius sind ein Kompromiss zwischen bestmöglicher Sicherheit (durch lokale Übertragung infizierte Betriebe werden schneller entdeckt) und Wirtschaftlichkeit (Ressourcenmanagement, es können nicht alle Betriebe gleichzeitig überprüft werden). In der Überwachungszone, welche an die Schutzzone angrenzt und die einen Außenradius von mindestens zehn Kilometer hat, gelten die gleichen Regeln mit einer Ausnahme. Hier dürfen mit Genehmigung der Behörde Tiere verbracht werden. Unter dem Verbringen wird der Transport von Tieren von einem Betrieb zu einem anderen Betrieb, Schlachthof, Markt oder Besamungsstation bezeichnet.

### 2.4. Impfung und Behandlung

Eine Impfung ist in der Europäischen Union verboten, Länder erhalten den Status MKS-frei durch regelmäßige serologische Untersuchungen des Nutztierbestandes (AGES, 2020b). Laut MKS-Verordnung (BGBl. II Nr. 199, 2008) kann eine Notimpfung von der Bundesministerin für Gesundheit, Familie und Jugend angeordnet werden. Der Grundgedanke hinter dem Verbot liegt in der serologischen Untersuchung, da diagnostisch nicht zwischen Impfstoff und Virus unterschieden werden kann (Klee, 2016). Um amtlich MKS-frei zu sein müssen somit alle geimpften Tiere gekeult werden. Ein weiterer Aspekt ist die Zuverlässigkeit. Es besteht kein 100%iger Schutz nach einer Impfung (Halasa et al., 2011). Weiters sollte auf den Serotyp des MKSV geachtet werden da keine Kreuzimmunität zwischen den verschiedenen Typen besteht (Jamal and Belsham, 2013). Für MKS besteht laut (BGBl. II Nr. 199, 2008) ein striktes Behandlungsverbot. Einerseits besteht die Gefahr der Weiterverbreitung durch lokale Übertragung, Luftübertragung und den Tierarzt, andererseits gibt es zur Zeit keine wirksame Therapie gegen das Virus.

### 2.5. MKS Ausbruch in Großbritannien 2001

Der größte Ausbruch in Europa im 21. Jahrhundert fand 2001 in Großbritannien statt. Innerhalb von 9 Monaten wurden in 2026 Betrieben Tiere positiv auf MKS getestet und als Folge mussten über 6 Millionen Tiere gekeult werden (Gibbens et al., 2001; Scudamore and Harris, 2002). Am 19. Februar 2001 wurde in einem Schlachthof Lahmheit bei 27 Schweinen festgestellt. Bei der Untersuchung der restlichen 109 Schweine des zuliefernden Betriebs wurde am 20. Februar 2001 bei 28 Schweinen MKS diagnostiziert (Gibbens et al., 2001). Bei Entdeckung der Seuche hatte sich das Virus bereits unbemerkt im ganzen Land ausgebreitet. Vermutlich über lokale Übertragung infizierten sich in den Wochen davor Schafe in der Nähe des zuliefernden Betriebs, die über Transporte zu anderen Be-

## 2. Maul- und Klauenseuche

trieben und Märkten den Beginn der Epidemie einleiteten (Scudamore and Harris, 2002; Gibbens et al., 2001). Über intensive Recherche und Rückverfolgung aller Transporte wurde das Ausmaß langsam sichtbar (siehe Abb.2.2). Vor der Bestätigung von MKS wurden pro Woche 335 Nutztiermärkte abgehalten, auf denen viel mit Schafen gehandelt wurde (Anonym, 2000). Gehandelte Schafe trugen maßgeblich zur Verbreitung bei. Eine Infektion von Händlern oder Besuchern konnte nicht nachgewiesen werden.

Im Verlauf der Wochen bis Anfang April steigerten sich die bestätigten Fälle von Neuinfektionen auf bis zu 50 Betriebe pro Tag, bis sie Ende April auf etwa fünf pro Tag zurück ging (Gibbens and Wilesmith, 2002). Der letzte bestätigte Fall wurde am 30. September 2001 gemeldet und den Status MKS-frei erlangte Großbritannien von dem OIE (Office International des Epizooties) am 22. Jänner 2002 (Scudamore and Harris, 2002).

Nach der Bestätigung des ersten Betriebs wurden weitreichende Maßnahmen ergriffen: Sperrzonen und Überwachungszonen um mögliche infizierte Betriebe, Verbringungsverbot, Schlachtverbot. Bestätigt infiziert Betrieb wurden innerhalb von 24 Stunden gekeult. Thompson et al. (2002) schätzen den finanziellen Schaden für Großbritannien zwischen 10.7 und 11.7 Milliarden US-Dollar. Der Schaden setzt sich aus mehreren Faktoren zusammen:

- Exportverluste (Export von Rindern, Schweinen, Schafen und Ziegen aus Großbritannien wurde verboten)
- Wert der gekeulten Tiere
- Hygienemaßnahmen (Desinfektion und Wartezeit bis Wiederbelegung der betroffenen Betriebe)
- Neukauf von Tieren

Dies zeigt die enormen wirtschaftlichen Folgen, die ein Ausbruch der MKS haben kann und unterstreicht die Notwendigkeit für effektive Überwachungs- und Kontrollmaßnahmen.

Die Abbildungen 2.2 und 2.3 zeigen den Zusammenhang zwischen den Transporten infizierter Tiere, die vor dem 23. Februar 2001 durchgeführt wurden und dem örtlichen Auftreten von MKS bis 15. Juli 2001. Hotspots waren unter anderem der Longtown Market im Bezirk Cumbria im Norden, der Hereford Market in Herefordshire (mittig) und die Grafschaft Devon im Südwesten. Diese Bereiche sind in Abb. 2.3 markiert. Daraus ist ersichtlich dass die Entdeckung einer Tierseuche so früh wie möglich passieren muss damit eine Ausbreitung in diesem Maß verhindert werden kann.



## 2. Maul- und Klauenseuche

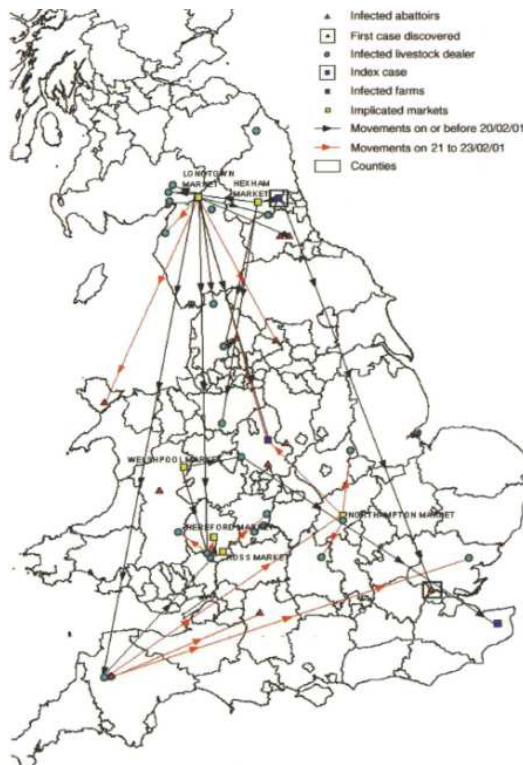


Abbildung 2.2.: Infizierte Transporte  
(Gibbens et al., 2001)

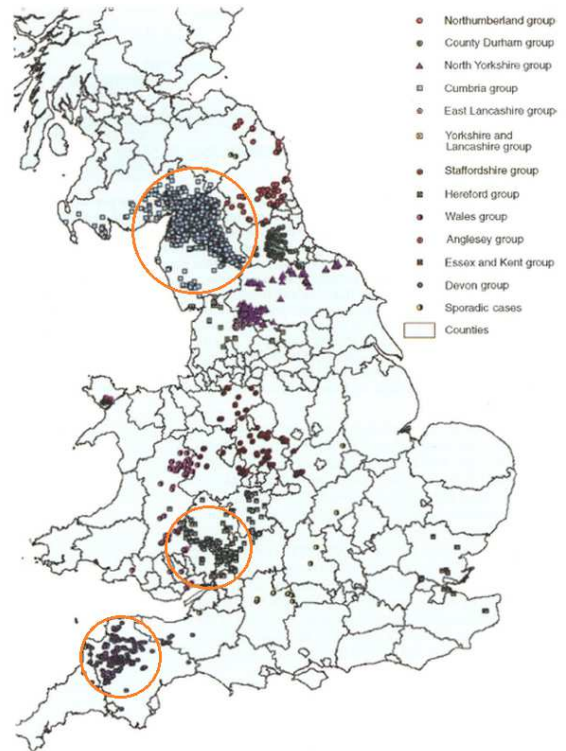


Abbildung 2.3.: Infektionsorte  
(Gibbens et al., 2001)

Zum ersten Mal wurde das deterministisch räumliche Modell InterSpread (Kapitel 3.2) zur Vorhersage der Ausbreitung verwendet (Morris et al., 2001, 2002). Vom 24. Februar bis 1. Oktober wurde zwei bis drei mal pro Woche eine Simulation gerechnet um Anzahl und Position der nächsten Infektionen zu bestimmen. Diese Simulationen wurden von Stevenson et al. (2003) mit der tatsächlichen Verbreitung verglichen, statistisch ausgewertet und durch Sensitivität und Spezifität beschrieben. Die Sensitivität beschreibt, wie gut eine Krankheit im Test erkannt wird. Je höher die Sensitivität, umso unwahrscheinlicher ist ein falsch negatives Ergebnis (Fehler 2. Art). Die Spezifität beschreibt, wie gut ein Gesunder auch als gesund erkannt wird. Je höher die Spezifität, umso unwahrscheinlicher ist ein falsch positives Ergebnis (Fehler 1. Art). Stevenson et al. (2003) zeigten, dass in einem Zeitraum von 28 Tagen die kumulative Zahl und die räumliche Verteilung gut bestimmt werden konnten. In Tabelle 2.1 sind die berechneten Werte für Sensitivität und Spezifität angegeben. Eine Spezifität von nahezu 100 % erklärt sich über die sehr hohe Anzahl (über 100.000) an nicht infizierten Betrieben, ein falsch negatives Ergebnis fällt somit fast nicht ins Gewicht. Die Spezifität für eine 14 tägige Vorhersage von 59 % bzw. 71 % für den Anfang bzw. das Ende der Simulation bedeutet, dass zwei Drittel der infizierten Betriebe korrekt vorhergesagt wurden. Das zeigt, dass im Fall eines echten Ausbruchs die Simulation gute erste Anhaltspunkte für potentiell infizierte Betriebe und dadurch zielgerichtete Maßnahmen, z.B. Verbringungsverbote, liefert. Eine höhere Sensitivität könnte über kleinräumige Modelle erzielt werden (Stevenson et al., 2003). In Tabelle 2.2 ist die vorhergesagte Gesamtzahl der infizierten Betriebe der tatsächlichen

## 2. Maul- und Klauenseuche

Gesamtzahl gegenüber gestellt. Hier lag die Simulation im Mittel um weniger als 2 % neben der tatsächlichen was für gute Simulationsparameter spricht, die den Seuchenverlauf kaum über- oder unterschätzen.

Simulationsstart	Tage	Sensitivität [%]	Spezifität [%]
7. April	0-14	59 (58-59)	99 (99-99)
	14-25	36 (35-37)	99 (99-99)
10. Juni	0-14	37 (36-38)	100 (100-100)
	14-28	29 (28-29)	100 (100-100)
3. Sept.	0-14	71 (69-73)	100 (100-100)
	14-28	38 (29-49)	100 (100-100)

Tabelle 2.1.: Sensitivität und Spezifität der räumlichen Verteilung, Mittelwert und 95 % Konvidenzintervall (Stevenson et al., 2003)

Simulationsstart	Ende	Vorhergesagt	Tatsächliche Anzahl
7. April	5. Mai	1.580 (1.480-1.710)	1.558
10. Juni	8. Juli	1.840 (1.790-1.940)	1.827
3. Sept.	1. Okt.	2.050 (2.020-2.090)	2.019

Tabelle 2.2.: Infizierte Betriebe, Mittelwert, Minimum und Maximum (Stevenson et al., 2003), Gesamtzahl Nutztierbetriebe über 100.000

## 3. Material und Methoden

### 3.1. Einführung in die räumliche Modellierung

Um eine Modellierung der Ausbreitung von MKS in Österreich erfolgreich durchführen zu können, muss zuerst definiert werden, wie eine räumliche Modellierung aufgebaut ist. Es gibt unterschiedliche Ansätze die alle unterschiedliche Probleme bestmöglich behandeln. Will man das Fließverhalten von Oberflächenwasser beschreiben, kann dies mit partiellen Differentialgleichungen beschrieben und in einem Rastermodell dargestellt werden. Dieser Lösungsansatz ist dagegen nicht in der Lage, Bewegungen von Menschen in Städten zu beschreiben. Dies kann über einen Agentenbasierten Ansatz realisiert werden. Dabei ist jedes Individuum ein Agent, der durch die Angabe von Zielen und Bewegungsmustern ein heterogenes Verhalten in Abhängigkeit von den anderen Individuen besitzt. Der Agentenbasierte Ansatz funktioniert jedoch bei der Beschreibung von Straßennetzen nicht mehr. Dazu muss ein netzwerkbasierter Ansatz, bestehend aus Knoten und Kanten, gerichtet oder ungerichtet, verwendet werden. Im Straßennetz sind die Knoten Straßenkreuzungen und die Kanten die Straßen. Netzwerkanalysen helfen beispielsweise, den kürzesten Weg zwischen zwei Knoten festzustellen.

Die Ausbreitung von MKS findet über verschiedene Wege statt. Der Transport infizierter Tiere, Luftübertragung und indirekte Übertragung durch Vektoren wie Menschen und Material müssen alle in dem Modell berücksichtigt werden. Daher muss ein kombinierter Ansatz gewählt werden, der alle Übertragungswege modellieren kann. Diesen Ansatz bietet die Software InterSpread Plus. Netzwerkbasierend werden die Betriebe und Transporte zwischen den Betrieben beschrieben. Über Agenten, in dem Fall von MKS Tierärzte, werden Kontrollmaßnahmen wie Keulungen und Impfungen durchgeführt. Für die Luftübertragung ist der Ansatz Kovarianzbasiert, es wird mittels Entfernung zu den weiteren Betrieben und der Übertragungswahrscheinlichkeit die Infektion simuliert.

### 3.2. InterSpread Plus

Das Computerprogramm InterSpread Plus bietet einen Rahmen zur Modellierung der Übertragung von infektiösen Seuchen (z.B. Maul- und Klauenseuche, Geflügelpest, klassische Schweinepest) in verschiedenen Populationen (Stevenson et al., 2013). Es wurde am EpiCentre der Massey Universität in Neuseeland entwickelt. Mithilfe von InterSpread Plus soll es möglich sein, verschiedene Seuchen möglichst realitätsnah zu simulieren um deren Auswirkungen abschätzen zu können (Stern, 2003).

### 3. Material und Methoden

Das Programm bietet über ein graphisches Interface die Möglichkeit, alle Daten einzugeben (siehe Abb.3.1). Bei der Simulation kann das Modell lokal auf dem Computer oder beim größeren Modellen in einem Netzwerk gerechnet werden (EpiSoft, 2019). Die Simulation läuft kurz beschrieben so ab: Alle Daten werden in den Speicher geladen, die Zustände werden mittels 'epidemic history file' gesetzt, der erste infizierter Betrieb ausgewählt. Die Übertragung wird mittels definierter Übertragungsparameter simuliert und Kontrollmaßnahmen werden ergriffen. Dieser Schritt wird für alle infizierten Betriebe wiederholt. Anschließend wird die Zeiteinheit um eins erhöht und der Prozess beginnt von vorne, bis die letzte Zeiteinheit erreicht ist (Stevenson et al., 2013). In den folgenden Kapitel wird auf das epidemiologische Modell und die Eingabeparameter eingegangen. Die möglichen Eingabedaten sind in Tabelle 3.1 kurz beschrieben.

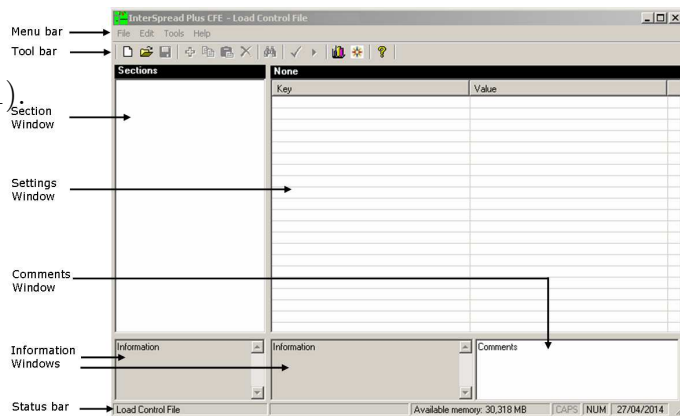


Abbildung 3.1.: InterSpread Plus Interface (EpiSoft, 2019)

#### 3.2.1. Epidemiologischer Rahmen

InterSpread Plus ist ein Zustandsübergangsmodell, das bedeutet, dass für jede simulierte Einheiten ein vorgegeben Zustand existiert (Stern, 2003).

Zentral für die Simulation ist die exakte Beschreibung der Tierpopulation, die infiziert werden kann. Dazu müssen die Farmen mittels Punkt- oder Polygonkoordinaten und den dort lebenden Tieren beschrieben werden. Die Tiere können in Tierarten (z.B. Schweine, Kühe, Schafe) und in Nutzungsklassen (z.B. Milchkühe, Mastschweine) unterteilt werden. Im Rahmen der Arbeit werden die Nutzungsklassen nicht unterschieden, da die Infektion mit MKS nicht von der Nutzungsklasse abhängt und bei einer Infektion der gesamte Bestand gekeult wird (AGES, 2020b).

In einem Modell ist es möglich, einzelne Standorte mit unterschiedlicher Bedeutung zu definieren. Farm locations definieren Standorte an denen Tiere gehalten werden. Contact locations definieren Schlachthöfe, Marktplätze und Ausstellungsplätze, hier werden keine Tiere dauerhaft gehalten jedoch besteht die Möglichkeit der Ansteckung durch Transport von und zu diesen Orten. Tierärzte und Material werden als Bewegungen definiert, sie besitzen keinen Standort sondern nur bei jedem Kontakt mit infizierten Tieren die Möglichkeit der Weiterverbreitung. Das Modell regelt jeden Standort für sich selbst und simuliert die Übertragung zwischen den Standorten basieren auf Wahrscheinlichkeiten und Zufall (Stern, 2003). Dies wird durch die Eingabeparameter bestimmt, die mögliche Transportdistanz zu und von Märkten regelt beispielsweise die Wahrscheinlichkeit einer Ansteckung in dem Gebiet. Dabei kann jedem Standort im Voraus ein Verhalten definiert werden, abhängig von dem Typ, dem Zustand und dem Ort (Stern, 2003).



### 3. Material und Methoden

<i>Eingabedaten</i>	<i>Beschreibung</i>
Farm location file	ASCII Datei in der alle Betriebe aufgeführt werden, beinhaltet Identifikationsnummer, Anzahl der Tiere, Nutzungsart und Koordinaten
Contact location file	ASCII Datei mit möglichen Sammelplätzen, z.B. Schlachthöfe, Ausstellungen und Märkte
Epidemic history file	Definiert den Beginn des Ausbruchs einer Seuche und ermöglicht Veränderungen im Zustand und Tierbestand über die Zeit
IterationCount	Anzahl der Durchläufe des Modells
TimePeriodCount	Anzahl der Zeiteinheiten
UserDefinedState	Vordefinierter Zustand der Betriebe z.B. 'on_surveillance', 'depopulated'
TimePeriodeTrigger	Startet und beendet Aktivitäten und Verhaltensmuster
Movements	Bewegungen von und zu Betrieben sowie Sammelplätzen und von Tierärzten
Infektivität	Beschreibt die Zeit bis zum Auftreten von klinischen Symptomen und die Krankheitsdauer
Local spread	Gibt die Wahrscheinlichkeit der Luftübertragung an
Zones	Schutz- und Überwachungszonen
Surveillance	Unterschiedliche Arten der Überwachung
Depopulation	Definiert ob und wann der Bestand gekeult wird
Vaccination	Definiert den Impfplan
Tracing	Erlaubt eine Rückverfolgung der Infektionskette
Movement restriction	Einschränkungen von Bewegungen und Transporten

Tabelle 3.1.: Beschreibungen der Eingabedaten von InterSpread Plus

Für ein möglichst realitätsnahes Modell der Übertragung der MKS wird der Rinderbestand in Österreich verwendet. Dazu wurde jeder Rinderbetrieb in Österreich mit karthischen Koordinaten und der gemeldeten Anzahl der Tiere 2019 verwendet (siehe Kapitel 3.3).

Um mit InterSpread Plus ein Simulation zu starten sind einige Eingabeparameter verpflichtend anzugeben:

- Farm file
- Epidemic history state file
- Anzahl der Iterationen
- Dauer der Simulation
- Infektiösität

### 3. Material und Methoden

- Einer oder mehrere Übertragungswege
- Zonen
- Ausgabeparameter

#### 3.2.2. Zustände und epidemiologische Historie

Innerhalb des Modells ist ein Betrieb eine epidemiologische Einheit die während der Simulation ihren Zustand ändern kann. Dieser Zustand wird vorab definiert und kann zum Beispiel folgende Werte annehmen: 'susceptible' (verdächtig), 'infected' (infiziert) und 'not at risk' (nicht gefährdet). Jeder Betrieb ist von Beginn der Simulation grundsätzlich auf 'susceptible' eingestellt, solange sich Tiere dort befinden, die infiziert werden können. 'Infected' bedeutet dass der Tierbestand infiziert ist und sich entweder in der Inkubationszeit befindet oder schon klinische Symptome zeigt. Während der Inkubationszeit ist die Wahrscheinlichkeit, die Krankheit zu entdecken deutlich geringer als wenn die Tiere bereits klinische Symptome zeigen. 'Not at risk' können nur Betriebe werden, deren Bestand entweder gekeult oder geimpft wurde. Diese Gruppen können weiter unterteilt werden (siehe Abb. 3.2). Es müssen nicht alle Zustände definiert werden. Gibt es zum Beispiel keine Impfung für eine Krankheit ist dieser Zustand wegzulassen.

Zustandsänderungen werden im Modell simuliert und sind von den verschiedenen Arten der Übertragung (Lokale Übertragung, Transporte und sekundäre Übertragungswege durch Personal und Geräte) und den erfolgte Maßnahmen (Impfung und Keulung) abhängig. Es ist möglich, weitere Zustände zu definieren. Ist eine subklinische Infektion vorhanden (Tier ist infiziert, zeigt jedoch keine Symptome), kann dies als Unterkategorie von 'infected' beschrieben werden.

Laut (Anderson and May, 1992) ist der übliche Weg bei der Beschreibung eines Zustandsübergangsmodells die gefährdete Population im Bezug auf die Anzahl der Gesamtpopulation an jedem Ort zu setzen und die Verwendung von Differentialgleichungen zur Regulierung des Übergangs von Individuen zu einem Zustand zu einem anderen. InterSpread Plus verwendet einen anderen Ansatz und reguliert und simuliert die Änderung des Zustandes für jeden einzelnen Betrieb individuell während jedem Zeitraum. Auf Kosten der Rechenzeit gewinnt das Modell hier an Flexibilität das das Verhalten einzelner Standorte auf Grund ihrer Klasse, Position oder der Zeit angepasst werden kann (Stevenson et al., 2013).

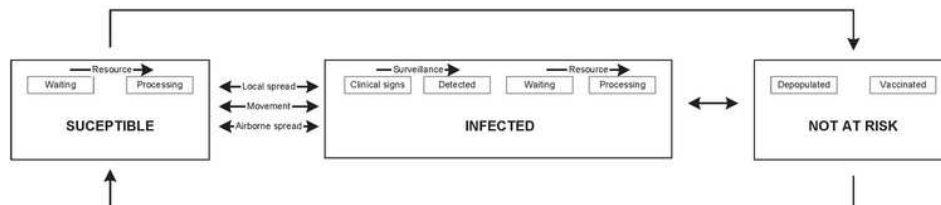


Abbildung 3.2.: Mögliche Zustände in InterSpread Plus (EpiSoft, 2019)

### 3. Material und Methoden

Der erste Schritt bei der Simulation einer Seuche ist die Überlegung der Weiterverbreitung ohne Kontrollmaßnahmen und Restriktionen. Wenn ein Virus in eine Population eingebracht wird verbreitet es sich zuerst auf dem infizierten Betrieb, abhängig der Virulenz des Erregers. Im Modell kann angenommen werden, dass ein infiziertes Tier den gesamten Betrieb ansteckt. Ein Simulation der Übertragung innerhalb eines Betriebes ist in InterSpread Plus nicht implementiert. Nach der Infektion des ersten Betriebes verbreitet sich das Virus ungehindert, bis die Krankheit am erste Betrieb entdeckt wird. In InterSpread Plus kann der Indexfall entweder nach einer fixen Anzahl an Tagen entdeckt werden (z.B. 21 Tage (Boklund et al., 2013)) oder auf Grund der implementierten Hintergrundüberwachung stochastisch auftreten.

Die Verbreitung ist abhängig von mehreren Parameter: die Infektionsparameter, Anzahl der Transporte von und zu den Betrieben und dem Überwachungsniveau. Infektionsparameter beschreiben die Infektiosität und Ausbildung von klinischen Symptomen sowie die Anfälligkeit eines Tierbestandes gegenüber der Krankheit. Das Überwachungsniveau beschreibt wie schnell der Indexfall gefunden werden kann und ist abhängig von den einzelnen Landwirten sowie der staatlichen serologischen Untersuchung (AGES, 2020b).

Modelle bilden die Wirklichkeit immer nur vereinfacht ab. Diese Tatsache muss man sich bei der Interpretation der Ergebnisse immer vor Augen halten. Diese Unterschiede zur Wirklichkeit beruhen einerseits auf fehlerhaften Annahmen und nicht beachteten Aspekten im simulierten Modell und andererseits der biologischen Vielfalt der Krankheitserreger (Stevenson et al., 2013). InterSpread Plus bietet die Möglichkeit über die Eingabe einer Vielzahl an Parameter und Wahrscheinlichkeitsverteilungen die Realität möglichst gut anzunähern. Dazu zählt auch die Anzahl der Iterationen, die dem Benutzer die Möglichkeit bieten zwischen wahrscheinlicheren Strategien, bei denen die Variabilität möglichst gering ist, und eher unwahrscheinlicheren Strategien mit hoher Variabilität zu unterscheiden (Stevenson et al., 2013).

Bei dem großen MKS Ausbruch in Großbritannien wurde der Verlauf mit InterSpread Plus zwei bis drei mal wöchentlich simuliert, insgesamt 90 einzelne Modelle. Dabei zeigte sich, dass es eine hohe Übereinstimmung zwischen den kumulativen Zahlen des vorhergesagten Modells und den tatsächlich diagnostizierten Tieren gab. Die räumliche Genauigkeit (korrekte Vorhersage des Auftretens von MKS im Bezug auf die Lage und nicht die Gesamtzahl) variierte im Laufe des Ausbruchs, höhere Genauigkeiten wurden am Anfang und Ende der Epidemie beobachtet (Stevenson et al., 2003). Die Genauigkeitssteigerung zum Anfang der Simulation könnte auf die noch geringe Zahl infizierter Betriebe zurück zu führen sein, zum Ende auf die gesunkene Anzahl infizierter Betriebe und angepassten Simulationsparameter. Stevenson et al. (2003) vermutet, dass eine weitere Verbesserung der räumlichen Genauigkeit durch kleinere regionale Modelle erreicht werden kann. Diese können die räumlichen Gegebenheiten der betroffenen Gebiete besser annähern als ein einzelnes Modell der gesamten Epidemie.

Die epidemiologische Historie beschreibt die bekannten Aspekte eines Ausbruchs im Bezug auf die Anzahl und den Standort der erkrankten Tiere. Es ist möglich die Simulation in einem bestimmten Betrieb starten zu lassen, z.B. dem Indexfall der tatsächlichen Epidemie, und Veränderungen im Tierbestand vorzunehmen. Diese Informationen sind im Fall einer Epidemie von großem Nutzen da Kontrollstrategien sehr stark vom Verlauf abhängig

sind (Sanson, 1993).

#### 3.2.3. Zonen

Neben den bekannten Standorten von Betrieben und anderen Einrichtungen können in InterSpread Plus auch Zonen definiert werden. Diese können entweder explizit sein, das bedeutet vorgegebene Koordinaten, oder radial definiert werden. Explizite Zonen ändern ihre Koordinaten während der Simulation nicht und können beispielsweise benutzt werden um meteorologische Daten für verschiedene Gebiete einzeln zu definieren. Da vor allem die Luftübertragung sehr stark durch den Wind beeinflusst wird, kann dieser Parameter für einzelne Gebiete unterschiedlich simuliert werden (Gloster et al., 1981).

Radiale Zonen beschreiben Gebiete um die Standorte herum die sich in einem bestimmten Zustand befinden. Bei der MKS wird in Österreich eine Schutzzone mit einem Mindestradius von 3 km und eine Überwachungszone mit einem Mindestradius von 10 km um den Seuchenbetrieb eingerichtet (BGBl. II Nr. 199, 2008). In diesen Zonen erfolgen Restriktionen an Transport und Personal. Präventives Keulen oder Schutzimpfungen können in diesen Zonen vorgeschrieben werden. Wurden die Betriebe als Polygone angegeben, so verläuft die Zone von der Polygongrenze als Puffer mit dem angegebenen Abstand in einer unregelmäßige Form. Sind die Betriebe in Punktkoordinaten angegeben, bildet die Zone eine Kreisfläche (siehe Abb.3.3). Zur Zeit ist nur eine euklidische Distanz als Eingabeparameter möglich.

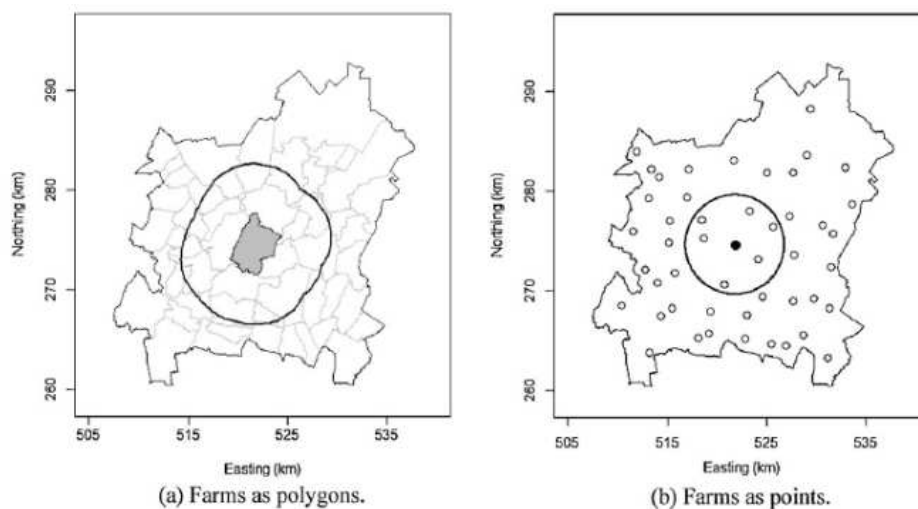


Abbildung 3.3.: Radiale Zone, adaptiert nach (Stevenson et al., 2013)

#### 3.2.4. Infektiosität

Die Infektiositätsparameter beschreiben die Natur der Infektion zwischen den Betrieben (EpiSoft, 2019). Die unterschiedlichen Eingabeparameter definieren die Inkubationszeit

### 3. Material und Methoden

(Zeit von der Ansteckung bis zum Ausbilden von klinischen Symptomen), die Ansteckungswahrscheinlichkeit und die Dauer wie lang ein Betrieb infektiös bleibt. InterSpread Plus kann hier auch zwischen den Tierarten unterschieden und für jede Art den Grad der Ansteckung unabhängig simulieren.

Wenn klinische Symptome simuliert werden kann die Infektiosität auch in Abhängigkeit davon beschrieben werden. Dies ist wichtig bei der Unterscheidung der Übertragungswege. Der Transport infizierter Tiere ist nicht von den klinischen Symptomen abhängig, da angenommen werden kann dass die Tiere in dem neuen Betrieb bleiben und dort die Symptome ausbilden. Bei der Luftübertragung sollte die Infektiosität in Abhängigkeit der klinischen Symptome gesetzt werden (Sanson et al., 2006a; Stenfeldt and Arzt, 2020).

Die Infektiosität wird für jeden Betrieb pro Zeiteinheit und Simulation geregelt. Abb. 3.4 zeigt die Schritte in InterSpread Plus. Die Ansteckung zwischen den einzelnen Tieren innerhalb eines Betriebes wird nicht simuliert. Dies kann zu einer Überschätzung des Modells führen da auch Tiere in einem infizierten Betrieb nicht oder noch nicht erkrankt sein müssen. Laut Stevenson et al. (2013) soll das Modell in den nächsten Versionen durch ein Reed-Frost Model (Abbey, 1952) zur innerbetrieblichen Übertragung ergänzt werden, dies ist bis heute noch nicht durchgeführt worden. Vorteile würden in einer realistischeren Simulation liegen, Nachteil wäre eine verlängerte Rechenzeit.

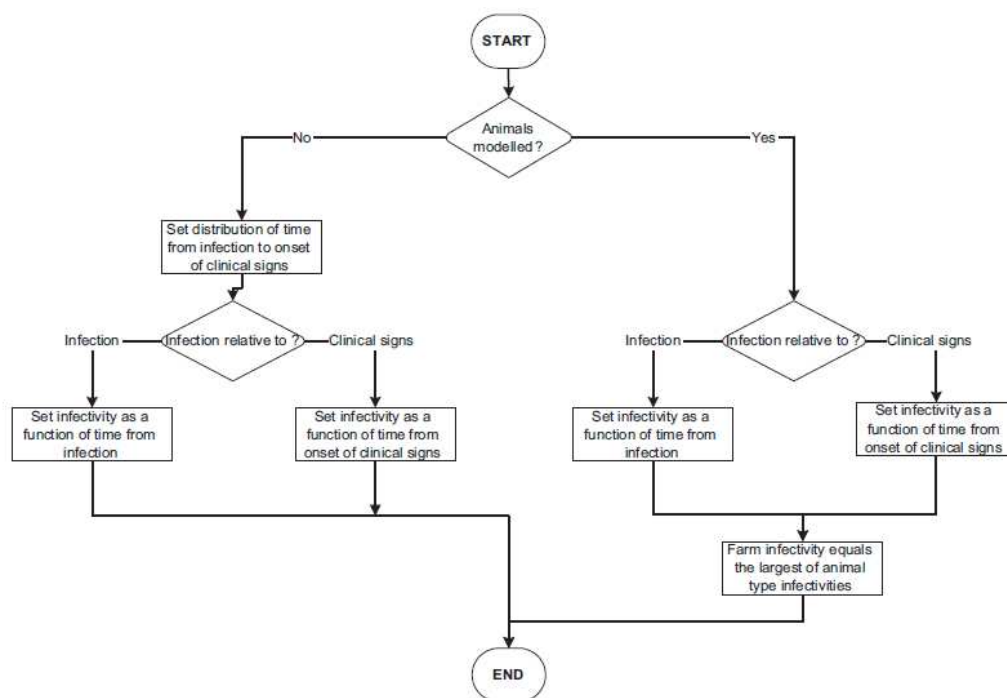


Fig. 3. Simulation of infectivity in InterSpread Plus.

Abbildung 3.4.: Simulation der Infektiosität in InterSpread Plus (Stevenson et al., 2013)

### 3.2.5. Möglichkeiten der Übertragung

Die Übertragung von einem Betrieb zum nächsten wird auf unterschiedliche Arten simuliert. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen 'Lokaler Übertragung', 'Luftgestützter Übertragung', 'Übertragung durch Transporte' und 'Übertragung durch Mensch und Material'.

Die lokale Übertragung beschreibt die kleinräumige Übertragung abhängig von der Entfernung und der Dauer der Exposition ohne erkennbaren Zusammenhang außer der geographischen Nähe (Veterinary Service Dänemark, 1982; Sanson, 1994). Für die lokale Übertragung wird eine Entfernung von 4-5 Kilometer angenommen (Sanson, 1994). Es dient als Sammelbegriff für Luftübertragung über kurze Distanz, direkten Kontakt durch benachbarte Weiden, Übertragung durch Wild- und Hoftiere und Nachbarschaftsaktivitäten (Sanson et al., 2006a). Für eine lokale Übertragung wird eine Lookup-Tabelle erstellt welche als Funktion der Entfernung und Zeit eine Übertragungswahrscheinlichkeit ausgibt (Stevenson et al., 2013). Die Zeit sollte relativ zum Auftreten von klinischen Symptomen genommen werden. Für unterschiedliche Tierarten können unterschiedliche Parameter definiert werden.

Die Luftübertragung geschieht über größere Entfernung ebenfalls ohne direkten Kontakt. Meteorologische Parameter, vor allem Windrichtung und -stärke beeinflussen diesen Übertragungsweg am stärksten (Henderson, 1969; Gloster et al., 1981). Bei MKS spielt die Luftübertragung bei passenden Bedingungen eine wichtige Rolle (Henderson, 1969; Gloster et al., 1981, 1982). Bei vorhandenen meteorologischen Daten sollte dieser Parameter auf jeden

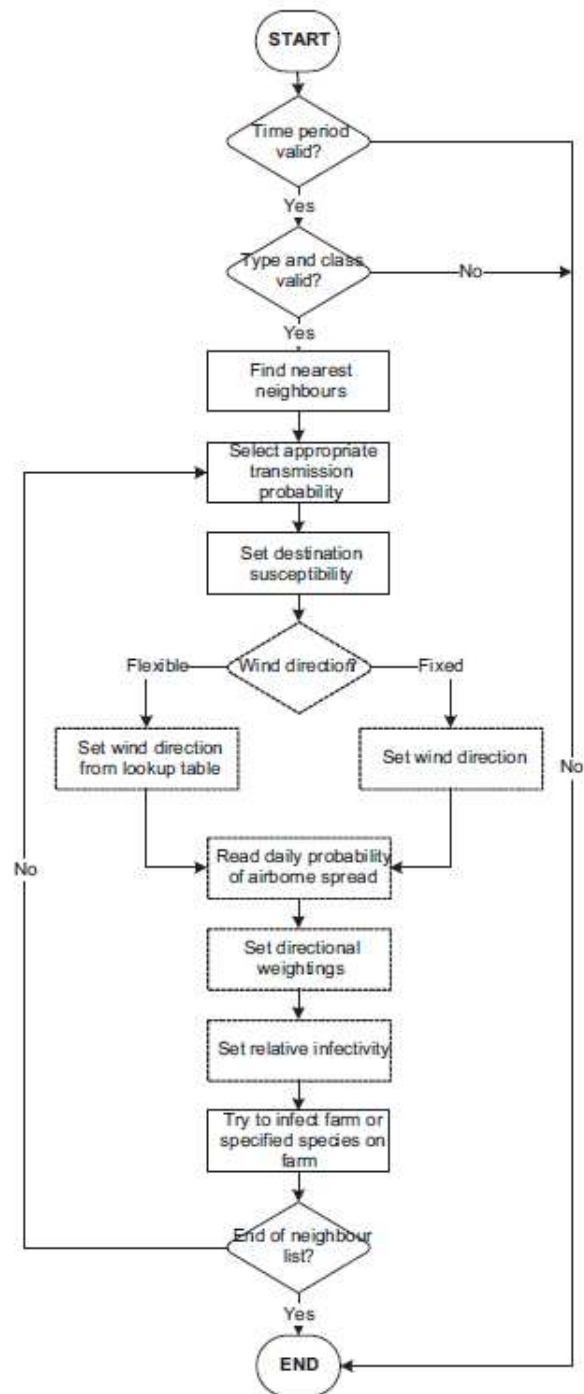


Abbildung 3.5.: Lokale und Luftübertragung (Stevenson et al., 2013)



### 3. Material und Methoden

Fall definiert werden.

Zur Simulation können tatsächliche meteorologische Daten verwendet werden, gültig für das ganze Modell oder nur in expliziten Zonen. Falls keine Daten vorhanden sind, wenn beispielsweise ein zukünftiger Ausbruch simuliert werden soll, kann Windrichtung und -stärke über Wahrscheinlichkeitsverteilungen beschrieben werden. Die Windrichtung kann dabei konstant oder variabel sein. Die Anfälligkeit einzelner Tierarten auf Luftübertragung bei MKS ist nicht gleich (Alexandersen and Donaldson, 2002; Donaldson et al., 2001). Die relative Ansteckungsrate von Rindern beträgt 1, Schafe 0,05 und Schweine 0,01. Dies bedeutet dass Schafe 20 mal und Schweine 100 mal weniger anfällig sind für Luftübertragung als Rinder. Vor allem bei der Simulation von Schweine- und Rinderherden muss die Luftübertragung berücksichtigt werden. Schweine stoßen bei der Atmung hohe Mengen infiziertes Aerosol aus (Rinder kaum), Rinder sind sehr anfällig (Sorensen, 2001; Alexandersen and Donaldson, 2002). Das bedeutet, dass Schweine Rinder leichter anstecken können als Schweine untereinander. Rinder stoßen noch genug Aerosole aus, um lokal andere Betriebe anstecken zu können, jedoch ist die Luftübertragung über eine weite Distanz sehr unwahrscheinlich. Da in dieser Arbeit keine Schweine modelliert werden, wurde die Luftübertragung nicht simuliert.

Über unterschiedlich große Distanzen kann die Seuche durch den Transport infizierter Tiere zu anderen Betrieben gelangen. Bei dem Ausbruch 2001 in Großbritannien erfolgten die Verteilung des Virus im ganzen Land durch eine Vielzahl an transportierten Schafen (Gibbens et al., 2001).

Der letzte Punkt der Übertragung ist über das Verbringen von Viruspartikel durch Mensch und Material. Dazu zählen Landwirte, Besamer, Tierärzte sowie das dazugehörige Material wie beispielsweise Autos und Arbeitskleidung. Diese Art der Übertragung darf nicht unterschätzt werden und muss bei der Rückverfolgung beachtet werden. In Großbritannien sind Milchtanker und andere Fahrzeuge für bis zu 10 % aller Fälle in einzelnen Wochen verantwortlich gewesen (Gibbens et al., 2001).

#### 3.2.6. Bewegungen und Routen

Diese Parameter beschreiben alle Bewegungen von Tieren, Menschen und Material. Zu den primären Übertragungswegen gehören der direkte Transport von Tieren auf einen anderen Betrieb und die indirekte Übertragung durch Personal und Material. Dabei besteht immer ein gewisses Maß an Ansteckungsgefahr. Bei allen Bewegungen wird wie in Abb. 3.6 vorgegangen. Dabei wird pro Zeiteinheit die Anzahl der Gesamtbewegungen ermittelt, eine Distanz vorgegeben und, unter der Bedingung eines geeigneten Zielbetrieb und keiner Restriktionen, die Bewegung durchgeführt. Für die Anzahl der Bewegungen wird meistens eine Poisson Verteilung angenommen da es sich meist um eine geringe Wahrscheinlichkeit und hohe Anzahl handelt (Sanson, 2005; Halasa et al., 2014; Boklund et al., 2013). Die Poisson Verteilung wird nur über den Erwartungswert ( $\lambda$ ) beschrieben, dieser ist die zu erwartende Anzahl an Ereignissen pro Zeiteinheit. Kommt es zu einem Transport von einem infizierten zu einem gesunden Betrieb beschreibt die Wahrscheinlichkeit der Übertragung ob ein infiziertes Tier transportiert wurde. Dies kann im Fall der MKS mit einem konstanten Wert (Stevenson et al., 2013; EpiSoft, 2019) oder als Pert-Verteilung beschrieben

### 3. Material und Methoden

werden (Boklund et al., 2013). Die Pert-Verteilung beschreibt eine kontinuierliche Wahrscheinlichkeitsverteilung unter Angabe des minimalen, wahrscheinlichsten und maximalen Werts. Der direkte Kontakt kann auch bei Transporten von und zu Märkten stattfinden, unbemerkt kann dies die Übertragung deutlich verstärken (Gibbens et al., 2001; Thrusfield et al., 2005; Mansley et al., 2003). In Großbritannien sind knapp 1000 infizierte Betriebe in zwei Regionen auf den Longtown Market in Cumbria zurückzuführen (Mansley et al., 2003).

Bei den sekundären Übertragungswegen erfolgt die Infektion über indirekten Kontakt. Dabei können Viruspartikel über Menschen (Tierärzte, Landwirte) oder Material (Milchtanker, Kleidung, Arbeitsmaschinen,..) in weitere Betriebe gebracht werden und dort die Tiere infizieren. Die Wahrscheinlichkeit der Übertragung ist geringer als bei direktem Kontakt und kann mit einer logarithmischen Normalverteilung angenommen werden (Stevenson et al., 2013). Im Modell können diese Bewegung als Medium-Risk zusammengefasst werden.

Bis zum Beginn der Bewegungseinschränkungen definieren die Bewegungsparameter, wie weit sich die Seuche verbreitet hat. Detaillierte Aufzeichnungen über alle Arten von Transporten und Personalbewegungen sind im Falle eines Ausbruchs von MKS sehr wichtig zur Eindämmung der Seuche. In Österreich gibt es in Zusammenarbeit mit der Europäischen Kommission die Datenbank TRACES (TRAde Control and Expert System) zur Meldung von grenzüberschreitenden Tiertransporten (Europäische Kommission, 2020). Für Kurzstreckentransporte besteht keine Meldepflicht, nur eine Zulassung als Transportunternehmen muss vorliegen. Bei Transporten unter 65 km Strecke braucht es diese Zulassung nicht (BGBl. I Nr. 54, 2007). Bei einem tatsächlichen Ausbruch muss daher bei jedem betroffenen Betrieb nachgefragt werden, welche Transporte getätigt wurden.

InterSpread Plus bietet die Möglichkeit, fixe und variable Routen zu definieren. Fixe Routen hat beispielsweise ein Milchtanker, der täglich die selbe Route abfährt. Variable Routen können für Tierärzte genutzt werden, die in unregelmäßigen Intervallen die Betriebe in anderer Reihenfolge besuchen. Diese Routen werden bei Start einer Simulation generiert (Stevenson et al., 2013).



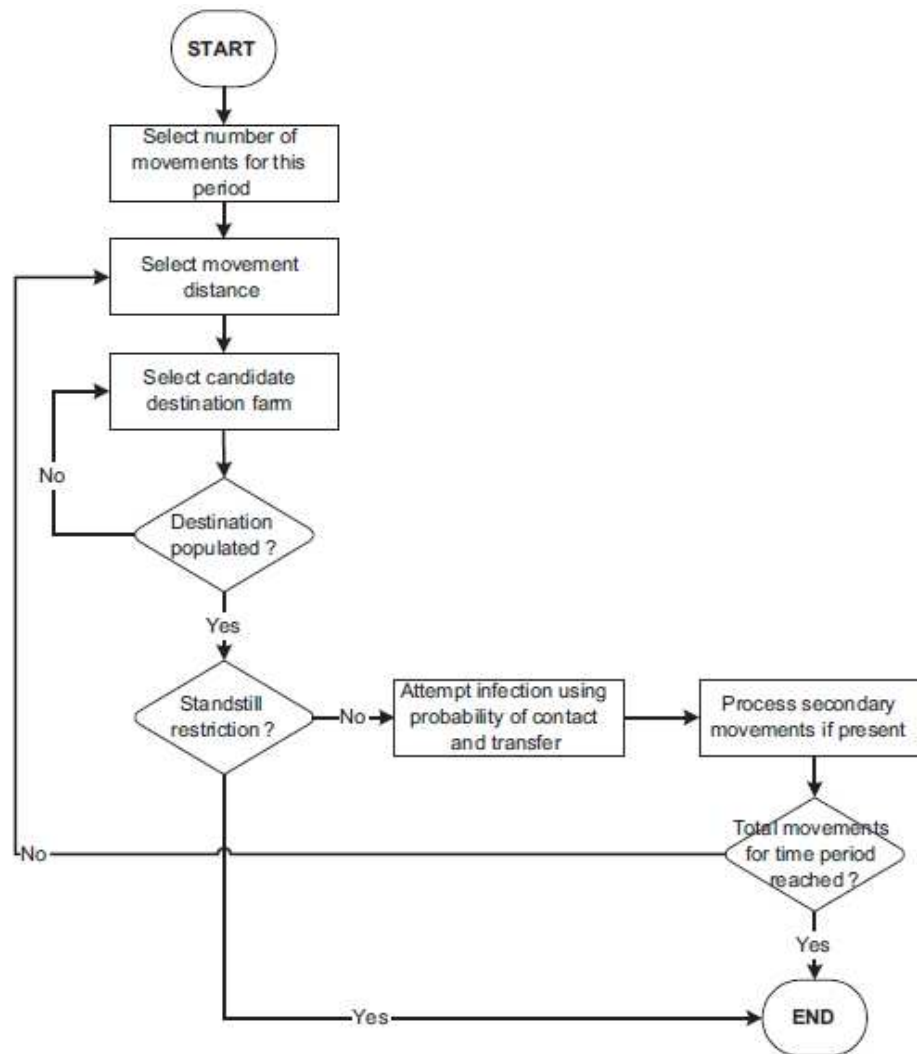


Abbildung 3.6.: Simulation der Bewegungen in InterSpread Plus (Stevenson et al., 2013)

### 3.2.7. Kontrollmaßnahmen

Kontrollmaßnahmen zur Bekämpfung einer Tierseuche wie der MKS stützen sich auf die Erkennung, Isolierung und Ausmerzung der infizierten Tiere sowie auf die Kontrolle des Tierverkehrs (AGES, 2020b). Dadurch soll die Erregerausbreitung verhindert werden. (Geering and Lubroth, 2002) beschreiben die Schritte als das Verhindern von Kontakt von Tieren und Erreger, die Elimination der Reproduktion des Virus und der Resistenzbildung betroffener Tiere. Mögliche Maßnahmen sind Quarantäne und Transportrestriktionen, Keulung infizierter Tierbestände, Dekontamination und Impfung (BGBl. II Nr. 199, 2008). In den folgenden Kapitel werden die einzelnen Maßnahmen näher beschrieben.

#### **Ressourcenmanagement**

Entscheidend für den Erfolg der Maßnahmen ist das richtige Management der zur Verfügung stehenden Ressourcen. In einem realen Szenario muss die limitierten Möglichkeiten an Tierärzten und Material beachtet werden. Es braucht einerseits Ressourcen zur Identifizierung infizierter Betriebe und andererseits welche zur Ausführung der Kontrollmaßnahmen, vor allem Keulungen und Impfungen.

Boklund et al. (2013) beschreibt im Falle eines MKS Ausbruchs in Dänemark die tägliche Kapazität des Landes. Demnach ist es möglich, pro Tag 2.400 Wiederkäuer und 4.800 Schweine zu keulen sowie 60.000 Wiederkäuer und 50.000 Schweine zu impfen. Umgerechnet auf Österreich, unter Annahme eines ähnlichen tierärztlichen Systems, können pro Tag 3.600 Wiederkäuer und 7.300 Schweine gekeult sowie 91.000 Wiederkäuer und 75.000 Schweine geimpft werden. Diese Ressourcen müssen nicht über die Zeit konstant bleiben. Nach dem Entdecken des Indexfalls werden deutlich mehr Ressourcen benötigt als wenn die Seuche unter Kontrolle ist. Von Beginn an müssen nicht alle Ressourcen zur Verfügung stehen, Tierärzte müssen z.B. erst aus anderen Bundesländern geholt werden um lokale Kräfte zu unterstützen. In InterSpread Plus werden die anfallenden Aufgaben in Listen geschrieben, die von den vorhandenen Ressourcen parallel oder nacheinander abgearbeitet wird.

#### **Überwachung**

Die Überwachungsparameter definieren die Wahrscheinlichkeit, dass ein infizierter Betrieb entdeckt wird, wodurch Kontrollmaßnahmen gestartet werden. Bis zur Entdeckung des Indexfalls wird eine Hintergrundüberwachung definiert. In Österreich wird die Seuchenfreiheit von MKS durch serologische Test ständig überwacht (AGES, 2020b). Nach Identifizierung des Indexfalls werden die Überwachungsmaßnahmen aufgestockt welche das gesteigerte Bewusstsein widerspiegeln. Dafür können in InterSpread Plus mehrere Überwachungsstrategien definiert werden.

Die Parameter beschreiben die Anzahl der besuchten Betriebe und die Wahrscheinlichkeit der Entdeckung infizierter Tiere. Diese Wahrscheinlichkeit kann mit der Zeit variieren, je länger ein Tier krank ist und Symptome zeigt, umso sicherer wird es erkannt. Dazu bietet sich eine Lookup-Tabelle an (Boklund et al., 2013).

#### **Keulungsmaßnahmen**

Eine weit verbreitete Maßnahme ist die Keulung des ganzen Bestandes (Gibbens et al., 2001; Thrusfield et al., 2005; Bates et al., 2003; BGBl. II Nr. 199, 2008). Die Bedingung für das Einleiten der Maßnahmen kann in InterSpread Plus definiert werden. Möglich ist die Detektion eines Betriebs, ein bestimmtes Zeitintervall oder das präventive Keulen bei Risikobewegungen (z.B. Transport von einem nachträglich positiv getesteten Betrieb). Präventives Keulen kann zur Eindämmung nützlich sein, wenn das Keulen von nur bestätigten infizierten Betrieben nicht ausreichend ist (Bates et al., 2003).

Neben infizierten können auch andere in der Schutzzone lokalisierte Betriebe vorsorglich gekeult werden um eine weitere Übertragung zu verhindern. Laut der MKS-Verordnung

### 3. Material und Methoden

(BGBl. II Nr. 199, 2008) wird dies nicht standardmäßig angewandt.

Die Keulung kann auch an Ressourcen gebunden werden und so auf eine limitierte Anzahl an Tieren pro Tag geregelt werden.

#### **Impfung**

Ist eine Impfung vorhanden welche im Notfall appliziert werden kann, so kann dies als Ringimpfung oder als pauschale Impfung angewendet werden. Wie bei den Keulungsmaßnahmen benötigt es einen Auslöser, dieser kann eine detektierte Betrieb sein, ein bestimmtes Zeitintervall oder eine gewisse Anzahl an erkrankten Tieren. Eine Ringimpfung wird rund um einen detektierten Betrieb entweder von außen nach innen oder umgekehrt durchgeführt. Bei der pauschalen Impfung werden alle Betriebe mit empfänglichen Tieren in einem Bereich geimpft.

Da eine Impfung nicht sofort einen Schutz bietet, sind die Tiere noch für vier Tage empfänglich bis die Immunität zwischen 7. und 9. Tag ihr Maximum erreicht (Halasa et al., 2014; Bates et al., 2003). Es hat sich gezeigt, dass die Notfallimpfung keinen vollständigen Schutz gegen MKS in Schweinen, Schafen und Rindern bietet (Halasa et al., 2011).

Wie in Kapitel 2.4 beschrieben kann eine Notfallimpfung angeordnet werden, somit wird diese Möglichkeit im Modell berücksichtigt.

#### **Verfolgung der Bewegungen**

Neben den Bewegungsrestriktionen sowie Keulung und Impfung ist die Vorwärts- und Rückverfolgung der stattgefundenen Bewegungen von großer Bedeutung (Schnurrenberger et al., 1987). Wird die Seuche auf einem Betrieb entdeckt muss festgestellt werden, wohin dieser Betrieb Tiere transportiert hat sowie woher er selbst Tiere erhalten hat. Das selbe gilt für Personal und Material. Die Kontakte werden danach untersucht und es dürfen keine weiteren Transporte von und zu den Betrieben stattfinden. Dies spiegelt den realen Ablauf bei Ausbruch einer Seuche wider (BGBl. II Nr. 199, 2008).

In InterSpread Plus werden Parameter für die Rück- und Vorwärtsverfolgung einzeln beschrieben. Dabei ist es auch möglich, dass der Betreiber einzelne Bewegungen vergisst und diese bei der Überwachung nicht beachtet werden, beispielsweise 1 % (Boklund et al., 2013). Für jede Art der Transporte wird definiert mit welcher Verzögerung die Verfolgung stattfindet. So können z.B. am ersten Tag nur 50 % der Transporte verfolgt werden, am zweiten Tag die restlichen 50 % (EpiSoft, 2019).

#### **Einschränkungen bei Transporten**

Bis zum Auftreten des Indexfalles verlaufen alle Transporte wie geplant. Ist auf einem Betrieb die Seuche entdeckt, werden weitreichende Einschränkungen veranlasst (BGBl. II Nr. 199, 2008). Grundsätzlich sollten alle Transporte von und zu dem betroffenen Betrieb gestoppt werden. Mit der Errichtung einer Schutz- und Überwachungszone um den Betrieb sind auch hier Einschränkungen möglich. Innerhalb der Schutzzone können alle Bewegungen verboten werden, innerhalb der Überwachungszone können einzelne Bewegungen mit Genehmigung eines amtlichen Tierarztes stattfinden (BGBl. II Nr. 199, 2008). In den Para-

### 3. Material und Methoden

metern könnte sich das so widerspiegeln: Generelle Einschränkung in der Schutzzone und in der Überwachungszone um 98 % (um vereinzelt illegale Transporte zu berücksichtigen), Mittel- bzw. Niedrigrisikotransporte wie Milchtanker und Tierarzt mit 80 % bzw. 30 % (Boklund et al., 2013).

Ein Stillstand im gesamten Simulationsgebiet ist auch möglich, dabei werden alle Transporte für eine definierte Zeit verboten. Boklund et al. (2013) beschreibt für Dänemark drei Tage.

#### 3.2.8. Ausgabe

Als Ausgabe bietet InterSpread Plus definierte ASCII Textdateien. Grundsätzlich sind drei Arten verfügbar: die erste Ausgabe beschreibt die Betriebe, bei denen sich der Zustand geändert hat, die zweite beschreibt zu jedem Zeitpunkt jeder Iteration den Zustand aller Betriebe und die dritte listet die Anzahl der Tiere für jeden Betrieb pro Zeiteinheit (Stevenson et al., 2013). Damit ist es möglich, als Ausgabe z.B. eine Liste zu erstellen, die alle infizierten oder detektierten Betriebe auflistet. Diese Ausgaben können anschließend zur statistische und geographischen Analyse weiter benutzt werden.

InterSpread Plus bietet selbst die Möglichkeit, das Ergebnis als Liniengraph, Box and Whisker Plot oder als Karte darzustellen. Eine Karte hat den Vorteil, den Verlauf der Krankheit einfacher und nachvollziehbar darzustellen.

Die Ausgabeparameter können zur internen und externen Validierung verwendet werden. Bei der interne Validierung wird überprüft ob die angegebenen Parameter epidemiologisch sinnvolle Ergebnisse liefern, bei der externen Validierung müssen die simulierten Ergebnisse mit tatsächlichen Ereignissen verglichen werden um die Richtigkeit zu überprüfen (Sanson et al., 2011; Dubé et al., 2007). Das Modell von Stevenson et al. (2003) zur Bekämpfung des MKS Ausbruchs in Großbritannien besaß eine hohe Spezifität von über 99 % und teilweise eine gute Sensitivität von 71 %. Damit konnte die Verbreitung in einem kurzen Zeitraum von bis zu 14 Tagen mit ausreichender Genauigkeit vorhergesagt und damit die Kontrollmaßnahmen verbessert werden (Stevenson et al., 2003).

### 3.3. Rinderbestand Österreich

Für eine möglichst realitätsnahe Simulation wurden die echten Bestandsdaten für Österreich vom Jahr 2019 in Zusammenarbeit mit dem AgrarMarkt Austria verwendet. Diese bestehen aus einem Textdokument mit der Auflistung aller 54.790 Rinderbetriebe in Österreich und umfassen den Bestand zum Stichtag 1.12.2019 sowie Koordinaten in der Projektion MGI Austria Lambert.

Für eine ausgewählte Liste der Schlachthöfe wurden Daten der Statistik Austria verwendet (siehe Tabelle 3.3) (Statistik Austria, 2020). Marktplätze und Versteigerungsorte wurden von der Zentralen Arbeitsgemeinschaft Österreichischer Rinderzüchter (ZAR) genommen (siehe Tabelle 3.4) (ZAR, 2014). In Österreich sind 15 Versteigerungsorte auf alle

---

<sup>1</sup>Die Koordinaten und Anzahl der Rinder dürfen aus Datenschutzgründen nicht veröffentlicht werden

### 3. Material und Methoden

ID	Anzahl der Rinder	Koordinaten
1	xx	xxxx,xxxx
2	xx	xxxx,xxxx
..		
..		
54.790	xx	xxxx,xxxx

Tabelle 3.2.: Eingabeparameter Rinderbetriebe <sup>1</sup>

Bundesländer aufgeteilt. Im Jahr 2013 wurde auf 151 Zuchtrinderversteigerungen insgesamt 34.265 Rinder zum Verkauf angeboten, wovon 31.309 tatsächlich vermittelt wurden (ZAR, 2014). Alle Koordinaten sind in der Projektion MGI Austria Lambert gegeben. In Abb. 3.7 sind alle für die Simulation verwendeten Standorte dargestellt. Die verwendet Software ist QGIS Desktop (Version 3.12.1). Den Großteil machen die Rinderbetriebe aus (brauen Punkte), grün dargestellt sind Markthallen und Versteigerungsorte und gelb stellen Schlachthöfe dar. Für das Basismodell, Kapitel 4.1, wurden drei Betriebe ausgewählt, diese sind in hellem Rot sowie der Identifikationsnummer dargestellt. Bei der räumlichen Verteilung der Betriebe fällt die große Dichte in Oberösterreich, Teilen Niederösterreichs, Teilen Kärntens sowie der Steiermark auf. In den Alpen sind die Betriebe aufgrund der Topographie hauptsächlich in den Tälern zu finden.

ID	Koordinaten
100.101	631.226,352.390
100.102	433.029,500.587
..	
..	
100.122	602.348,325.723

Tabelle 3.3.: Eingabeparameter Schlachthöfe

ID	Koordinaten
200.201	533.260,473.681
200.202	415.096,478.356
..	
..	
200.220	579.906,359.931

Tabelle 3.4.: Eingabeparameter Märkte und Versteigerungsorte

### 3. Material und Methoden

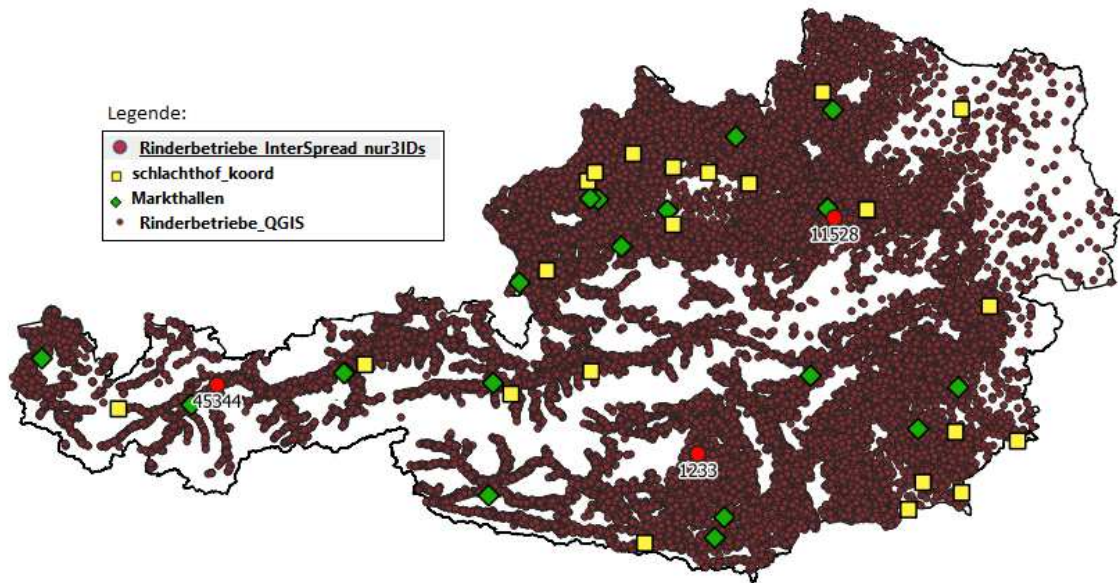


Abbildung 3.7.: Lage aller zur Simulation verwendeten Standorte



## 4. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Basismodell sowie der Sensitivitätsanalyse näher beschrieben. Das Basismodell beschreibt einen möglichen Ausbruch von MKS in Österreich, unter der Annahme, einen geeigneten Parametersatz aus wissenschaftlicher Literatur und vergangenen Ausbrüchen gefunden zu haben. In der Sensitivitätsanalyse wird jeweils immer nur ein Parameter variiert um den Einfluss auf den Seuchenausbruch zu untersuchen. Aufgrund der hohen Zahl der Durchläufe war es möglich trotz zufälliger Variationen bei der Simulation den Einfluss der Parameter zu bestimmen. Dieses Ergebnis wird anschließend nur mit dem Basismodell verglichen um die Anzahl der Vergleiche überschaubar zu halten.

Insgesamt wurden neben dem Basismodell 26 Simulationen mit jeweils 70 Iterationen gerechnet. Jede Iteration läuft für 150 Tage. Damit sollte möglichst die gesamte Ausbruchsdauer simuliert und gleichzeitig die Rechenzeit begrenzt werden.

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt als Liniengrafik, Box-Plot bzw. Tabelle. Der Box Plots wird in Abb.4.1 erklärt.

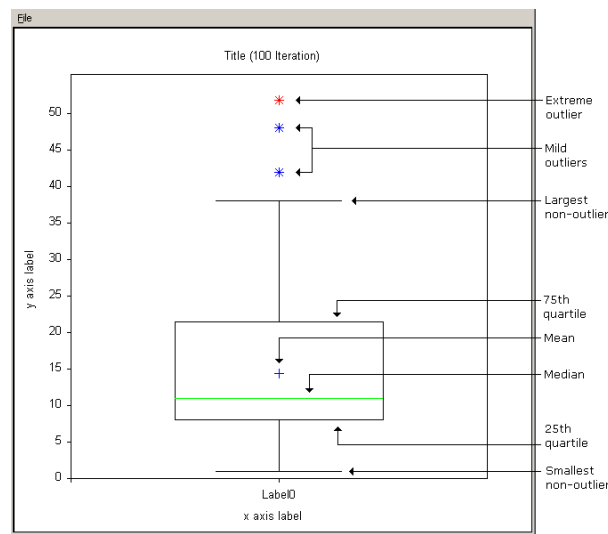


Abbildung 4.1.: Erklärung des Box Plot von InterSpread Plus (EpiSoft, 2019)

### 4.1. Basismodell

Der Parametersatz, der das Basismodell bildet, wurde aus wissenschaftlicher Literatur sowie Anpassungen an die österreichischen Gegebenheiten erarbeitet. Die Grundlage bilden die Arbeiten von Gloster et al. (1981), Gibbens et al. (2001), Gibbens and Wilesmith

## 4. Ergebnisse

(2002), Scudamore and Harris (2002), Bates et al. (2003), Stevenson et al. (2003), Sanson et al. (2006a), Dubé et al. (2007), Pendell et al. (2007), Boklund et al. (2013), Stevenson et al. (2013) und Halasa et al. (2014). Bei Eingabe einer Wahrscheinlichkeit liegt der Wertebereich zwischen 0 und 1, das entspricht 0 % bis 100 %.

Im Folgenden werden die wichtigsten Eingabeparameter kurz beschrieben, eine vollständige Auflistung ist in Anhang B gegeben.

### 4.1.1. Bewegungen

#### Zwischen Betrieben

Dieser Parameter beschreibt die Transporte von Tieren von einem Betrieb zu einem anderen. Über eine Wahrscheinlichkeitsverteilung (Poisson = 0,09) wird pro Zeiteinheit die Anzahl der Transporte ermittelt. Boklund et al. (2013) berechnet diesen Parameter anhand der tatsächlich durchgeführten Transporte für Dänemark, dieser wurde in Relation von der Bevölkerungszahl und Anzahl der Betriebe auf Österreich umgerechnet. Die Wahrscheinlichkeit der Übertragung beschreibt eine Pert-Verteilung [0,9 0,95 1]. Dies zieht die Möglichkeit in Betracht, ein gesundes Tier von einem infizierten Betrieb zu transportiert. Die Distanz dieser Transporte ist in Tabelle 4.1 angegeben (Sanson, 2005; Boklund et al., 2013).

Wahrscheinlichkeit [%]	11.17	12.24	24.19	10.71	7.69	9.5	5.8	3.64
Distanz [km]	1	3	10	15	20	30	40	50
Wahrscheinlichkeit [%]	2.59	2.06	1.66	1.35	1.13	1.04	0.86	0.74
Distanz [km]	60	70	80	90	100	110	120	130
Wahrscheinlichkeit [%]	0.54	0.53	0.46	0.45	0.33	0.33	0.27	0.24
Distanz [km]	140	150	160	170	180	190	200	210
Wahrscheinlichkeit [%]	0.17	0.1	0.07	0.05	0.09			
Distanz [km]	220	230	240	250	300			

Tabelle 4.1.: Distanz der Bewegungen zw. Betrieben

#### Medium-Risk

Dieser Parameter beschreibt die Bewegung von Tierärzten, Landwirten, Milchtankern und Ähnlichem. Die Anzahl pro Zeiteinheit wird mittels Poisson = 0,0427 beschrieben (Boklund et al., 2013). Die Wahrscheinlichkeit der Übertragung ist mit einer Pert-Verteilung [0,03 0,1 0,3] angegeben und die Distanz der Bewegung in Tabelle 4.2 (Sanson, 1993; Boklund et al., 2013; Halasa et al., 2014).



## 4. Ergebnisse

Wahrscheinlichkeit [%]	20	20	20	40
Distanz [km]	10	20	30	45

Tabelle 4.2.: Distanz der Medium-Risk Bewegungen

### Zu Märkten

Transporte von und zu Märkten finden deutlich seltener statt, dies wird durch eine Poisson-Verteilung 0,0014 angegebene (Sanson, 2005; Boklund et al., 2013; Halasa et al., 2014). Die Wahrscheinlichkeit einer Übertragung wird mit einer Normalverteilung (Mittelwert 0,415, Standardabweichung 0,06) angegeben, die Distanz dieser Bewegungen ist in Tabelle 4.3 angegeben.

Wahrscheinlichkeit [%]	3.35	2.86	17.09	10.6	8.77	16.39	12.69	9.92
Distanz [km]	1	3	10	15	20	30	40	50
Wahrscheinlichkeit [%]	6.37	5.74	3.33	1.52	0.69	0.57	0.09	0.01
Distanz [km]	60	70	80	90	100	110	120	130
Wahrscheinlichkeit [%]	0.01	0						
Distanz [km]	140	150						

Tabelle 4.3.: Distanz der Bewegungen zu Märkten

### 4.1.2. Lokale Übertragung

Die lokale Übertragung ist einen Großteil der stattgefundenen Übertragungen verantwortlich, damit war die Wahl der Eingabeparameter von großer Bedeutung. Die lokale Übertragung ist beginnt erst nach Auftreten klinischer Symptome (Tag 0) und ist abhängig von der Distanz und den vergangenen Tagen (Tabelle 4.4) (Sanson, 1994; Sanson et al., 2006a, 2011; Boklund et al., 2013; Stevenson et al., 2013).

Distanz [m]	1000	2000	3000	$\geq 4000$
Tag 0	0.7	0.2	0	0
Tag 1	1.2	0.3	0.1	0
Tag 2	1.2	0.3	0.1	0
Tag 3	0.9	0.4	0.1	0

Tabelle 4.4.: Wahrscheinlichkeit der Übertragung [%]

### 4.1.3. Infektiosität

Bei jeder Möglichkeit der Übertragung (Transport, lokale Übertragung, ..) wird die Wahrscheinlichkeit mit der Infektiositätswahrscheinlichkeit multipliziert (Tabelle 4.5) (Sanson et al., 2006b; Halasa et al., 2011; Sanson et al., 2011; Boklund et al., 2013; Halasa et al., 2014). Dabei wird zwischen geimpften und ungeimpften Tieren unterschieden. Geimpfte Tiere haben eine deutlich geringere Wahrscheinlichkeit, andere Tiere zu infizieren. Ab Tag 7, wenn die Immunität der Impfung ihren maximalen Wert erreicht Die Inkubationszeit wird nach Sanson et al. (2006b) auf eine Pert-Verteilung [3 5 7] gesetzt.

Tage	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nicht geimpft	5.2	15.3	31	49.5	66.9	80.5	89.7	95.1	97.9
Geimpft	1.3	6.7	19.3	27	35.9	44.3	10	10	10
Tage	10	11	$\geq 12$						
Nicht geimpft	99.2	99.8	100						
Geimpft	10	10	10						

Tabelle 4.5.: Wahrscheinlichkeit der Übertragung [%]

### 4.1.4. Zonen

Sowohl für das Basismodell als auch für die Sensitivitätsanalyse wurden verschiedene Zonen definiert. Für alle Modelle wurde eine Schutzzone mit einem Radius von drei Kilometer und einer anschließenden Überwachungszone mit einem Radius von zehn Kilometer definiert (BGBl. II Nr. 199, 2008). Keulungs- bzw. Impfzone erhielten unterschiedliche Radien, da sich die Zahl der Keulungen bzw. Impfungen pro Tag deutlich unterscheidet (Kapitel 3.2.7). Für die Keulungszone wurden Radien von 500, 1.000 und 1.500 Meter definiert, für die Impfzone 1.000, 3.000 und 5.000 Meter (Boklund et al., 2013).

### 4.1.5. Ressourcen

Als Ressourcen wurden ein Keulungs-, ein Impf- und ein Verfolgungsteam definiert. Die Aufgabe des Keulungs- und Impfteams ist es, die pro Tag möglichen Keulungen bzw. Impfungen durchzuführen und eine Obergrenze zu definieren. Die Obergrenze liegt in der Keulung bei 3.600 Rindern, bei der Impfung bei 91.000. Das Verfolgungsteam wurde definiert um eine Rückverfolgung der durchgeführten Transporte und Medium-Risk Bewegungen zu ermöglichen. Aufgrund der nicht sehr großen Zahl verfolgter Transporte und unklaren Ressourcen- und Datenlage für Österreich wurde der günstigste Fall angenommen, dass alle Bewegungen ohne Zeitverzögerung rückverfolgt werden können.

### 4.1.6. Überwachung

Bei der Überwachung wurde einerseits ein Hintergrundüberwachung definiert, andererseits eine Überwachung in Schutz- und Überwachungszonen. Die Hintergrundüberwachung ist

## 4. Ergebnisse

dauerhaft aktiv und beschreibt eine Entdeckung des Virus abhängig vom Vorliegen klinischer Symptome, Tabelle 4.6. Bei der Überwachung in Schutz- und Überwachungszonen ist die Wahrscheinlichkeit gleich, das Virus zu entdecken ???. Die Entdeckungswahrscheinlichkeit ist grundsätzlich auch abhängig von der Ausbildung klinischer Symptome, allerdings besitzt sie hier einen Offset von -3 Tagen. Das bedeutet, dass bereits vor Auftreten klinischer Symptome die Erkrankung mittels diagnostischer Tests erkannt werden kann (Sanson et al., 2006a; Boklund et al., 2013).

Tage	0	1	2	3	4	5	6
Wahrscheinlichkeit [%]	0	8.7	17.5	69.9	87.3	93.2	100

Tabelle 4.6.: Hintergrundüberwachung

Tage	-3	-2	-1	0	1	2
Wahrscheinlichkeit [%]	0	17.5	69.9	87.3	93.2	100

Tabelle 4.7.: Überwachung in Schutz- und Überwachungszone, klinische Symptome ab Tag 0

### 4.1.7. Standortwahl und Ergebnis

Für das Basismodell wurde nach Eingabe der Parameter drei Standorte gewählt, an denen die Simulation gestartet wurde (ID 1233, 11528 und 45344). Dabei handelt es sich um Betriebe, die eine unterschiedliche Anzahl an Rindern besitzen und gut verteilt liegen. Betrieb 1233 ist ein mittelkleinen Betrieb mit 19 Rindern und liegt in Kärnten. Betrieb 11528 liegt in Niederösterreich und ist mit 121 Rindern ein großer Betrieb. Betrieb 45344 ist mit 63 Rindern ein mittelgroßer Betrieb, welcher in Tirol liegt und durch die geographischen Bedingungen weniger stark umgeben ist von anderen Betrieben, also ID 1233 und ID 11528.

Die Ergebnisse wurde nach Anzahl der infizierten Betriebe, Anzahl der gekeulten Tiere und Gesamtdauer des Ausbruchs bewertet. Ein Kostenmodell, welches die wirtschaftlichen Folgen der Simulation untersucht, wird in dieser Arbeit nicht behandelt.

Auf die Anzahl der gekeulten Tiere wird im Weiteren nicht mehr eingegangen, diese ist mit der Anzahl der infizierten Tiere gleichzusetzen. Die einzige Ausnahme bildet die Sensitivitätsanalyse mit einer Keulungszone, da hier die Anzahl der gekeulten von den infizierten Tieren abweicht und diese gemeinsam betrachtet werden müssen um den Ausgang des Ausbruchs abzuschätzen (siehe Kapitel 4.2.5). Es hat sich gezeigt hatte dass die Kapazität zum Keulen selbst im schlimmsten Fall ausreicht um alles zeitgerecht abzuarbeiten.

Die drei untersuchten Betriebe zeigen im Bezug auf die Anzahl der inf. Betriebe sowie die Dauer folgendes Ergebnis, siehe Abb.4.2 und 4.3 sowie Tabelle 4.8. Der Medianwert bietet eine bessere Analyse der Ergebnisse, da Ausreißer mit einer z.B. sehr hohen Anzahl

## 4. Ergebnisse

infizierter Betriebe den Mittelwert über den 0.75-Quantil heben. Eine graphische Darstellung des Ausbruchs zeigen die Abbildungen 4.4, 4.5 und 4.6. Bei allen 3 Darstellungen handelt es sich um den Medianfall.

Als Basismodell eignete sich ID 1233 gut. Die Anzahl der infizierten Betriebe sowie die Dauer ist vergleichbar mit vergangenen Simulationen von Gibbens et al. (2001); Gibbens and Wilesmith (2002); Sanson et al. (2006a, 2011); Boklund et al. (2013). Als Ausgangsbetrieb für die Sensitivitätsanalyse sind grundsätzlich alle Betriebe möglich, in dieser Arbeit wurde der Betrieb 1233 genommen da er eine zentrale Lage besitzt und somit der Einfluss aller Parameter sehr gut analysieren werden kann.

Die statistischen Kenngrößen aller drei Standorte sind in Tabelle 4.8 beschrieben.

Das Ergebnis des Basismodell bei Betrieb 1233 ist im Median eine Dauer von 53 Tagen, 95 infizierte Betriebe und 2413 infizierten und gekeulte Tiere. Nachdem er erste Betrieb infiziert wird dauert es 15 Tage, bis die Anwesenheit des Krankheitserregers entdeckt wird. Diese Phase wird auch als High Risk Periode benannt, ein Erreger kann sich in der Zeit ungehindert in einer Population ausbreiten (Horst, 1998). Sie wird im Basismodell mit 15 Tagen definiert und in der Sensitivitätsanalyse genauer untersucht.

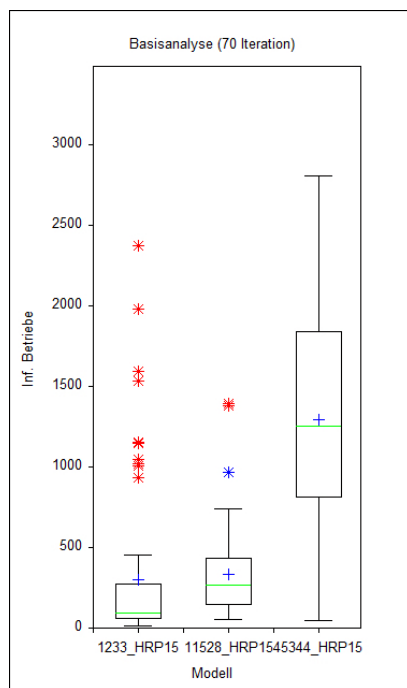


Abbildung 4.2.: Box Plot von inf. Betrieben

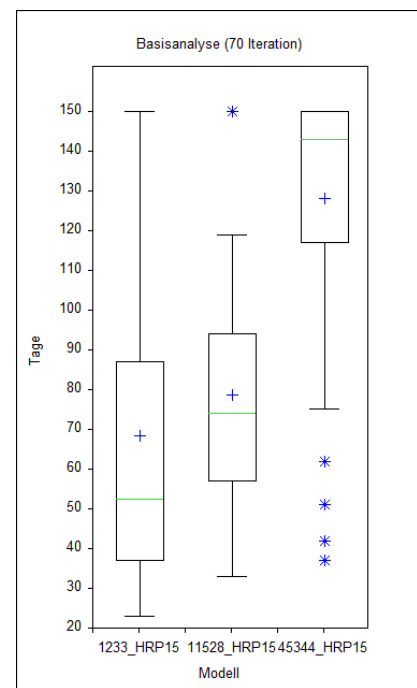


Abbildung 4.3.: Box Plot der Dauer

Eine grafische Darstellung der ist in den folgenden Abbildungen gegeben. Über eine Zeitleiste kann der Verlauf analysiert werden, rote Punkte zeigen aktuell infizierte Betriebe, blau detektierte Betriebe, grün gekeulte Betriebe und gelb geimpfte Betriebe. Ausgefüllte Kreise zeigen an, dass sich der Zustand an diesem Tag geändert hat, danach sind die Kreise hohl. Zusätzlich können alle Bewegungen angezeigt werden, die zu einer Infektion geführt haben.

Abb. 4.4 zeigt eine Simulation des Ausbruchs mit Startbetrieb 1233, Abb. 4.5 mit Start-

#### 4. Ergebnisse

		ID 1233	ID 11528	45344
Dauer [Tage]	0.25-Quantil	37	57	117
	Median	53	74	143
	0.75-Quantil	87	94	150
	Mittelw.	68	79	128
Anzahl Betriebe	0.25-Quantil	58	146	816
	Median	95	269	1.252
	0.75-Quantil	276	432	1.842
	Mittel.	301	333	1.297
	Min.	15	53	45
	Max.	2.374	1.374	2.809
Anzahl Tiere	0.25-Quantil	1.385	7.079	13.522
	Median	2.413	12.117	26.733
	0.75-Quantil	6.154	16.737	39.175
	Mittelw.	7.416	13.422	26.991
	Min.	352	3.366	836
	Max.	54.522	47.230	60.740

Tabelle 4.8.: Ergebnis Basismodell

betrieb 11528 inklusive aller Bewegungen und Abb. 4.6 mit Startbetrieb 45344 inklusiver aller Bewegungen. In Abb. 4.6 sieht man sehr deutlich, wie ein einziger Transport (mit Pfeil markiert) zu einer starken Verbreitung führen kann.

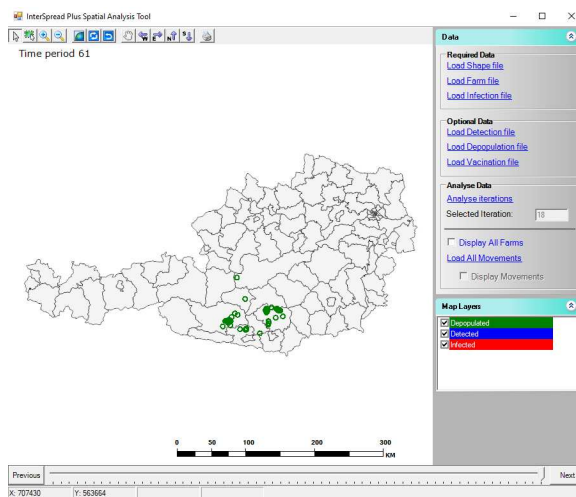


Abbildung 4.4.: Grafische Darstellung, ID 1233

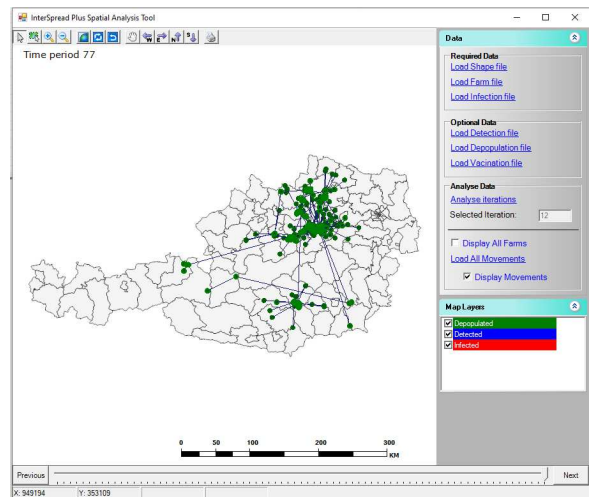


Abbildung 4.5.: Grafische Darstellung mit Bewegungen, ID 11528

## 4. Ergebnisse

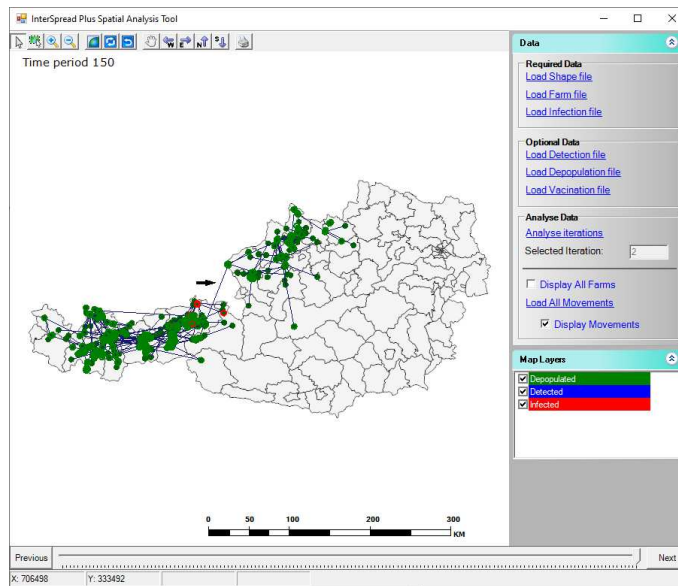


Abbildung 4.6.: Grafische Darstellung mit Bewegungen, ID 45344

## 4.2. Sensitivitätsanalyse

### 4.2.1. High Risk Periode

Der Einfluss der High Risk Periode (HRP) ist bei der Ausbreitung einer Seuche von sehr großer Bedeutung (Boklund et al., 2013). Im Basismodell beträgt die HRP 15 Tage, das bedeutet dass der erste infizierte Betrieb an Tag 15 detektiert wird. Im Modell war der erste detektierte Betrieb immer auch der als erstes infizierte Betrieb. In der Sensitivitätsanalyse wurden bei allen drei Startbetriebe die HRP auf 10 bzw. 20 Tage geändert. In Großbritannien hat die HRP etwa 21 Tage gedauert (Gibbens et al., 2001), Sanson et al. (2006a) erwartet für einen Ausbruch in Neuseeland sieben bis 21 Tage. Um diese Zeitspanne abdecken zu können, wurden die Werte 10, 15 und 20 getestet. Eine kürzere HRP bedeutet, dass die Krankheit früher entdeckt wird. Dadurch sinkt die Wahrscheinlichkeit der Ausbreitung deutlich. Bei längerer HRP hat die Krankheit deutlich mehr Zeit um sich auszubreiten da Maßnahmen wie Keulung und Bewegungseinschränkungen erst mit Entdeckung wirksam werden.

Das Ergebnis ist in Abb.4.7 und 4.8 sowie in Tabelle 4.9 zu sehen. Die Reduktion der HRP von 15 auf 10 Tage resultiert im Median in einer Reduktion der Dauer um 48 % und der infizierten Betriebe um 86 %. Die Steigerung auf 20 Tage ergibt eine Steigerung der Dauer um 65 % und der infizierten Betriebe um 202 %.

## 4. Ergebnisse

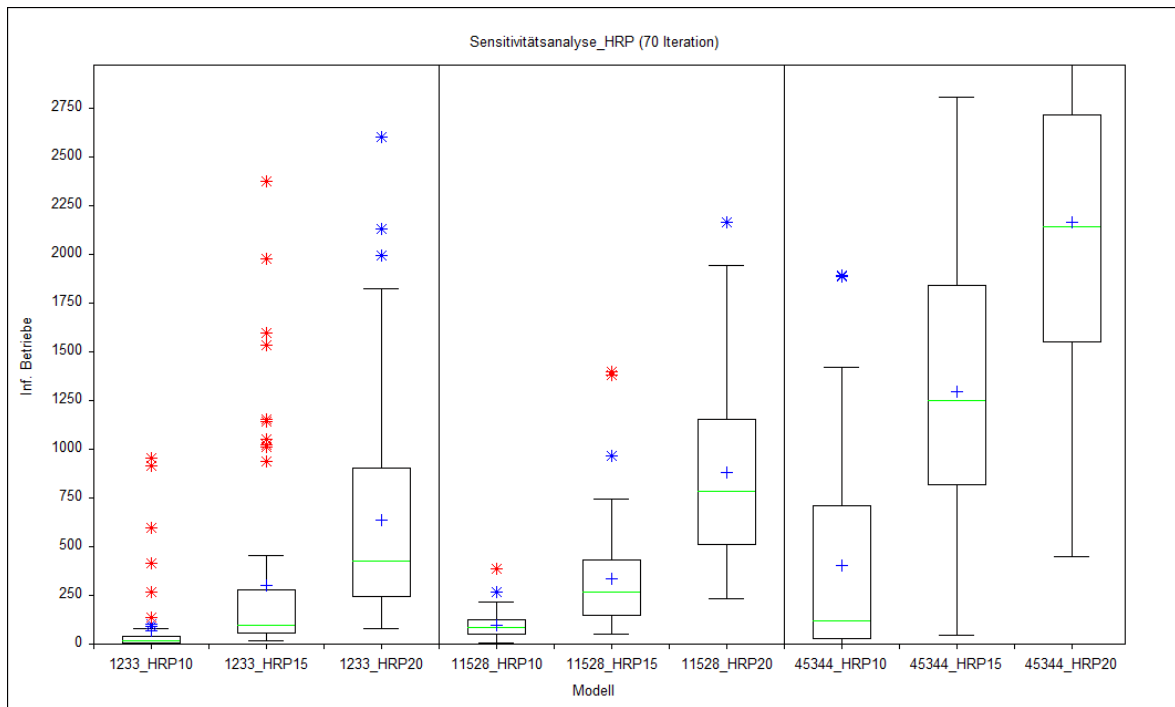


Abbildung 4.7.: Anzahl der betroffenen Betriebe bei Änderung der HRP

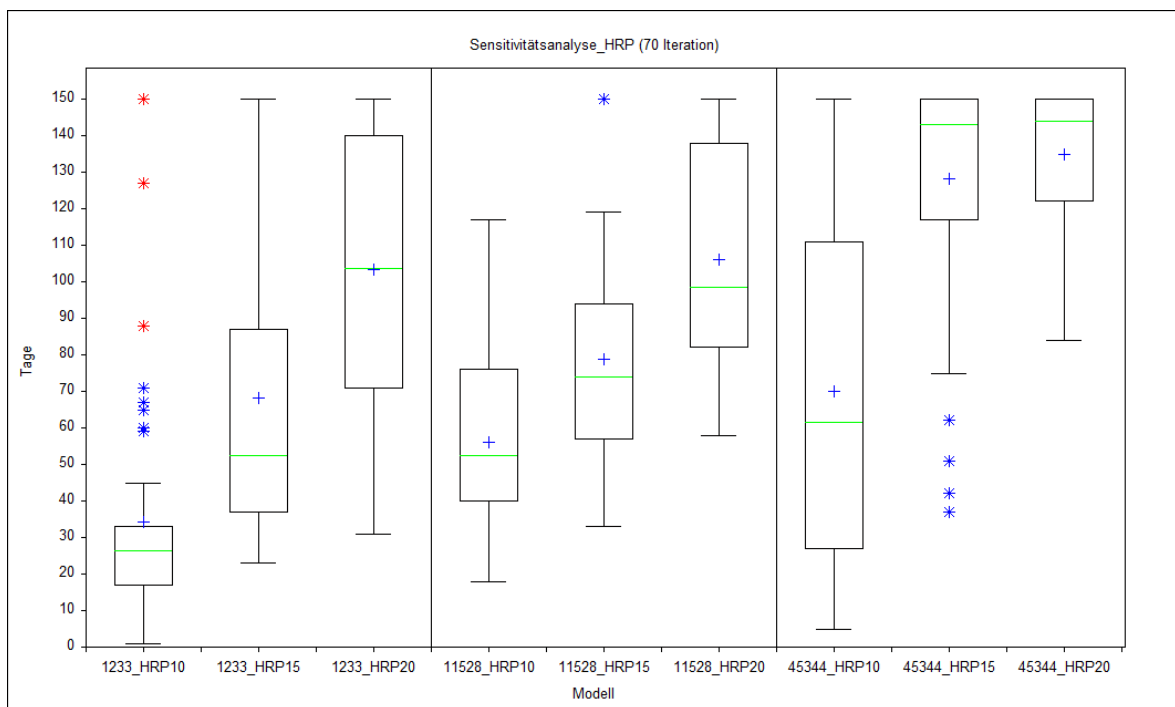


Abbildung 4.8.: Dauer bei Änderung der HRP



## 4. Ergebnisse

	ID HRP	1233			11528			45344		
		10	15	20	10	15	20	10	15	20
Dauer [Tage]	0.25-Q.	17	37	71	40	57	82	27	117	122
	Median	26	53	104	52	74	99	61	143	144
	0.75-Q.	33	87	140	76	94	138	111	150	150
	Mittelw.	34	68	103	56	79	106	70	128	136
Anzahl Betriebe	0.25-Q.	8	58	245	49	146	517	28	816	1.552
	Median	16	95	420	84	269	787	119	1.252	2.142
	0.75-Q.	40	276	910	127	432	1.157	709	1.842	2.716
	Mittel.	68	301	641	97	333	880	406	1.297	2.162

Tabelle 4.9.: Sensitivitätsanalyse HRP

### 4.2.2. Inkubationszeit

Die Inkubationszeit ist ein wichtiger Faktor für die Geschwindigkeit der Ausbreitung von MKS. Da die lokale und Luftübertragung in Abhängigkeit von klinischen Symptomen sind kommt es bei einer verkürzten Inkubationszeit zu einer schnelleren Übertragung an Betriebe in der Umgebung (Sanson et al., 2006a; Boklund et al., 2013). Auf die Übertragung von Transporten zu anderen Betrieben hat die Inkubationszeit keinen Einfluss. Es wird angenommen dass das Tier ausreichend Zeit im neuen Betrieb verbringt, um klinische Symptome auszubilden und die anderen Tiere zu infizieren. Bei einer kürzeren Inkubationszeit ist die Wahrscheinlichkeit der Entdeckung höher, da klinische Symptome früher erkannt werden. Für die Sensitivitätsanalyse wurde die Inkubationszeit von einer Pert-Verteilung [3 5 7] jeweils um 50 % verringert (Pert-Verteilung [1,5 2,5 3,5]) oder erhöht (Pert-Verteilung [4,5 7,5 10,5]).

Das Ergebnis der Sensitivitätsanalyse ist in den folgenden Abbildungen dargestellt. Abb.4.9 zeigt als Box-Plot die Anzahl der infizierten Betriebe, Abb.4.10 zeigt die Dauer des Ausbruchs. Abb.4.11 bzw. 4.12 zeigen den zeitlichen Verlauf bzw. die täglichen Neuinfektionen. In Tabelle 4.10 stehen die statistischen Kenngrößen.

Eine Reduktion der Inkubationszeit resultiert in einem verkürzten, im Median leicht größeren Ausbruch als das Basismodell. Zu Anfang steigt die Zahl der infizierten Betriebe stärker an, jedoch werden infizierte Betriebe schneller entdeckt. Die Dauer sinkt im Median um 36 %, die Anzahl der inf. Betriebe steigt um 17 %.

Bei einer längeren Inkubationszeit ist der Ausbruch deutlich länger und größer. Die Anzahl der Infektionen pro Tag steigt langsamer, jedoch können über lokale Übertragung sowie Transporte infizierter Tiere, welche sich noch in der Inkubationszeit befinden, ständig neue Betriebe infizieren. Zum Ende der Simulation flacht die Kurve sichtlich ab, die Zahl der Neuinfektionen pro Tag geht gegen Null. Die Dauer steigt im Median um 181 %, die Anzahl der inf. Betriebe steigt um 285 %.



## 4. Ergebnisse

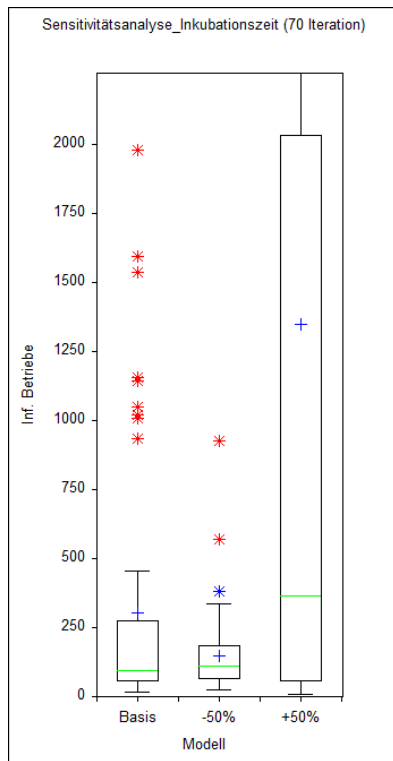


Abbildung 4.9.: Anzahl der betroffenen Betriebe bei Änderung der Inkubationszeit

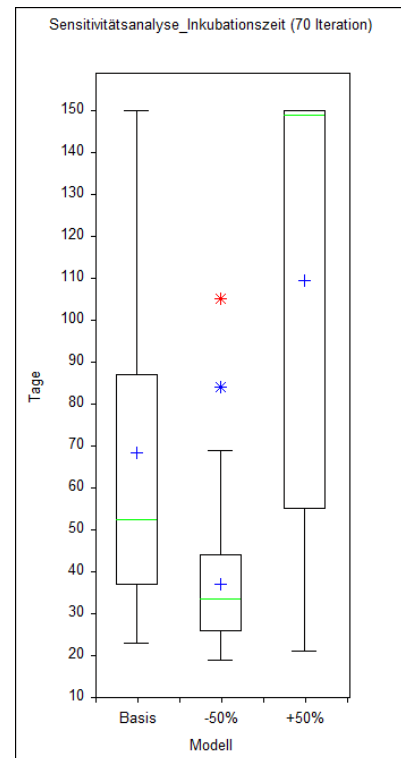


Abbildung 4.10.: Dauer bei Änderung der Inkubationszeit

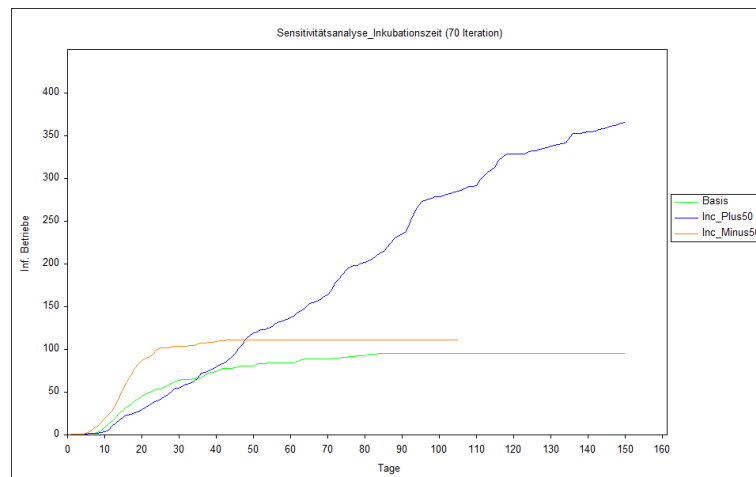


Abbildung 4.11.: Anzahl der betroffenen Betriebe bei Änderung der Inkubationszeit, kumulativ

## 4. Ergebnisse

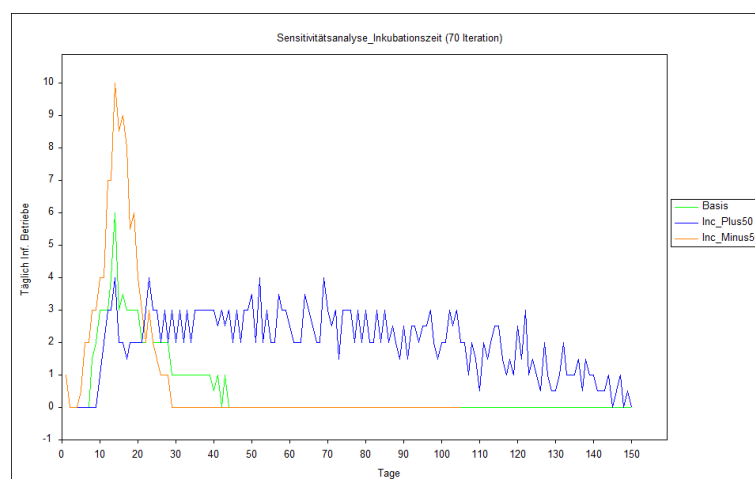


Abbildung 4.12.: Anzahl der betroffenen Betriebe bei Änderung der Inkubationszeit, täglich

Modell		Basis	Ink. -50 %	Ink +50 %
Dauer [Tage]	0.25-Q.	37	26	55
	Median	53	34	149
	0.75-Q.	87	44	150
	Mittelw.	68	37	110
Anzahl Betriebe	0.25-Q.	58	65	57
	Median	95	111	366
	0.75-Q.	276	185	2.034
	Mittel.	301	148	1.350

Tabelle 4.10.: Sensitivitätsanalyse Inkubationszeit

### 4.2.3. Transporte

#### Zwischen Betrieben - Infektiosität

Für Transporte zwischen den Betrieben beschreibt die Infektiosität in der Simulation eine Pert-Verteilung  $[0,9 \ 0,95 \ 1]$ . Es wurde nicht 100 % angenommen, für den Fall dass ein gesundes Tier von einem infizierten Betrieb transportiert wurde (die Übertragung innerhalb eines Betriebs kann mit InterSpread Plus nicht simuliert werden). Für die Sensitivitätsanalyse wurde dieser Parameter verringert (BetaPert  $[0,8 \ 0,9 \ 1]$ ) und erhöht (Konstant  $[1]$ ).

Das Ergebnis der Sensitivitätsanalyse ist in den folgenden Abbildungen dargestellt. Abb.4.13 zeigt die Anzahl der inf. Betriebe, Abb.4.14 die Dauer. In Tabelle 4.11 stehen die statistischen Kenngrößen. Bei verringerter Infektiosität kommt es zu einem leicht verkürzten und kleineren Ausbruch. Die Dauer sinkt im Median um 6 %, die Anzahl der inf. Betriebe

#### 4. Ergebnisse

sinkt um 16%. Setzt man den Infektiositätsparameter auf konstant [1] resultiert das in einem leicht längeren und größeren Ausbruch. Die Dauer steigt im Median um 6%, die Anzahl der inf. Betriebe steigt um 3%.

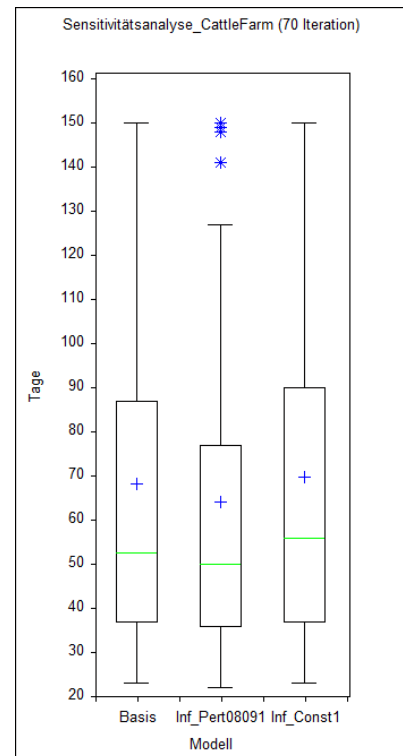
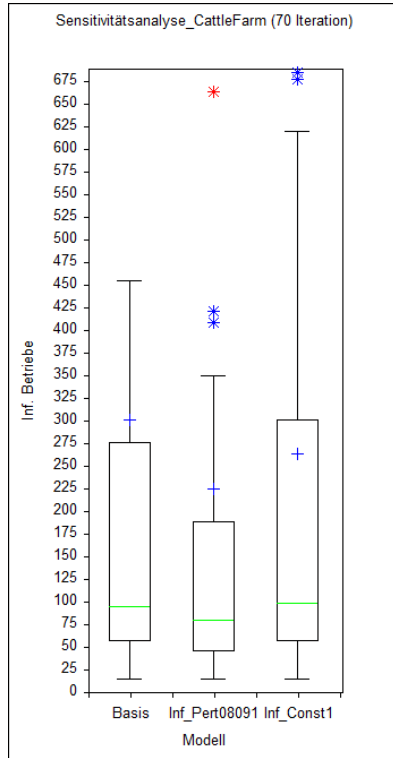


Abbildung 4.13.: Anzahl der betroffenen Betriebe bei Änderung der Infektiosität bei Transporten zw. Betrieben

Abbildung 4.14.: Dauer bei Änderung der Infektiosität bei Transporten zw. Betrieben

Modell		Basis	Inf. geringer	Inf. höher
Dauer [Tage]	0.25-Q.	37	36	37
	Median	53	50	56
	0.75-Q.	87	77	90
	Mittelw.	68	64	70
Anzahl Betriebe	0.25-Q.	58	46	58
	Median	95	80	98
	0.75-Q.	276	189	301
	Mittel.	301	225	264

Tabelle 4.11.: Sensitivitätsanalyse Transporte Betriebe

### Zu Märkten - Infektiosität

Transporte von und zu Märkten und Versteigerungsorten bieten einen wichtigen möglichen Übertragungsweg, der vor allem 2001 in Großbritannien von großer Bedeutung war. Die Wahrscheinlichkeit der Übertragung wird im Basismodell als Normalverteilung mit Mittelwert 0,415 und Standardabweichung 0,006 angegeben. Diese Wahrscheinlichkeit beschreibt, dass z.B. gesunde Tiere von infizierten Betrieben transportiert werden oder die Tiere am Markt keinen Kontakt zu anderen haben und zum Ursprungsbetrieb zurück transportiert werden.

In der Sensitivitätsanalyse wurde die Infektiosität auf konstant [1] gesetzt, es ist somit jeder Transport infizierter Tiere automatisch infektiös. Das Ergebnis ist in den folgenden Abbildungen dargestellt. Abb.4.15 zeigt die Anzahl der inf. Betriebe, Abb.4.16 die Dauer des Ausbruchs. In Tabelle 4.12 stehen die statistischen Kenngrößen. Bei einer Erhöhung der Infektiosität bei diesen Transporten steigt die Dauer im Median um 2%, die Anzahl der inf. Betriebe steigt um 11%.

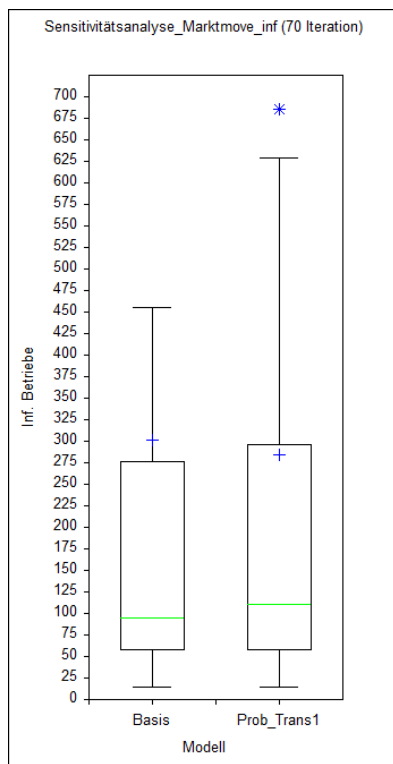


Abbildung 4.15.: Anzahl der betroffenen Betriebe bei Änderung der Infektiosität bei Transporten zu Märkten

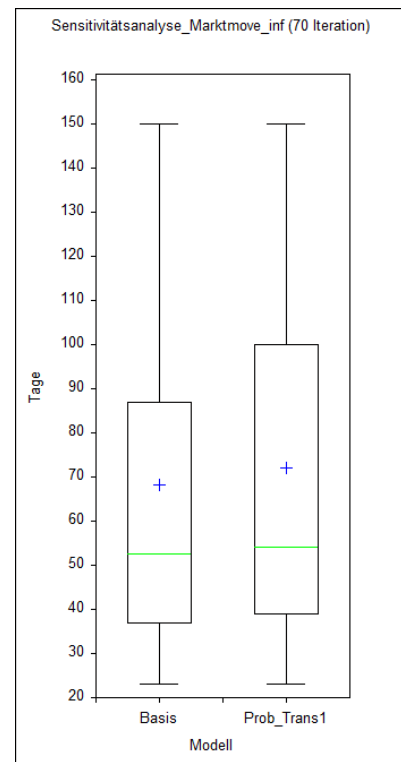


Abbildung 4.16.: Dauer bei Änderung der Infektiosität bei Transporten zu Märkten

#### 4. Ergebnisse

Modell		Basis	Inf. höher
Dauer [Tage]	0.25-Q.	37	39
	Median	53	54
	0.75-Q.	87	100
	Mittelw.	68	72
Anzahl Betriebe	0.25-Q.	58	58
	Median	95	105
	0.75-Q.	276	266
	Mittel.	301	269

Tabelle 4.12.: Sensitivitätsanalyse Transport Märkte Inf.

#### Zu Märkten - Extra Kontakte

Neben der Infektiosität wurde die Anzahl an extra Kontakten (d.h. Kontakte zu anderen Betrieben), die ein Transport am Weg zum oder vom Markt besitzt erhöht. Im Basismodell wird die Anzahl durch eine Poisson Verteilung ( $\mu = 3,5$ ) beschrieben. Dieser Wert wurde für die Sensitivitätsanalyse auf 5 bzw. 10 erhöht.

Das Ergebnis ist in den folgenden Abbildungen dargestellt. Abb.4.17 zeigt die Anzahl der inf. Betriebe, Abb.4.18 die Dauer des Ausbruchs. In Tabelle 4.13 stehen die statistischen Kenngrößen. Die Erhöhung auf  $\mu = 5$  erhöht die Dauer im Median um 6 %, die Anzahl der inf. Betriebe steigt um 11 %. Die Erhöhung auf  $\mu = 10$  erhöht die Dauer im Median um 5 %, die Anzahl der inf. Betriebe steigt um 16 %.

## 4. Ergebnisse

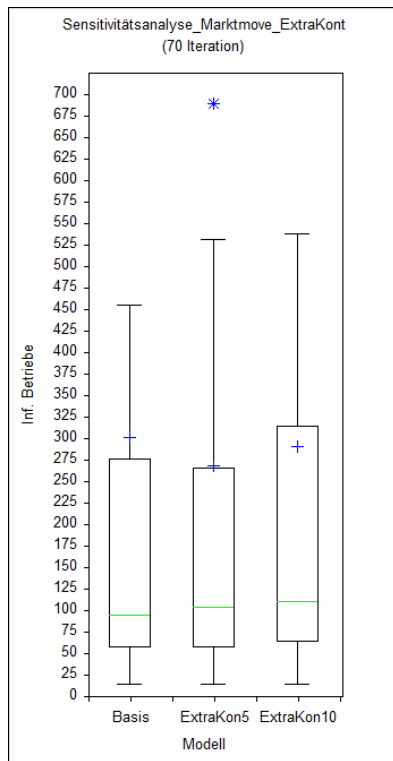


Abbildung 4.17.: Anzahl der betroffenen Betriebe bei Änderung der extra Kontakte bei Transporten zu Märkten

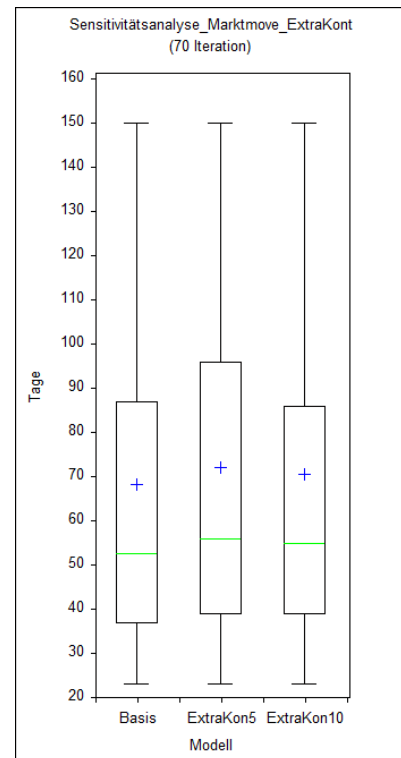


Abbildung 4.18.: Dauer bei Änderung der extra Kontakte bei Transporten zu Märkten

Modell		Basis	Extra Kont. 5	Extra Kont. 10
Dauer [Tage]	0.25-Q.	37	39	39
	Median	53	56	55
	0.75-Q.	87	96	86
	Mittelw.	68	72	71
Anzahl Betriebe	0.25-Q.	58	58	64
	Median	95	105	110
	0.75-Q.	276	266	315
	Mittel.	301	269	291

Tabelle 4.13.: Sensitivitätsanalyse Transport Märkte, Extra Kontakte

### 4.2.4. Lokale Übertragung

Die lokale Übertragung spielt im Fall eines MKS-Ausbruchs eine sehr wichtige Rolle (San-son et al., 2006a). Im Basismodell wurde die lokale Übertragung durch eine Lookup-Tabelle beschrieben, die im Radius von drei Kilometer und pro Tage die Wahrchein-



## 4. Ergebnisse

lichkeit angibt. Für die Sensitivitätsanalyse wurden die Parameter um 50 % erhöht oder verringert. Bei der Erhöhung wurden zwei Simulationen gerechnet, eine mit 150 Tagen wie das Basismodell und eine mit 450 Tagen zum Abschätzen des gesamten Ausmaßes des Ausbruchs.

Das Ergebnis ist in den folgenden Abbildungen dargestellt. Abb.4.19 zeigt die Anzahl der inf. Betriebe, Abb.4.20 die Dauer des Ausbruchs. In Tabelle 4.14 stehen die statistischen Kenngrößen. Bei Verringerung zeigt sich ein deutlich kleinerer und kürzerer Ausbruch. Die Dauer sinkt im Median um 49 %, die Anzahl der inf. Betriebe sinkt um 72 %. Bei Erhöhung zeigt sich das gegenteilige Bild, es kommt zu einer sehr starken Erhöhung der Anzahl der inf. Betriebe sowie der Dauer. Die Dauer steigt im Modell mit 150 Tagen Simulationsdauer im Median um 183 %, die Anzahl der inf. Betriebe steigt von 95 auf 3705 um das 39-fache. In der Analyse mit 450 Tagen steigt die Dauer auf das 4,5-fache und die Anzahl der inf. Betriebe um das ca. 70-fache.

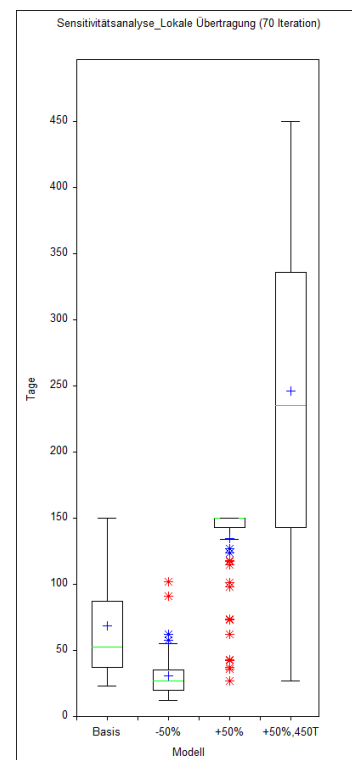
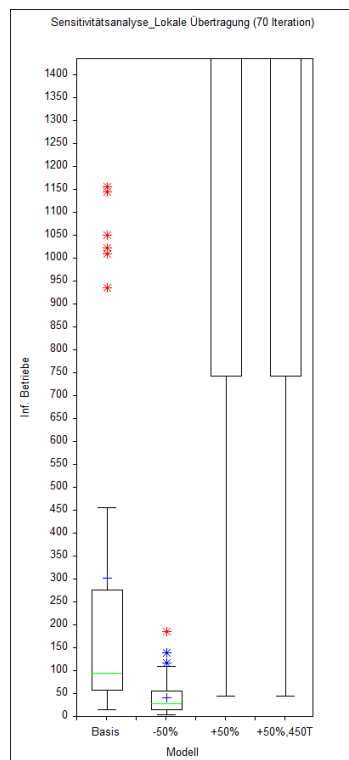


Abbildung 4.19.: Anzahl der betroffenen Betriebe bei Änderung der lokalen Übertragung  
Abbildung 4.20.: Dauer bei Änderung der lokalen Übertragung

### 4.2.5. Keulungszone

Die Keulung als einzige zugelassene Therapie erfolgt in Österreich sofort nach Bestätigung der Infektion in einem Betrieb. Mit dem Wissen der Möglichkeit der lokalen Übertragung an Nachbarsbetriebe entsteht die Überlegung, eine Keulungszone um einen inf. Betrieb zu errichten. Dabei muss den Verantwortlichen bewusst sein, dass hier Betriebe mit ge-

#### 4. Ergebnisse

Modell		Basis	-50 %	+50 %	+50 % 450 Tage
Dauer [Tage]	0.25-Q.	37	20	143	143
	Median	53	27	150	235
	0.75-Q.	87	35	150	336
	Mittelw.	68	31	134	246
Anzahl Betriebe	0.25-Q.	58	15	743	743
	Median	95	27	3.705	6.522
	0.75-Q.	276	55	7.743	9.539
	Mittel.	301	40	5.345	7.788

Tabelle 4.14.: Sensitivitätsanalyse Lokalübertragung

sunden Tieren gekeult werden. In der Sensitivitätsanalyse wurden drei Zonen errichtet, jeweils mit einem Radius von 500m, 1000m und 1500m. Für die Interpretation des Ergebnisses mussten hier nicht nur die Anzahl der inf. Betriebe und die Dauer betrachtet werden, sondern auch die Anzahl der gekeulten Betriebe. Das Ergebnis ist in den folgenden Abbildungen dargestellt. Abb.4.21 zeigt die Anzahl der inf. und gekeulten Betriebe, Abb.4.22 die Dauer des Ausbruchs. In Tabelle 4.15 stehen die statistischen Kenngrößen. Der Effekt der Keulungszone ist in den Abb. 4.23 und 4.24 gut sichtbar. An Tag 35 der Simulation wird ein Betrieb entdeckt (mit Pfeil markiert), an Tag 36 sind alle Betriebe in der Umgebung gekeult. Dabei ist zu sehen, dass darunter infizierte Betriebe sind, die noch nicht entdeckt wurden, jedoch auch vollkommen gesunde Betriebe.

Für eine Keulungszone von 500m um infizierte Betriebe ergibt sich im Median eine Reduktion der Dauer um 29 % und von inf. Betrieben um 20 %, jedoch eine Steigerung der gekeulten Betriebe um 65 %.

Für eine Keulungszone von 1000m um infizierte Betriebe ergibt sich im Median eine Reduktion der Dauer um 38 % und von inf. Betrieben um 38 %, jedoch eine Steigerung der gekeulten Betriebe um 126 %.

Für eine Keulungszone von 1500m um infizierte Betriebe ergibt sich im Median eine Reduktion der Dauer um 40 % und von inf. Betrieben um 37 %, jedoch eine Steigerung der gekeulten Betriebe um 306 %.

## 4. Ergebnisse

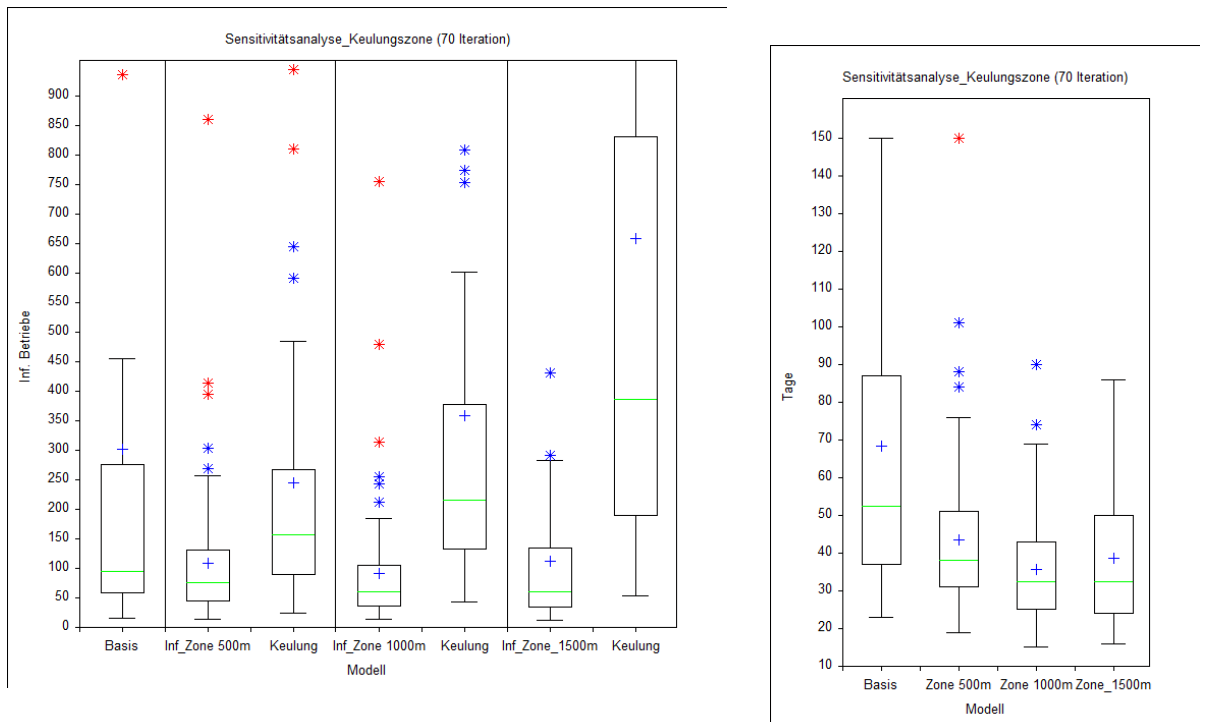


Abbildung 4.21.: Anzahl der betroffenen Betriebe  
 bei Errichtung einer Keulungszone  
 Abbildung 4.22.: Dauer bei Errichtung einer Keulungszone

Modell		Basis	Zone 500m		Zone 1000m		Zone 1500m	
			Inf.	Gekeu.	Inf.	Gekeu.	Inf.	Gekeu.
Dauer [Tage]	0.25-Q.	37	31	38	25	30	24	29
	Median	53	38	44	33	38	32	37
	0.75-Q.	87	51	56	43	49	50	54
	Mittelw.	68	44	51	36	41	39	43
Anzahl Betriebe	0.25-Q.	58	45	89	36	134	34	189
	Median	95	76	157	59	215	60	386
	0.75-Q.	276	131	268	105	378	135	831
	Mittel.	301	109	244	92	359	111	658

Tabelle 4.15.: Sensitivitätsanalyse Keulungszone

## 4. Ergebnisse

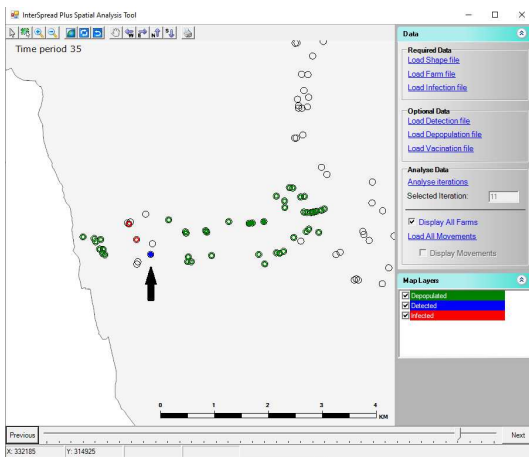


Abbildung 4.23.: Tag 35

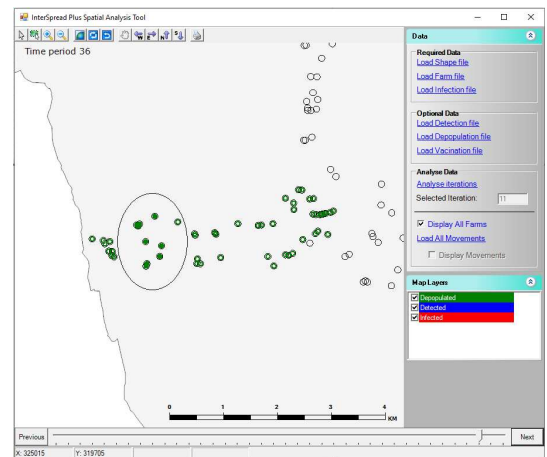


Abbildung 4.24.: Tag 36

### 4.2.6. Impfzone

Analog zu einer Keulungszone besteht die Möglichkeit, eine Impfzone um inf. Betriebe zu errichten. Auch wenn eine Impfung in Österreich nur in Ausnahmefällen genehmigt werden kann, wurde dieses Szenario simuliert. Unter Berücksichtigung der Wirksamkeit der Impfung entstanden drei Zonen, jeweils mit dem Radius 1000m, 3000m und 5000m. Der Radius der Impfzone kann größer als die Keulungszone gefasst werden, da deutlich mehr Tiere geimpft werden können pro Zeiteinheit. Nach der Impfung wird das Immunitätsmaximum von 42 % nach 7 Tagen erreicht. Geimpfte Tiere besitzen, nachdem sie mit dem Erreger in Kontakt waren, eine geringere Ansteckungsrate als nicht geimpfte Tiere. Das Ergebnis ist in den folgenden Abbildungen dargestellt. Abb.4.25 zeigt die Anzahl der inf. Betriebe, Abb.4.26 die Dauer des Ausbruchs. In Tabelle 4.16 stehen die statistischen Kenngrößen. In Abb. 4.27 ist eine grafische Darstellung gegeben, wie die Impfzone um einen infizierten Betrieb durchgeführt wird. Hier ist in einem Radius von 5.000m jeder Betrieb geimpft worden.

Die Dauer des Ausbruchs sinkt bei allen um etwa 15 %, die Zahl der inf. Betriebe um 5 %. Hier gibt es keine großen Unterschiede zwischen den einzelnen Modellen. Die Zahl der geimpften Betriebe steigt mit größerem Radius stark an. Bei einer Zone von 1000m werden 238 Betriebe geimpft, bei 3000m sind es 833 und bei 5000m sind es 1591 Betriebe. Unter dem Umstand, dass geimpfte Tiere zusätzlich zu den infizierten gekeult werden müssen, ist die Errichtung einer Impfzone zur Zeit nicht vorgesehen (BGBl. II Nr. 199, 2008). Länder mit zugelassener Impfung erhalten den OIE-Status "MKS-frei mit Impfung", in Europa ist eine Impfung jedoch auf Grund der geringen Immunitätsbildung nicht zugelassen.

## 4. Ergebnisse

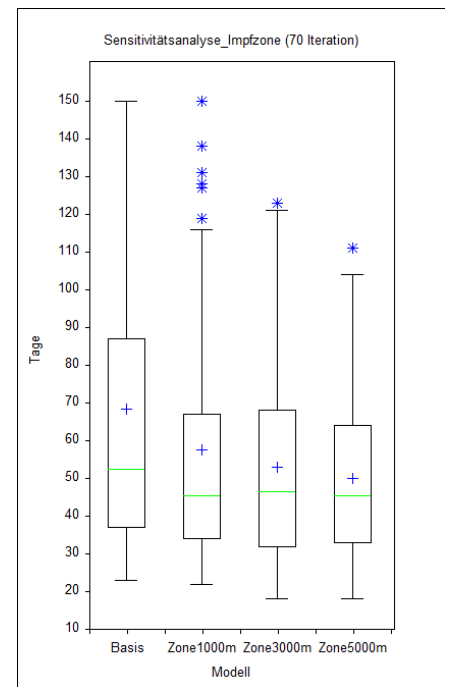
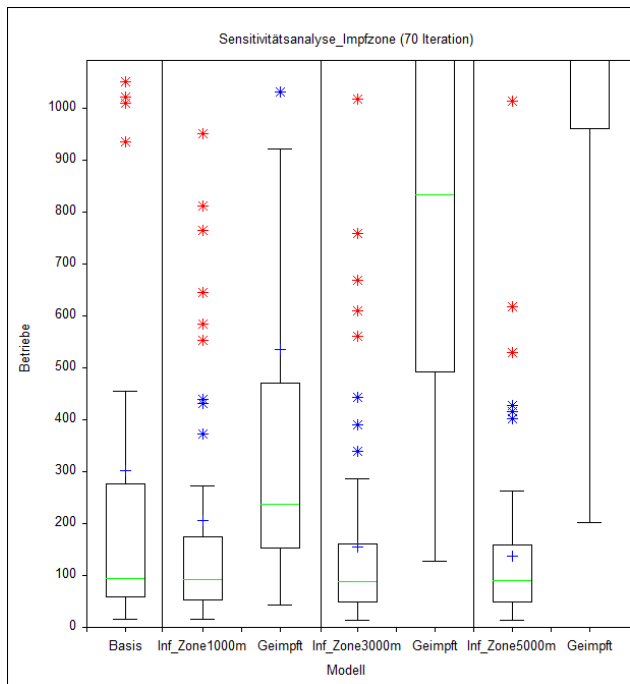


Abbildung 4.25.: Anzahl der betroffenen Betriebe bei Errichtung einer Impfzone

Abbildung 4.26.: Dauer bei Errichtung einer Impfzone

Modell		Basis	Zone 1000m		Zone 3000m		Zone 5000m	
			Inf.	Geimpft	Inf.	Geimpft	Inf.	Geimpft
Dauer [Tage]	0.25-Q.	37	34	40	32	39	33	38
	Median	53	45	51	46	51	45	50
	0.75-Q.	87	67	74	68	73	64	66
	Mittelw.	68	58	63	53	56	50	53
Anzahl Betriebe	0.25-Q.	58	53	152	49	493	49	960
	Median	95	92	238	87	833	90	1.591
	0.75-Q.	276	175	471	160	1798	158	3.027
	Mittel.	301	205	536	155	1440	137	2.455

Tabelle 4.16.: Sensitivitätsanalyse Impfzone

## 4. Ergebnisse

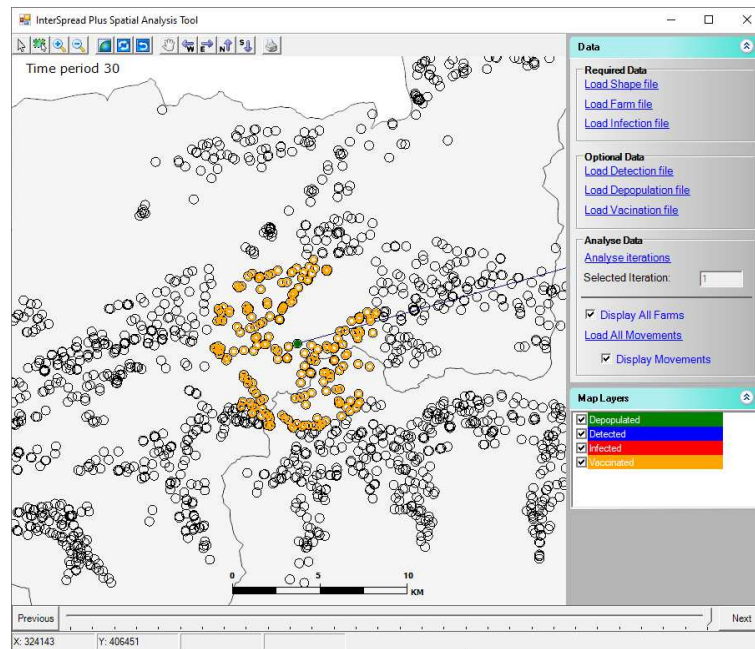


Abbildung 4.27.: Grafische Darstellung der Impfzone

### 4.2.7. Impfung - Immunität

Im Falle einer Impfstrategie mit einer Impfzone mit Radius 3000m wurde mittels Sensitivitätsanalyse untersucht, welchen Einfluss die Zeit bis zur Immunität auf den Ausgang hat. Dabei wurden die Wahrscheinlichkeiten in der Lookup-Tabelle erhöht (bedeutet eine längere Zeit bis zur Ausbildung einer Immunität) bzw. verringert (bedeutet eine schnellere Immunität). Die Werte sind in Tabelle 4.17 angegeben. Der angegebene Wert wird mit der Wahrscheinlichkeit der Ansteckung multipliziert, das heißt ein Wert von 1 bedeutet keinen Schutz und 0 bedeutet 100%ige Immunität. Die Ergebnisse wurden mit der Impfzone (Radius 3000m) verglichen. Das Ergebnis ist in den folgenden Abbildungen dargestellt. Abb.4.28 zeigt die Anzahl der inf. Betriebe, Abb.4.29 die Dauer des Ausbruchs. In Tabelle 4.18 stehen die statistischen Kenngrößen.

Erhöht man die Zeit bis zur Immunität, so steigt die Dauer um 9% und die Anzahl der inf. Betriebe um 2%. Reduziert man die Zeit, so steigt die Dauer um 2% und die Anzahl der inf. Betriebe sinkt um 14%.



## 4. Ergebnisse

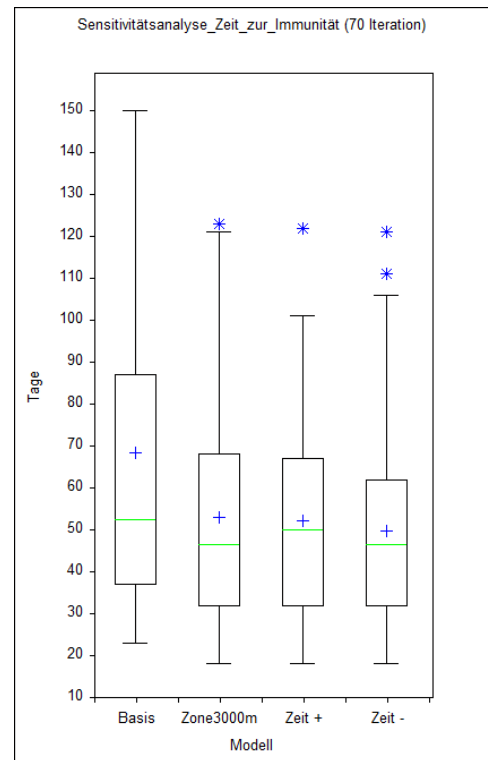
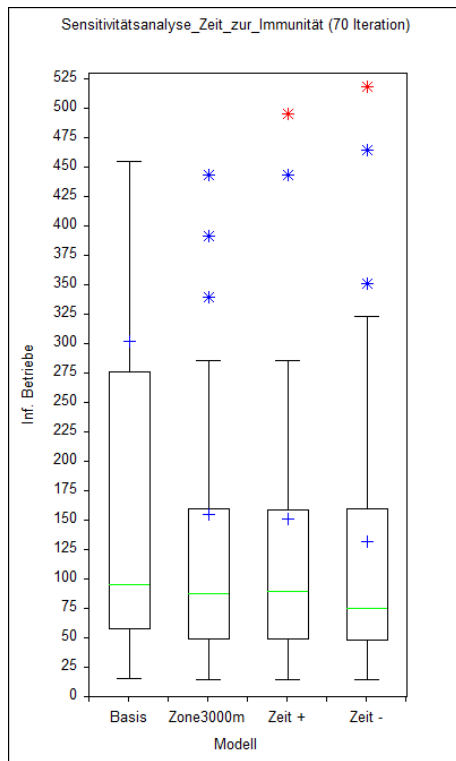


Abbildung 4.28.: Anzahl der betroffenen Betriebe bei Änderung der Zeit zur Immunität

Abbildung 4.29.: Dauer bei Änderung der Zeit zur Immunität

Tage nach Impfung	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$\geq 10$
Basis	1	1	1	0.958	0.874	0.79	0.622	0.58	0.58	0.58
Erhöht	1	1	1	0.958	0.874	0.79	0.7	0.622	0.6	0.58
Verringert	1	1	1	0.8	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58

Tabelle 4.17.: Eingabeparameter Zeit zur Immunität

Modell		Basis	Zone 3000m	Zeit erhöht	Zeit erniedrigt
Dauer [Tage]	0.25-Q.	37	32	32	32
	Median	53	46	50	47
	0.75-Q.	87	68	67	62
	Mittelw.	68	53	52	50
Anzahl Betriebe	0.25-Q.	58	49	49	48
	Median	95	87	89	75
	0.75-Q.	276	160	159	160
	Mittel.	301	155	151	132

Tabelle 4.18.: Sensitivitätsanalyse Zeit zur Immunität

### 4.2.8. Bewegungseinschränkungen

Die Errichtung einer Schutz- und Überwachungszone um detektierte Betriebe hat den Sinn, eine Weiterverbreitung zu möglichst gut zu verhindern. Über lokale Übertragung besteht die Chance, Nachbarbetriebe zu infizieren, daher werden Tiertransporte im Basismodell um 98 % (um mögliche illegale Transporte zu berücksichtigen) und Medium-Risk Bewegungen um 80 % (Besuche von Tierärzten dürfen z.B. in kleinem Rahmen stattfinden) eingeschränkt. Für die Sensitivitätsanalyse wurden die Bewegungen für Transporte von und zu Betrieben auf 80 % und bei Medium-Risk Bewegungen auf 50 % verringert. Beides sind große Veränderungen und sollen untersuchen, wie groß der Einfluss ist wenn Bewegungseinschränkungen beispielsweise nicht mehr streng verfolgt werden. Während Tiertransporte leichter verfolgt werden können, sind Medium-Risk Bewegungen schwerer zu beschränken (z.B. Landwirte die mit ihrem persönlichen Auto den Nachbarbetrieb besuchen) und erlauben deutlich mehr Spielraum für unerlaubte Bewegungen. Eine Reduktion von 80 % auf 50 % soll dies abdecken und einen Extremfall darstellen.

Das Ergebnis ist in den folgenden Abbildungen dargestellt. Abb. 4.30 zeigt die Anzahl der inf. Betriebe, Abb.4.31 die Dauer des Ausbruchs. In Tabelle 4.19 stehen die statistischen Kenngrößen. Bei der Einschränkung der Transporte zw. Betrieben zeigt sich keine Auswirkung auf den Median bei Dauer und Anzahl der inf. Betriebe. Es ist bemerkenswert, dass eine Erhöhung der erlaubten Transporte von 2 % auf 20 % keinen Einfluss auf den Seuchenverlauf nimmt. Bei Einschränkung der Medium-Risk Bewegungen steigt die Dauer um 73 % und die Anzahl der inf. Betriebe um 137 %. Dies zeigt wie wichtig die Erfassung aller Bewegungen innerhalb der Schutz- und Überwachungszone ist.

## 4. Ergebnisse

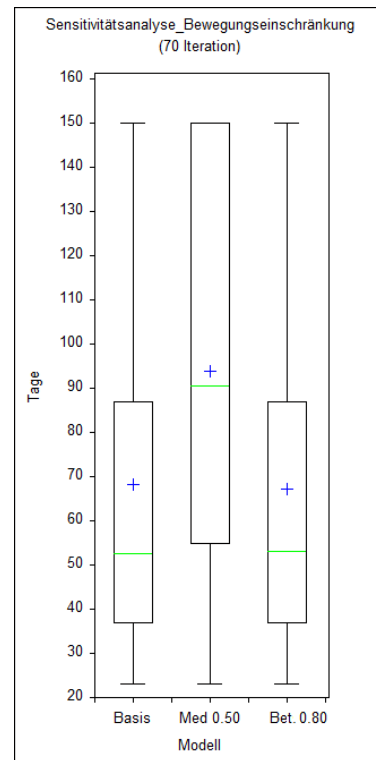
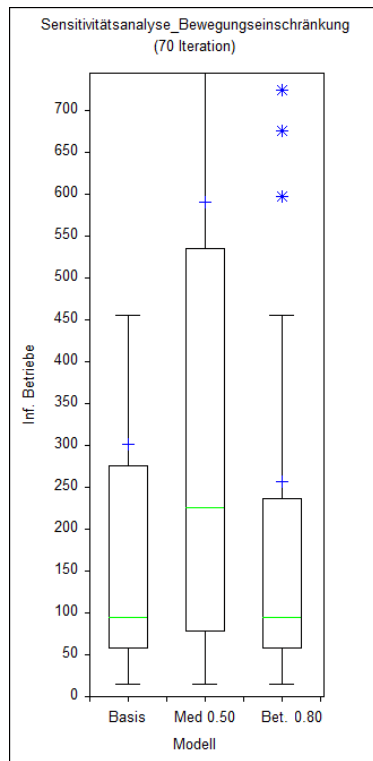


Abbildung 4.30.: Anzahl der betroffenen Betriebe bei Änderung der Bewegungseinschränkungen

Abbildung 4.31.: Dauer bei Änderung der Bewegungseinschränkungen

Modell		Basis	Medium	Zw. Betrieben
Dauer [Tage]	0.25-Q.	37	56	37
	Median	53	92	53
	0.75-Q.	87	150	87
	Mittelw.	68	95	68
Anzahl Betriebe	0.25-Q.	58	79	58
	Median	95	226	95
	0.75-Q.	276	535	236
	Mittel.	301	590	257

Tabelle 4.19.: Sensitivitätsanalyse Bewegungseinschränkungen, Mittleres Risiko und in Schutz- und Überwachungszonen

# 5. Diskussion

## 5.1. High Risk Periode

Die Variation der HRP hat erwartungsgemäß einen großen Einfluss auf den Ausgang und die Verbreitung der Seuche. Bei Betrieb 1233 resultiert eine um fünf Tage frühere Entdeckung des Indexfalls in einer Reduktion der inf. Betriebe von 95 auf 16. Bei der Verlängerung auf 20 Tage zeigt sich ein Anstieg auf 420 Betriebe. Dies zeigt die enorme Bedeutung der möglichst frühen Erkennung. In Großbritannien 2001 ist diese Zeitspanne nicht genau bekannt, beträgt jedoch schätzungsweise 3 Wochen (Gibbens et al., 2001). Auch wenn der letzte Ausbruch in Österreich viele Jahre zurück liegt müssen alle Beteiligten wachsam bleiben und der kleinsten Verdacht auf MKS muss angezeigt und untersucht werden. Im Falle eines Ausbruchs von MKS zählt jeder Tag, an dem die Seuche früher erkannt wird. Erreicht werden kann das durch regelmäßige Schulungen der Landwirte und Tierärzte sowie ständiger und flächendeckender Kontrolle und Überwachung der Tiere auf Symptome.

## 5.2. Inkubationszeit

Bei der Variation der Inkubationszeit hat sich gezeigt, dass eine kürzere einen im Median größeren, jedoch verkürzten Ausbruch verursacht. Durch frühere Erkennung infizierter Betriebe kann der Ausbruch schneller unter Kontrolle gebracht werden. Bei längerer Inkubationszeit erhöht sich die Dauer und die Anzahl infizierter Betriebe deutlich. Bei Simulationseende fanden immer noch Ansteckungen statt, jedoch im Schnitt weniger als am Anfang, was zum baldigen Ende des Ausbruchs hindeutet.

Auch wenn dieser Parameter in der Simulation frei gewählt werden kann, so ist die Inkubationszeit nicht beeinflussbar. Es kann nur versucht werden, durch Analyse vergangener Epidemien und Ausbrüche die Inkubationszeit bestmöglich an die jeweilige Tierart anzupassen um eine realistische Vorhersage treffen zu können.

## 5.3. Transporte

### 5.3.1. Zwischen Betrieben

Die Simulation mit unterschiedlicher Infektiosität bei Transporten zwischen den Betrieben hat den Einfluss auf das Modell gezeigt. Durch die bekannte sehr hohe Ansteckungsgefahr bei MKS ist es nicht sinnvoll, Ansteckungswahrscheinlichkeiten unter 90 % zu simulieren. Daher wurden in der Sensitivitätsanalyse die beschriebenen Parameter gewählt, welches

eine Variation um etwa 5 % darstellt. Dies erklärt den geringen Einfluss von einem Abfall von 16 % bzw. einem Anstieg von 3 % an inf. Betrieben. Im Modell fanden etwa 9 % der Übertragungen über diesen Weg statt.

### 5.3.2. Zu Märkten - Infektiosität

Eine Steigerung der Infektiosität bei Transporten zwischen Märkten und Versteigerungs-orten hebt erwartungsgemäß die Zahl der inf. Betriebe an. Eine Erhöhung der Dauer um 2 % und der inf. Betriebe um 11 % fällt jedoch recht gering aus. Eine mögliche Ursache ist die geringe Anzahl an Ansteckungen, die durch diesen Übertragungsweg statt findet. Nur weniger als 1 % der Übertragungen (136 von 19878) erfolgten im Modell über diesen Weg. Bei genauer Kenntnis der Anzahl an Bewegungen zu und von Märkten kann dieser Parameter wichtiger werden, bei einer retrospektiven Analyse von tatsächlich erfolgten Transporten kann eine erneute Untersuchung durchgeführt werden. In Großbritannien 2001 wurde durch Rückverfolgung festgestellt, dass MKS über den Transport infizierter Schafe zu Märkten das Virus im ganzen Land verbreiteten (Gibbens et al., 2001; Gibbens and Wilesmith, 2002).

### 5.3.3. Zu Märkten - Extra Kontakte

In der Sensitivitätsanalyse zeigt die Erhöhung von extra Kontakten bei Transporten von und zu Märkten einen leichten Anstieg der Dauer und inf. Betriebe. Auch wenn der Anstieg mit bis zu 16 % nicht sehr hoch ausfällt, zeigt sich über eine Analyse der Übertragungswege, dass es hier zu einer deutlichen Erhöhung gekommen ist. Während im Basismodell nur etwa 0,2 % der Ansteckung über diese Transporte statt fand, erhöhte sich das auf 0,4 % bei  $\mu = 5$  bzw. 0,9 bei  $\mu = 10$ . Der geringe Einfluss auf das Ergebnis liegt wahrscheinlich in der Tatsache, dass die zusätzlich angefahrenen Betriebe meist im Umkreis der inf. Betriebe liegen und damit sonst durch lokale Übertragung bereits infiziert worden sind oder wären.

In der Realität kann dieser Parameter beeinflusst werden. Kommt es zu einem Ausbruch oder Verdachtsfall, sollte die Anzahl an extra Kontakten größtmöglich reduziert werden und nur mehr die selben Betriebe angefahren werden. Im Idealfall werden keine zusätzlichen Betriebe angefahren und es erfolgt ein direkter Transport von oder zu den Märkten im ganzen Land. Die Frage der Wirtschaftlichkeit spielt dabei natürlich auch eine Rolle.

## 5.4. Lokale Übertragung

Der Einfluss der Eingabeparameter auf den Ausgang des Ausbruchs ist bei der lokalen Übertragung besonders groß. Da Rinder besonders empfänglich für diese Art der Übertragung sind, resultiert eine Erhöhung der Parameter in einem stark gesteigerten Ausgang der Seuche. Die Anzahl der inf. Betriebe steigt bei einer Variation von 50 % um das 70-fache. Bezogen auf die Anzahl der betroffenen Tiere, die im Basismodell mit 2413 berechnet wird, ist es eine Steigerung um das 68-fache (164.124 inf. Tiere).

## 5. Diskussion

Gibbens et al. (2001) stellte fest, dass die lokale Übertragung vor allem in der Anfangszeit des Ausbruchs 2001 in Großbritannien mit über 80 % die häufigste Übertragungsart darstellte. Im Modell zeigte sich ein ähnlicher Wert, 87 % aller Infektionen im Basismodell stammten durch lokale Übertragung. In der Sensitivitätsanalyse sinkt der Wert auf 74 % bzw. steigt auf 91 %.

Diese Übertragungsmöglichkeit kann geringfügig beeinflusst werden. Tritt MKS in einem Betrieb auf, so können z.B. in allen umliegenden Betrieben die Tiere von der Weide in den Stall gebracht werden um eine Luftübertragung oder Kontakt auf der Weide zu verringern. Auch eine genaue Beobachtung der Windrichtung und -stärke gibt Hinweise auf eine weitere mögliche Ausbreitung. Genaue meteorologische Daten können in das Modell eingebunden werden.

### 5.5. Keulungszone

Die Errichtung einer Keulungszone mit einem bestimmten Radius um inf. Betriebe bietet eine Möglichkeit, die Seuche schneller unter Kontrolle zu bekommen. Es muss jedoch ganz genau abgewogen werden, mit welchem Radius diese Zone errichtet wird. Je größer, umso schneller ist der Ausbruch unter Kontrolle, jedoch steigt die Anzahl der Keulungen und damit natürlich die Keulung gesunder Tiere sehr schnell an. Bei der Sensitivitätsanalyse hat sich gezeigt, dass eine Keulungszone bis 500m um inf. Betriebe vertretbar ist. Die Dauer des Ausbruchs reduziert sich stark und die Anzahl der gekeulten Tiere bleiben in einem vergleichbaren Rahmen. Das 0,25- und 0.75-Quantil bleiben in der selben Größenordnung auch wenn der Median um 65 % ansteigt. Bei Errichtung einer größeren Zone steigt die Zahl der gekeulten Tiere deutlich stärker an, sodass diese Optionen wirtschaftlich und ethisch nicht zu vertreten sind.

In Zeiten von immer wichtiger werdendem Tierschutz darf die Abwägung, gesunde Tiere vorsorglich zu Keulen um möglicherweise eine Ausbreitung zu verhindern oder verlangsamten, nicht leichtfertig getroffen werden und muss vor den betroffenen Landwirten und der Bevölkerung argumentiert werden. Zur Unterstützung der Argumentation dienen Simulationsmodelle wie das in dieser Arbeit vorgestellte Modell.

### 5.6. Impfzone

In der Sensitivitätsanalyse wurde die Errichtung einer Impfzone um infizierte Betriebe auf ihren Einfluss überprüft. Auch wenn die Dauer um etwa 15 % und die Zahl der inf. Betriebe um 5 % gesenkt werden konnte, stellt eine Impfung zur Zeit keine Alternative dar. Da geimpfte Tiere in Österreich gekeult werden müssen, steigt somit die Zahl der gekeulten Betriebe von 95 (Basismodell) auf 330 (1000m), 920 (3000m) bzw. 1681 (5000m). Diese Maßnahme ist in dieser Form wirtschaftlich und ethisch nicht vertretbar.

Ist ein geimpftes Tier dem Erreger ausgesetzt, so ist es möglich dass die Impfung den Krankheitsausbruch nicht verhindert sondern nur verschleiert indem es zu keinen Symptomen kommt. Diese Tiere können jedoch trotzdem infektiös sein und weitere Tiere anstecken. Solang kein völliger Schutz in Form einer Impfung vorhanden ist, darf eine



Impfung nur im Rahmen einer Notimpfung zur Eindämmung eines Seuchenausbruchs mit anschließender Keulung geimpfter Tiere verwendet werden.

### 5.7. Impfung - Immunität

Wenn eine Impfstrategie verfolgt wird, zeigt Variation der Zeit bis zur Ausbildung der Immunität kaum Einfluss auf das Ergebnis. Eine Verringerung der Zeit zur Immunität ist immer wünschenswert und sollte auch angestrebt werden, jedoch sollte der Fokus auf der Ausbildung eines stärkeren Schutzes (Immunität bis 100 % statt zur Zeit 42 %) liegen. Bei vorliegen weiterer Forschungsergebnisse sollte dieser Parametersatz erneut untersucht werden, zum jetzigen Zeitpunkt ist von einer Impfung abzuraten.

### 5.8. Bewegungseinschränkungen

Um die Wirksamkeit der Bewegungseinschränkungen in der Schutz- und Überwachungszone zu überprüfen wurden diese Parameter in der Sensitivitätsanalyse deutlich verringert. Es stellte sich heraus, dass die Einschränkung bei Transporten von und zu Betrieben von keiner so großen Rolle ist wie vermutet. Die Erklärung dafür könnte in der Überwachung in diesen Zonen liegen. Betriebe in der Schutz- und Überwachungszone werden täglich auf MKS Symptome untersucht, dies kann vom Landwirt oder den zuständigen Amtstierärzten durchgeführt werden. Die Wahrscheinlichkeit dass ein Transport mit über lokale Übertragung infizierten Tieren aus diesen Zonen stattfindet, ist sehr gering. Eine Erkenntnis daraus ist, dass vereinzelt Transporte von Betrieben in diesen Zonen gestattet werden können ohne das Risiko einer Verbreitung zu erhöhen. Anders verhält es sich mit Medium-Risk Bewegungen. Hier hat sich gezeigt, dass eine Verringerung deutliche Auswirkungen auf die Weiterverbreitung haben kann. Der Kontakt von Tierärzten, Arbeitsgeräten und Landwirten sollte in den Zonen auf ein Minimum beschränkt werden und Hygienemaßnahmen haben oberste Priorität.

## 6. Zusammenfassung

Die Maul- und Klauenseuche ist eine hoch kontagiöse, virale Erkrankung bei Klauentiere die praktisch weltweit verbreitet ist. Die Übertragung geschieht direkt durch Kontakt oder indirekt über Vektoren (Luft, Menschen, Material). Durch ihre hohe Ansteckungsrate und die Tatsache, dass infizierte Tiere gekeult werden müssen, sind die wirtschaftlichen Folgen bei einem Seuchenausbruch enorm. Der letzte große Ausbruch in Europa fand 2001 in Großbritannien statt. Die Folge waren über sechs Millionen gekeulte Tiere und ein finanzieller Schaden von geschätzten elf Milliarden US-Dollar. Der letzte Ausbruch in Österreich fand 1973 mit knapp 80.000 gekeulten Tieren statt.

Um abschätzen zu können, wie ein erneuter Ausbruch von MKS in Österreich unter den gegebenen rechtlichen Bedingungen verlaufen könnte, wurde die Simulationssoftware InterSpread Plus der Massey University (Neuseeland) verwendet. Diese Software wurde bereits beim Ausbruch 2001 in Großbritannien zum Einsatz gebracht und half, den Seuchenverlauf zu simulieren. Das Modell erreichte damals eine Spezifität von bis zu 71 %, das bedeutet dass etwa zwei Drittel der infizierten Betriebe richtig vorhergesagt wurden. Mit Hilfe von InterSpread Plus wurden bereits Simulationen für einen MKS-Ausbruch in Dänemark, Südkorea, Neuseeland und Großbritannien durchgeführt, für Österreich gibt es dazu keine Studien. Dies zeigt, dass diese Simulationsoftware eine gute Basis zur realitätsnahen Modellierung für MKS bietet. Alternativen zu InterSpread Plus bieten AusSpread (Garner and Beckett, 2005; Beckett et al., 2007) und NAADSM (Schoenbaum and Disney, 2003; Harvey et al., 2007). Diese Modelle wurden in Australien und Nordamerika entwickelt. Auch wenn die Unterschiede in der Gesamtzahl der infizierten Betriebe signifikante Unterschiede zeigt, ähneln sich alle drei Modelle im Bezug auf den zeitlichen Verlauf und die geographische Ausbreitung (Dubé et al., 2007). Die Wahl fiel bei dieser Arbeit aufgrund der Verfügbarkeit auf InterSpread Plus.

Ziel der Arbeit war es daher, einen Parametersatz für die Ausbreitung innerhalb Österreichs zu erarbeiten und eine Simulation mit den tatsächlichen Rinderbestandsdaten von 2019 (bereitgestellt vom AgrarMarkt Austria) zu machen (Basismodell). Neben den 54.790 Rinderbetrieben wurden 22 Schlachthöfe und 20 Märkte bzw. Versteigerungsorte im Modell verwendet. Mit einem Basismodell sollte die Größenordnung anhand von infizierten Betrieben, infizierten Tieren und der Dauer abgeschätzt werden. Ausgehend von diesem Basismodell wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, bei der die wichtigsten Eingabeparameter variiert wurden, um deren Einfluss auf den Ausgang zu untersuchen.

Der Betrieb mit der ID 1233 wurde als Ausgangspunkt für die Seuchenausbreitung gewählt. Als Übertragungswege wurden Transporte zu anderen Betrieben, zu Schlachthöfen, von und zu Märkten und Medium-Risk Transporte definiert. Medium-Risk Transporte fassen alle Bewegungen von Menschen und Material zusammen, die als potentielle Überträger des Virus agieren können. Weiters wurde eine lokale Übertragung in einem Radius von 4.000

## 6. Zusammenfassung

Meter definiert, da sie bei MKS eine bedeutende Rolle spielt (ca. 80 % der Übertragungen). Die High Risk Periode (HRP) betrug 15 Tage, das heißt nach dieser Zeit wurde die Krankheit am ersten Betrieb nachgewiesen und Kontrollmaßnahmen wurden ergriffen. Zu den Kontrollmaßnahmen zählt die Errichtung einer Schutz- bzw. Überwachungszone mit einem Radius von 3.000m bzw. 10.000m. In diesen Zonen ist die Überwachung der Betriebe deutlich erhöht und Einschränkungen bei allen Bewegungen (bis zu 98 %) werden definiert. Ist MKS auf einem Betrieb detektiert, wird die sofortige Keulung des gesamten Betriebs in Auftrag gegeben. Die Ergebnisse der Simulation werden im Median sowie den 0,25-Quantil - 0,75-Quantil in Klammer angegeben.

Das Basismodell für einen MKS-Ausbruch in Österreich ergibt eine Dauer von 53 Tagen (37-87), 95 infizierte Betriebe (58-276) und 2.413 infizierten Tieren (1.385 - 6.154). Dies zeigt, dass Österreich trotz der langen Abwesenheit von MKS gut vorbereitet ist und die gesetzlichen Regelungen (MKS-Verordnung) den Zweck erfüllen, einen Ausbruch rasch unter Kontrolle zu bekommen.

In der Sensitivitätsanalyse zeigten sich Parameter, die einen hohen Einfluss auf das Ergebnis hatten. Zu diesen zählt die HRP, Inkubationszeit, lokale Übertragung und Einschränkungen von Medium-Risk Bewegungen. Die Parameter, die kaum einen Einfluss zeigten waren die Infektiosität bei Transporten, extra Kontakte bei Medium-Risk, Immunität bei Impfung, Einschränkungen bei Transporten zwischen Betrieben.

Gesondert betrachtet wird die Errichtung von Keulungs- und Impfzonen. Bei einer Keulungszone mit dem Radius 500m steigt die Anzahl der gekeulten Betriebe im Median um 65 %, die 0,25- bzw. 0,75-Quantile ändern sich vom Basismodell (58 - 276) auf (89 - 268). Die Dauer sinkt von 53 Tagen auf 44 Tage. Diese Option kann somit zur schnellen Bekämpfung von MKS in Betracht gezogen werden. Bei weiterer Erhöhung der Keulungszone steigt die Zahl der gekeulten Betriebe deutlich an und ist somit wirtschaftlich und ethisch nicht vertretbar.

Bereits bei Errichtung einer Impfzone mit dem Radius 1000m müssen 238 Betriebe geimpft werden während die Dauer von 53 Tagen auf 51 Tage sinkt. Da diese Betriebe nach MKS-Verordnung gekeult werden müssen, bietet die Impfung gefährdeter Tiere keine Alternative.

Es hat sich gezeigt, dass eine Reduktion der HRP und der lokalen Übertragung den größten steuerbaren Einfluss auf den Ausgang zeigen. Eine geringe HRP kann durch ein hohes Maß an Hintergrundüberwachung realisiert werden, durch regelmäßige Schulungen von Landwirten und Tierärzten, ein Hygienekonzept und Anzeige jeden Verdachts. Die lokale Übertragung kann reduziert werden über die Verbringung der Tiere in einen Stall bei infizierten Herden in der Nähe sowie möglichst genaue meteorologische Daten zu Windrichtung und -stärke. Bewegungseinschränken sollten in den Zonen möglichst hoch gehalten werden um eine Verbreitung zu verhindern.

Durch den Einfluss der Transporte auf die Verbreitung von MKS in der gesamten Population könnte in Betracht gezogen werden, alle Bewegungen in einem System zu speichern, um im Falle eines Ausbruchs eine Rückverfolgung schnell und unkompliziert durchzuführen. Zu den zu erfassenden Bewegungen zählen Tiertransporte, Tierärzte, Landwirte und sämtliche Materialtransporte. Je höher die Erfassungsrate ist, umso besser kann das System im Ernstfall helfen. Die Umsetzung ist jedoch nicht einfach, einerseits muss der

## 6. Zusammenfassung

Datenschutz berücksichtigt werden, andererseits die Zusammenarbeit mit den Landwirten und Tierärzten. Ist die Datenerfassung zu kompliziert oder nimmt zu viel Zeit in Anspruch, so ist davon auszugehen dass eine Vielzahl der Bewegungen nicht erfasst wird, wodurch die Effektivität deutlich sinkt.

Im Fall eines tatsächlichen Ausbruchs in Österreich könnte dieses Modell als Grundlage genommen werden, um Vorhersagen über mögliche Ausbreitungsorte zu liefern. Dabei muss das Modell laufend durch die aktuellen Geschehnisse und Verbreitungswege ergänzt werden. Meteorologische Daten, Daten von tatsächlich durchgeführten Bewegungen und angepasste Simulationsparameter verbessern die Genauigkeit und erhöhen die Chance einer korrekten Vorhersage.

Zusammenfassend sind in den folgenden Abbildungen noch einmal alle Simulationen gegenüber gestellt. Abb. 6.1 zeigt die Anzahl der gekeulten Betriebe, Abb. 6.2 die Dauer der Ausbrüche. Von links nach rechts:

- Basismodell
- HRP
- Inkubationszeit
- Infektiosität bei Transporten zu Betrieben
- Infektiosität bei Transporten zu Märkten
- Extra Kontakte bei Transporten zu Märkten
- Lokale Übertragung
- Keulungszone (500m, 1.000m, 1.500m)
- Impfzone (1.000m, 3.000m, 5.000m)
- Immunität bei Impfung
- Bewegungseinschränkungen

## 6. Zusammenfassung

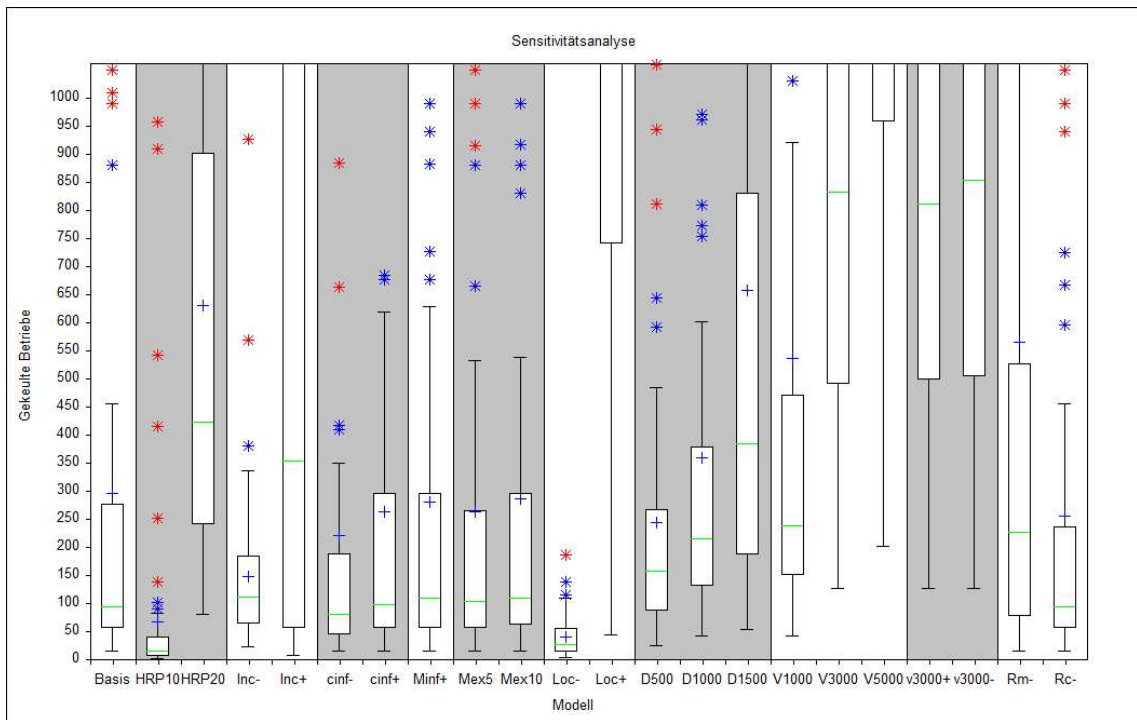


Abbildung 6.1.: Simulationen im Vergleich, Gekeulte Betriebe

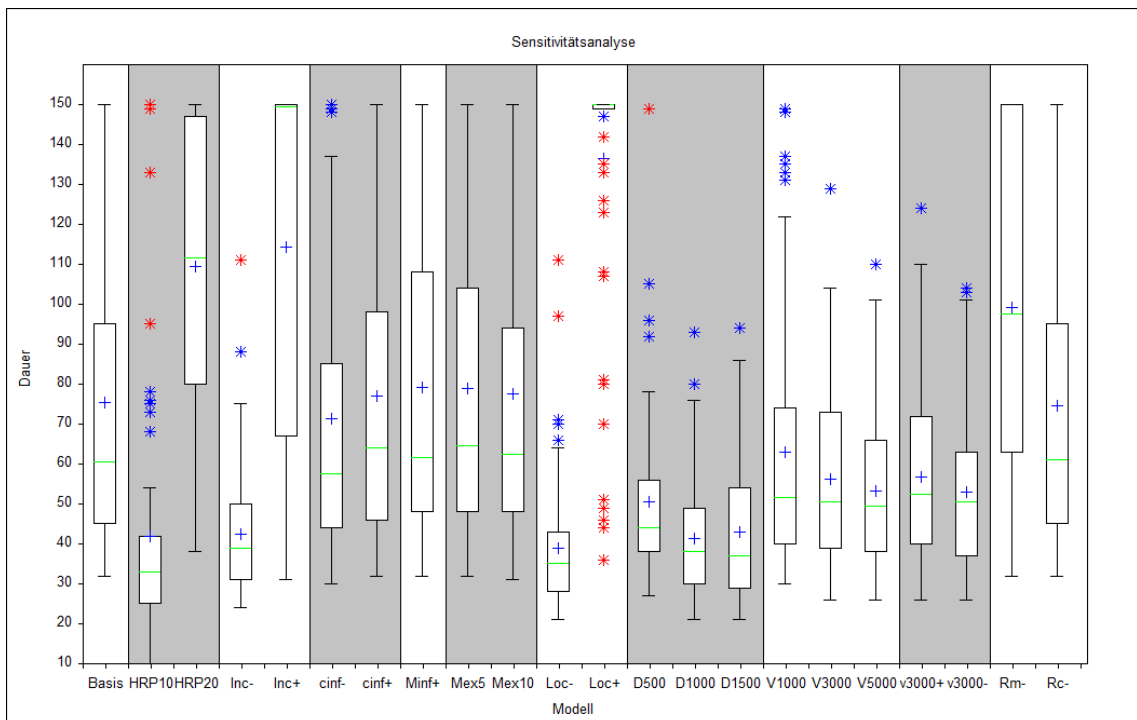


Abbildung 6.2.: Simulationen im Vergleich, Dauer

# A. Epidemic History

Tag	ID	Status
1	1233	infected on
15	1233	detected on



## B. Eingabeparameter in InterSpread Plus

;InterSpread Plus Control File Editor v6

[Model]

IterationCount=70

TimePeriodCount=150

Seed=1

RandomGeneratorName=A

ModelInfectionSpreadToHuman=N

UserDefinedState1=suceptible

UserDefinedState2=tracing

UserDefinedState3=waiting

UserDefinedState4=processing

UserDefinedState5=completed

UserDefinedState6=delayed

UserDefinedState7=on\_surveillance

UserDefinedState8=depopulated

UserDefinedState9=clinical\_sign

UserDefinedState10=vaccinated

UserDefinedState11=in\_schutzzone

UserDefinedState12=in\_ueberwachungszone

UserDefinedState13=in\_impfzone

UserDefinedState14=in\_keulungszone

UserDefinedState15=surveil\_in\_schutzzone

UserDefinedState16=surveil\_in\_ueberwachszone

[FarmFile1]

Pathname=C:\...\File\Rinderbetriebe\_InterSpread\_alles.txt

NumberOfColumns=4

Column1=farmid

Column2=farm\_class

Column3=animals\_cattle

Column4=coordinates

[ContactLocations1]

ContactLocationsName=Schlachthof

## B. Eingabeparameter in InterSpread Plus

Pathname=C:\... \ File \ schlachthof\_ISPFormat . txt

[ ContactLocations2 ]

ContactLocationsName=Markt\_Besamung

Pathname=C:\... \ File \ Markthallen\_ISPFormat . txt

[ TimePeriodTrigger1 ]

ControlName=VorEntdeckung

TimePeriodStartReference=simulation\_start

TimePeriodStart=1

TimePeriodStopReference=first\_detection

TimePeriodStop=1

[ TimePeriodTrigger2 ]

ControlName=NachEntdeckung

TimePeriodStartReference=first\_detection

TimePeriodStart=1

TimePeriodStopReference=first\_detection

[ EpidemicHistory ]

StateFileName=C:\... \ File \ epidemic\_history . txt

HistoryEndTimePeriod=22

InfectedFarmHandling=include\_always

[ MovementType1 ]

MovementName=cattlefarms

MovementTypeSourceData=probabilities

SourceFarmStates=!detected & !depopulated & !in\_schutzzone &  
!in\_ueberwachungszone & !vaccinated

NumberPerTimePeriod=Poisson 0.09

DestinationType=farm

MovementDistance=1,0,0.1117,0.1224,0.2419,0.1071,0.0769,0.095,0.058,  
0.0364,0.0259,0.0206,0.0166,0.0135,0.0113,0.0104,0.0086,0.0074,0.0054,  
0.0053,0.0046,0.0045,0.0033,0.0033,0.0027,0.0024,0.0017,0.001,0.0007,  
0.0005,0.0009;0,0,1000,3000,10000,15000,20000,30000,40000,50000,60000,  
70000,80000,90000,100000,110000,120000,130000,140000,150000,160000,  
170000,180000,190000,200000,210000,220000,230000,240000,250000,300000

ProbabilityOfTransmission=Constant BetaPert 0.9 0.95 1

MaxResampleAttempts=50

[ MovementType2 ]

MovementName=zumSchlachter\_vor

MovementTypeSourceData=probabilities

TimePeriodTrigger=VorEntdeckung

## B. Eingabeparameter in InterSpread Plus

```
SourceAnimalTypes=cattle
SourceFarmStates=!detected & !depopulated & !in_schutzzone &
!in_ueberwachungszone & !vaccinated
NumberPerTimePeriod=Poisson 0.08
NumberOfDirectContacts=Poisson 5
DestinationType=contact_location
ContactLocationControlName=Schlachthof
MovementDistance=1,0,0.0335,0.0286,0.1709,0.106,0.0877,0.1639,0.1269,
0.0992,0.0637,0.0574,0.0333,0.0152,0.0069,0.0057,0.0009,0.0001,0.0001,
0.;0,0,1000,3000,10000,15000,20000,30000,40000,50000,60000,70000,80000,
90000,100000,110000,120000,130000,140000,150000
ProbabilityOfTransmission=Constant BetaPert 0.1 0.5 0.9
MaxResampleAttempts=50
```

```
[MovementType3]
MovementName=zumSchlachter_nach
MovementTypeSourceData=probabilities
TimePeriodTrigger=NachEntdeckung
SourceAnimalTypes=cattle
SourceFarmStates=!detected & !depopulated & !in_schutzzone &
!in_ueberwachungszone & !vaccinated
NumberPerTimePeriod=Poisson 0.08
NumberOfDirectContacts=Poisson 2
DestinationType=contact_location
ContactLocationControlName=Schlachthof
MovementDistance=1,0,0.0335,0.0286,0.1709,0.106,0.0877,0.1639,0.1269,
0.0992,0.0637,0.0574,0.0333,0.0152,0.0069,0.0057,0.0009,0.0001,0.0001,
0.;0,0,1000,3000,10000,15000,20000,30000,40000,50000,60000,70000,80000,
90000,100000,110000,120000,130000,140000,150000
ProbabilityOfTransmission=Constant BetaPert 0.002 0.06 0.1
MaxResampleAttempts=50
```

```
[MovementType4]
MovementName=MediumRisk
MovementTypeSourceData=probabilities
SourceFarmStates=!depopulated & !detected
NumberPerTimePeriod=Poisson 0.0427
NumberOfDirectContacts=BetaPert 0 4 10
DestinationType=farm
MovementDistance=1,0,0.2,0.2,0.2,0.4;0,0,10000,20000,30000,45000
ProbabilityOfTransmission=Constant BetaPert 0.03 0.1 0.3
MaxResampleAttempts=20
```

```
[MovementType5]
```

## B. Eingabeparameter in InterSpread Plus

```
MovementName=zumMarkt
MovementTypeSourceData=probabilities
SourceFarmStates=!detected & !depopulated & !in_schutzzone &
!in_ueberwachungszone & !vaccinated
NumberPerTimePeriod=Poisson 0.0014
NumberOfDirectContacts=Poisson 3.5
DestinationType=contact_location
ContactLocationControlName=Markt_Besamung
MovementDistance=1,0,0.0335,0.0286,0.1709,0.106,0.0877,0.1639,0.1269,
0.0992,0.0637,0.0574,0.0333,0.0152,0.0069,0.0057,0.0009,0.0001,0.0001,
0.;0,0,1000,3000,10000,15000,20000,30000,40000,50000,60000,70000,80000,
90000,100000,110000,120000,130000,140000,150000
ProbabilityOfTransmission=Constant Normal 0.415 0.006
MaxResampleAttempts=50
```

[MovementType6]

```
MovementName=vom_markt
MovementTypeSourceData=probabilities
SourceFarmStates=!detected & !depopulated & !in_schutzzone &
!in_ueberwachungszone & !vaccinated
NumberPerTimePeriod=Poisson 0.0014
NumberOfDirectContacts=Poisson 3.5
DestinationType=farm
ContactLocationControlName=Markt_Besamung
MovementDistance=1,0,0.0335,0.0286,0.1709,0.106,0.0877,0.1639,0.1269,
0.0992,0.0637,0.0574,0.0333,0.0152,0.0069,0.0057,0.0009,0.0001,0.0001,
0.;0,0,1000,3000,10000,15000,20000,30000,40000,50000,60000,70000,80000,
90000,100000,110000,120000,130000,140000,150000
ProbabilityOfTransmission=Constant Normal 0.415 0.006
MaxResampleAttempts=50
```

[LocalSpread1]

```
SourceFarmStates=!depopulated
SourceMustBePopulated=Y
POTOffsetRelativeTo=clinical_signs
ProbabilityOfTransmission=4,0,1000,2000,3000,4000;0,0,0.007,0.002,0,0;
1,1,0.012,0.003,0.001,0;2,2,0.012,0.003,0.001,0;3,3,0.009,0.004,0.001,0
RelativeSusceptibility [cattle]=1.0
```

[Infectivity1]

```
TimeToClinicalSigns=BetaPert 3 5 7
InfectivityRelativeTo=clinical_signs
Infectivity [][!vaccinated][cattle]=Table 1,0.052,0.153,0.31,0.495,
0.669,0.805,0.897,0.951,0.979,0.992,0.998,1;-2,1,2,3,4,5,6,
```

## B. Eingabeparameter in InterSpread Plus

7,8,9,10,11,12

Infectivity [cattle][vaccinated][cattle]=Table 1,0.013,0.067,  
0.193,0.27,0.359,0.443,0.1,0.1;-2,1,2,3,4,5,6,7,8

[Zone1]

ZoneName=Ueberwachungszone  
ZoneType=radial  
FarmState=in\_ueberwachungszone  
ChangeCount=1  
TimePeriodStart1=1  
TimePeriodStop1=1000  
InsideRadius1=3000  
OutsideRadius1=10000  
Duration1=30

[Zone2]

ZoneName=Schutzzone  
ZoneType=radial  
FarmState=in\_schutzzone  
ChangeCount=1  
TimePeriodStart1=1  
TimePeriodStop1=1000  
InsideRadius1=0  
OutsideRadius1=3000  
Duration1=30

[Zone3]

ZoneName=Impfungszone  
ZoneType=radial  
FarmState=in\_impfzone  
ChangeCount=1  
TimePeriodStart1=1  
TimePeriodStop1=1000  
InsideRadius1=0  
OutsideRadius1=1

[Zone4]

ZoneName=Keulungszone  
ZoneType=radial  
FarmState=in\_keulungszone  
ChangeCount=1  
TimePeriodStart1=1  
TimePeriodStop1=1000  
InsideRadius1=0

## B. Eingabeparameter in InterSpread Plus

OutsideRadius1=1

[ Zone5 ]

ZoneName=Ges\_Gebiet

ZoneType=explicit

ChangeCount=1

TimePeriodStart1=1

TimePeriodStop1=1000

Coordinates1=110000,270000,110000,580000,690000,580000,690000,270000;;

[ HumanResource ]

Pathname=C:\...\File\HumanResources.txt

[ Resource1 ]

ResourceName=KeulungsTrupp

ActionOption=depopulation

UseHumanResources=N

SurveillanceControl=HochRisikoUeberwachung

FarmListOption=single\_list

FarmProcessingOption=animals\_per\_time\_period

ChangeCount=1

TimePeriodStart1=1

TimePeriodStop1=1000

cattlePerTimePeriod1=3600

[ Resource2 ]

ResourceName=ImpfungsTrupp

ActionOption=vaccination

UseHumanResources=N

FarmListOption=multiple\_list

FarmProcessingOption=animals\_per\_time\_period

ChangeCount=1

TimePeriodStart1=1

TimePeriodStop1=1000

cattlePerTimePeriod1=91000

[ Resource3 ]

ResourceName=VerfolgungsTeam

ActionOption=tracing

UseHumanResources=Y

FarmListOption=single\_list

TeamComposition=((VET 1))

ShiftsPerTimePeriod=10

MaxTeamsPerShift=15

## B. Eingabeparameter in InterSpread Plus

ChangeCount=1  
TimePeriodStart1=1  
TimePeriodStop1=1000  
TracesPerShift1 [[]]=200

[ Depopulation1 ]  
ControlName=Keulungen  
ActivationOption=detected\_farm  
FarmSelectionOption=detected\_farm  
SelectionProb=1.0  
AllowDuplicates=N  
FarmStates=detected  
ActionResource=KeulungsTrupp  
CompletedFarmState=depopulated  
RemoveDetectedFarms=Y  
DepopulationOption=all

[ Surveillance1 ]  
ControlName=Grund\_Ueberwachung  
ActivationOption=time\_period  
TimePeriodTrigger=NachEntdeckung  
AnimalTypes=cattle  
SelectionZone=Ges\_Gebiet  
SelectionProbability=0.8  
VisitDelay=Constant 1  
VisitFrequency=Constant 1  
VisitDuration=Constant 1000  
DelayToDetection=Constant 1  
DetectionRelativeTo=Clinical\_signs  
DetectionProbability [ cattle ] [ cattle ]=Table 1,0,1,2,3,4,5,6;  
0,0,0.087,0.175,0.699,0.873,0.932,1

[ Surveillance2 ]  
ControlName=Ueberwachung\_in\_Ueberwachungszone  
ActivationOption=time\_period  
TimePeriodTrigger=NachEntdeckung  
AnimalTypes=cattle  
SurveillanceFarmState=surveil\_in\_ueberwachszone  
SelectionZone=Ueberwachungszone  
SelectionProbability=1.0  
VisitDelay=BetaPert 1 3 6  
VisitFrequency=Constant 2  
VisitDuration=Constant 30  
DelayToDetection=Constant 0



## B. Eingabeparameter in InterSpread Plus

DetectionRelativeTo=Clinical\_signs  
DetectionProbability [cattle] [in\_ueberwachungszone] [cattle]=  
Table 1,0,1,2,3,4,5; -3,0,0.175,0.699,0.873,0.932,1

[Surveillance3]  
ControlName=Ueberwachung\_in\_Schutzzone  
ActivationOption=time\_period  
TimePeriodTrigger=NachEntdeckung  
AnimalTypes=cattle  
SurveillanceFarmState=surveil\_in\_schutzzone  
SelectionZone=Schutzzone  
SelectionProbability=1.0  
VisitDelay=BetaPert 0 2 5  
VisitFrequency=Constant 0  
VisitDuration=Constant 30  
DelayToDetection=Constant 0  
DetectionRelativeTo=Clinical\_signs  
DetectionProbability [cattle] [in\_schutzzone] [cattle]=  
Table 1,0,1,2,3,4,5; -3,0,0.175,0.699,0.873,0.932,1

[Surveillance4]  
ControlName=HochRisikoUeberwachung  
ActivationOption=tracing  
TimePeriodTrigger=NachEntdeckung  
AnimalTypes=cattle  
SurveillanceFarmState=on\_surveillance  
SelectionProbability=1.0  
VisitDelay=Constant 1  
VisitFrequency=Constant 1  
VisitDuration=Constant 1  
DelayToDetection=Constant 0  
DetectionRelativeTo=Clinical\_signs  
DetectionProbability [cattle] [] [cattle]=Constant Constant 1

[Tracing1]  
ControlName=Verfolgung  
TimePeriodTrigger=NachEntdeckung  
TracingDelay [cattlefarms] [off]=Lookup 1,0.5,1;0,0,1  
TracingDelay [MediumRisk] [off]=Constant 1  
SurveillanceControls [cattlefarms] [] =HochRisikoUeberwachung  
SurveillanceControls [MediumRisk] [] =HochRisikoUeberwachung  
TracingRequired [cattlefarms] [on]=Y  
TracingRequired [MediumRisk] [on]=Y  
ProbMovementForgotten [cattlefarms] [] =0.01

## B. Eingabeparameter in InterSpread Plus

```
ProbMovementForgotten [ MediumRisk ] [] = 0.2
TracingRequired [ cattlefarms ] [ off ] = Y
TracingRequired [ MediumRisk ] [ off ] = Y
TracingDelay [ cattlefarms ] [ on ] = Lookup 1,0.5,1;0,0,1
TracingDelay [ MediumRisk ] [ on ] = Constant 1
TracingRequired [ vom_markt ] [] = Y
ProbMovementForgotten [ vom_markt ] [] = 0.01
TracingDelay [ vom_markt ] [] = BetaPert 1 2 3
SurveillanceControls [ vom_markt ] [] = HochRisikoUeberwachung

[ MovementRestriction1 ]
ControlName=Sperre_in_Schutzzone
TimePeriodTrigger=NachEntdeckung
MovementTypes=cattlefarms zumSchlachter_vor zumSchlachter_nach
zumMarkt vom_markt
SourceFarmStates=in_schutzzone | detected | surveil_in_schutzzone
ProbMovementRestricted=0.98

[ MovementRestriction2 ]
ControlName=Sperre_in_Ueberwachungszone
TimePeriodTrigger=NachEntdeckung
MovementTypes=cattlefarms zumSchlachter_vor zumSchlachter_nach
zumMarkt vom_markt
SourceFarmStates=in_ueberwachungszone | surveil_in_ueberwachszone
| on_surveillance
ProbMovementRestricted=0.98

[ MovementRestriction3 ]
ControlName=Sperre_in_Schutzzone_MediumContact
TimePeriodTrigger=NachEntdeckung
MovementTypes=MediumRisk
SourceFarmStates=in_schutzzone | detected | surveil_in_schutzzone
ProbMovementRestricted=0.8

[ MovementRestriction4 ]
ControlName=Sperre_in_Ueberwachungszone_MediumContact
TimePeriodTrigger=NachEntdeckung
MovementTypes=MediumRisk
SourceFarmStates=in_ueberwachungszone | surveil_in_ueberwachszone
| on_surveillance
ProbMovementRestricted=0.8

[ Output1 ]
Filename=C:\...\inf.txt
```

## B. Eingabeparameter in InterSpread Plus

```
ReportType=FarmDetail
FarmDetailType=specific_state
TriggerState=infected
NumberOfColumns=5
Column1=farm_id
Column2=infection_type
Column3=source_farm
Column4=section_name
Column5=cattle
```

```
[Output2]
Filename=C:\...\dete.txt
ReportType=FarmDetail
FarmDetailType=specific_state
TriggerState=detected
NumberOfColumns=5
Column1=farm_id
Column2=infection_type
Column3=source_farm
Column4=section_name
Column5=cattle
```

```
[Output3]
Filename=C:\...\move.txt
ReportType=MovementDetail
```

```
[Output4]
Filename=C:\...\depop.txt
ReportType=FarmDetail
FarmDetailType=specific_state
TriggerState=depopulated
NumberOfColumns=5
Column1=farm_id
Column2=infection_type
Column3=source_farm
Column4=section_name
Column5=cattle
```

```
[Output5]
Filename=C:\...\cattle_clin_signs.txt
ReportType=FarmDetail
FarmDetailType=specific_state
TriggerState=cattle_clinical_signs
NumberOfColumns=5
```

## B. Eingabeparameter in InterSpread Plus

Column1=farm\_id  
Column2=source\_farm  
Column3=infection\_type  
Column4=section\_name  
Column5=cattle

[Output6]  
Filename=C:\...\in\_depop\_zone.txt  
ReportType=FarmDetail  
FarmDetailType=specific\_state  
TriggerState=in\_keulungszone  
NumberOfColumns=5  
Column1=farm\_id  
Column2=source\_farm  
Column3=infection\_type  
Column4=section\_name  
Column5=cattle

[Output7]  
Filename=C:\...\resourceworkload.txt  
ReportType=ResourceWorkloadDetail  
ResourceWorkloadAnimalTypes=cattle  
NumberOfColumns=0

[Output8]  
Filename=C:\...\trace.txt  
ReportType=FarmDetail  
FarmDetailType=specific\_state  
TriggerState=on\_surveillance  
NumberOfColumns=5  
Column1=farm\_id  
Column2=source\_farm  
Column3=infection\_type  
Column4=section\_name  
Column5=cattle

[Output9]  
Filename=C:\...\state\_change.txt  
ReportType=FarmDetail  
FarmDetailType=state\_changes  
NumberOfColumns=0

[Output10]  
Filename=C:\...\in\_schutzzone.txt

## B. Eingabeparameter in InterSpread Plus

```
ReportType=FarmDetail
FarmDetailType=specific_state
TriggerState=in_schutzzone
NumberOfColumns=5
Column1=farm_id
Column2=source_farm
Column3=infection_type
Column4=section_name
Column5=cattle
```

```
[Output11]
Filename=C:\...\in_ueberwachungszone.txt
ReportType=FarmDetail
FarmDetailType=specific_state
TriggerState=in_ueberwachungszone
NumberOfColumns=5
Column1=farm_id
Column2=source_farm
Column3=infection_type
Column4=section_name
Column5=cattle
```

```
[Output12]
Filename=C:\...\in_vacc_zone.txt
ReportType=FarmDetail
FarmDetailType=specific_state
TriggerState=in_impfzone
NumberOfColumns=5
Column1=farm_id
Column2=source_farm
Column3=infection_type
Column4=section_name
Column5=cattle
```

```
[Output13]
Filename=C:\...\cattle_infec.txt
ReportType=FarmDetail
FarmDetailType=specific_state
TriggerState=cattle_infected
NumberOfColumns=5
Column1=farm_id
Column2=source_farm
Column3=infection_type
Column4=section_name
```

## B. Eingabeparameter in InterSpread Plus

Column5=cattle

[Output14]

Filename=C:\...\vacc.txt

ReportType=FarmDetail

FarmDetailType=specific\_state

TriggerState=vaccinated

NumberOfColumns=5

Column1=farm\_id

Column2=source\_farm

Column3=infection\_type

Column4=section\_name

Column5=cattle

[Output15]

Filename=C:\...\animal\_numbers.txt

ReportType=FarmDetail

FarmDetailType=animal\_numbers

;Checksum=1418306

# Literaturverzeichnis

- Abbey, H. (1952). An examination of the Reed-Frost theory of epidemics. *Human biology*, 24(3):201.
- AGES (2020a). Aufgaben der AGES. <https://www.ages.at/ages/allgemeines/aufgaben/>. Zugriff 5. Mai 2020.
- AGES (2020b). Maul- und Klauenseuche. <https://www.ages.at/themen/krankheitserreger/maul-und-klauenseuche/>. Zugriff 5. Mai 2020.
- Alexandersen, S. and Donaldson, A. (2002). Further studies to quantify the dose of natural aerosols of foot-and-mouth disease virus for pigs. *Epidemiology & Infection*, 128(2):313–323.
- Anderson, R. M. and May, R. M. (1992). *Infectious diseases of humans: dynamics and control*. Oxford university press.
- Anonym (2000). A directory of livestock auction markets in England, Wales and Scotland. *Livestock Auctioneers Association/Institute of Auctioneers and Appraisers in Scotland*.
- Arzt, J., Branan, M. A., Delgado, A. H., Yadav, S., Moreno-Torres, K. I., Tildesley, M. J., and Stenfeldt, C. (2019). Quantitative impacts of incubation phase transmission of foot-and-mouth disease virus. *Scientific reports*, 9(1):1–13.
- Bates, T. W., Thurmond, M. C., and Carpenter, T. E. (2003). Description of an epidemic simulation model for use in evaluating strategies to control an outbreak of foot-and-mouth disease. *American journal of veterinary research*, 64(2):195–204.
- Beckett, S., Garner, M. G., et al. (2007). Simulating disease spread within a geographic information system environment. *Veterinaria Italiana*, 43(3):595–604.
- BGBl. II Nr. 199 (2008). Verordnung der Bundesministerin für Gesundheit, Familie und Jugend über Maßnahmen zur Bekämpfung der Mmaul- und Kklauenseuche (MKS-Verordnung). BGBl. II Nr. 199/2008.
- BGBl. I Nr. 54 (2007). Bundesgesetz über den Transport von Tieren und damit zusammenhängenden Vorgängen (Tiertransportgesetz 2007-TTG 2007). BGBl. I Nr. 54/2007.
- Boklund, A., Halasa, T., Christiansen, L. E., and Enøe, C. (2013). Comparing control strategies against foot-and-mouth disease: will vaccination be cost-effective in Denmark? *Preventive Veterinary Medicine*, 111(3-4):206–219.



## Literaturverzeichnis

- Charleston, B., Bankowski, B. M., Gubbins, S., Chase-Topping, M. E., Schley, D., Howey, R., Barnett, P. V., Gibson, D., Juleff, N. D., and Woolhouse, M. E. (2011). Relationship between clinical signs and transmission of an infectious disease and the implications for control. *Science*, 332(6030):726–729.
- Donaldson, A., Alexandersen, S., Sorensen, J., and Mikkelsen, T. (2001). Relative risks of the uncontrollable (airborne) spread of FMD by different species. *The Veterinary Record*, 148:602–604.
- Dubé, C., Stevenson, M., Garner, M., Sanson, R., Corso, B., Harvey, N., Griffin, J., Wilesmith, J., and Estrada, C. (2007). A comparison of predictions made by three simulation models of foot-and-mouth disease. *New Zealand Veterinary Journal*, 55(6):280–288.
- EpiSoft (2019). Interspread Plus User Guide. *EpiCentre Massey University, Palmerston North New Zealand*.
- Europäische Kommission (2020). TRACES. [https://ec.europa.eu/food/animals/traces\\_en](https://ec.europa.eu/food/animals/traces_en). Zugriff 5. Mai 2020.
- Fracastoro, G. (1546). *De sympathia et antipathia rerum liber unus. De contagione et contagiosis morbis et curatione libri iii*. Apud heredes Lucaeantonij Iuntae Florentini.
- Garner, M. G. and Beckett, S. (2005). Modelling the spread of foot-and-mouth disease in australia. *Australian Veterinary Journal*, 83(12):758–766.
- Geering, W. (1967). Foot-and-mouth disease in sheep. *Australian Veterinary Journal*, 43(11):485–489.
- Geering, W. A. and Lubroth, J. (2002). *Preparation of foot-and-mouth disease contingency plans*. Number 16. Food & Agriculture Org.
- Gesellschaft e.V., D. (2020). Maul- und Klauenseuche (MKS) - Wissenschaftliche Grundlagen. <https://www.dvg.net/index.php?id=324>. Zugriff 5. Mai 2020.
- Gibbens, J. and Wilesmith, J. (2002). Temporal and geographical distribution of cases of foot-and-mouth disease during the early weeks of the 2001 epidemic in Great Britain. *Veterinary Record*, 151(14):407–412.
- Gibbens, J., Wilesmith, J., Sharpe, C., Mansley, L., Michalopoulou, E., Ryan, J., and Hudson, M. (2001). Descriptive epidemiology of the 2001 foot-and-mouth disease epidemic in Great Britain: the first five months. *Veterinary Record*, 149(24):729–743.
- Gloster, J., Blackall, R., Sellers, R., and Donaldson, A. (1981). Forecasting the airborne spread of foot-and-mouth disease. *Veterinary Record*, 108(17):370–374.
- Gloster, J., Sellers, R. F., and Donaldson, A. I. (1982). Long distance transport of foot-and-mouth disease virus over the sea. *The Veterinary Record*, 110(3):47–52.

## Literaturverzeichnis

- Grubman, M. J. and Baxt, B. (2004). Foot-and-mouth disease. *Clinical microbiology reviews*, 17(2):465–493.
- Halasa, T., Boklund, A., Cox, S., and Enøe, C. (2011). Meta-analysis on the efficacy of foot-and-mouth disease emergency vaccination. *Preventive veterinary medicine*, 98(1):1–9.
- Halasa, T., Boklund, A., Stockmarr, A., Enøe, C., and Christiansen, L. E. (2014). A comparison between two simulation models for spread of foot-and-mouth disease. *PLoS one*, 9(3).
- Harvey, N., Reeves, A., Schoenbaum, M. A., Zagmutt-Vergara, F. J., Dubé, C., Hill, A. E., Corso, B. A., McNab, W. B., Cartwright, C. I., and Salman, M. D. (2007). The north american animal disease spread model: A simulation model to assist decision making in evaluating animal disease incursions. *Preventive veterinary medicine*, 82(3-4):176–197.
- Henderson, R. (1969). The outbreak of foot-and-mouth disease in worcestershire: An epidemiological study: with special reference to spread of the disease by wind-carriage of the virus. *Epidemiology & Infection*, 67(1):21–33.
- Horst, H. S. (1998). Risk and economic consequences of contagious animal disease introduction. Technical report, Unknown Publisher.
- Iuliano, A. D., Roguski, K. M., Chang, H. H., Muscatello, D. J., Palekar, R., Tempia, S., Cohen, C., Gran, J. M., Schanzer, D., Cowling, B. J., et al. (2018). Estimates of global seasonal influenza-associated respiratory mortality: a modelling study. *The Lancet*, 391(10127):1285–1300.
- Jamal, S. M. and Belsham, G. J. (2013). Foot-and-mouth disease: past, present and future. *Veterinary research*, 44(1):116.
- JHU (2020). <https://coronavirus.jhu.edu/map.html>. Zugriff 10. August 2020.
- Kitching, R. and Hughes, G. (2002). Clinical variation in foot and mouth disease: sheep and goats. *Revue Scientifique Et Technique-Office International Des Epizooties*, 21(3):505–510.
- Klee, W. (2016). Maul- und Klauenseuche (MKS). <http://www.rinderskript.net/skripten/b5-1.html>. Zugriff 5. Mai 2020.
- Land Niederösterreich (2019). Maul- und Klauenseuche. [http://www.noe.gv.at/noe/Veterinaer/Maul\\_und\\_Klauenseuche.html](http://www.noe.gv.at/noe/Veterinaer/Maul_und_Klauenseuche.html). Zugriff 5. Mai 2020.
- Mansley, L., Dunlop, P., Whiteside, S., and Smith, R. (2003). Early dissemination of foot-and-mouth disease virus through sheep marketing in February 2001. *Veterinary Record*, 153(2):43–50.

## Literaturverzeichnis

- Morris, R., Sanson, R., Stern, M., Stevenson, M., and Wilesmith, J. (2002). Decision-support tools for foot and mouth disease control. *Revue scientifique et technique-Office international des épizooties*, 21(3):557–564.
- Morris, R., Wilesmith, J., Stern, M., Sanson, R., and Stevenson, M. (2001). Predictive spatial modelling of alternative control strategies for the foot-and-mouth disease epidemic in Great Britain, 2001. In *II International Symposium on Application of Modelling as an Innovative Technology in the Agri-Food Chain; MODEL-IT 566*, pages 337–347.
- Pendell, D. L., Leatherman, J., Schroeder, T. C., and Alward, G. S. (2007). The economic impacts of a foot-and-mouth disease outbreak: a regional analysis. *Journal of agricultural and applied economics*, 39(s1):19–33.
- Perry, R. D. and Fetherston, J. D. (1997). *Yersinia pestis*—etiologic agent of plague. *Clinical microbiology reviews*, 10(1):35–66.
- Pschyrembel, A., Pschyrembel, W., and Arnold, U. (2018). *Pschyrembel Klinisches Wörterbuch 2018*. Walter de Gruyter Berlin, 267. edition.
- Risk Solutions (2003). FMD Epidemiological Modelling Project Report — the Silent Spread Model. Zugriff 5. Mai 2020.
- Russell, J. C. (1968). That earlier plague. *Demography*, 5(1):174–184.
- Sallu, R. S. (2016). *Molecular epidemiological study of foot-and-mouth disease virus in Tanzania*. PhD thesis, Sokoine University of Agriculture.
- Sanson, R. (1993). The development of a decision support system for an animal disease emergency. *Unpublished PhD thesis, Massey University, Palmerston North*.
- Sanson, R. (1994). The epidemiology of foot-and-mouth disease: implications for New Zealand. *New Zealand Veterinary Journal*, 42(2):41–53.
- Sanson, R. (2005). A survey to investigate movements off sheep and cattle farms in New Zealand, with reference to the potential transmission of foot-and-mouth disease. *New Zealand Veterinary Journal*, 53(4):223–233.
- Sanson, R., Harvey, N., Garner, M., Stevenson, M., Davies, T., Hazelton, M., O’Connor, J., Dubé, C., Forde-Folle, K., Owen, K., et al. (2011). Foot and mouth disease model verification and ‘relative validation’ through a formal model comparison. *Revue Scientifique et Technique-OIE*, 30(2):527.
- Sanson, R., Stevenson, M., Mackereth, G., and Moles-Benfell, N. (2006a). The development of an interspread plus parameter set to simulate the spread of FMD in New Zealand. In *International Symposia on Veterinary Epidemiology and Economics (IS-VEE) proceedings*, page 682.

## Literaturverzeichnis

- Sanson, R., Stevenson, M., and Moles-Benfell, N. (2006b). Quantifying local spread probabilities for foot-and-mouth disease. In *Proceedings of the 11th International Symposium on Veterinary Epidemiology and Economics (ISVEE)*.
- Schnurrenberger, P. R., Sharman, R. S., Wise, G. H., et al. (1987). *Attacking animal diseases. Concepts and strategies for control and eradication*. Iowa State University Press.
- Schoenbaum, M. A. and Disney, W. T. (2003). Modeling alternative mitigation strategies for a hypothetical outbreak of foot-and-mouth disease in the united states. *Preventive veterinary medicine*, 58(1-2):25–52.
- Scudamore, J. and Harris, D. (2002). Control of foot and mouth disease: lessons from the experience of the outbreak in Great Britain in 2001. *Revue scientifique et technique-Office international des épizooties*, 21(3):699–707.
- Sorensen, J. H. (2001). Relative risks of the uncontrollable (airborne) spread of FMD by different species. *The Veterinary Record*, 148:602–604.
- Statistik Austria (2020). Zugelassene Betriebe, Fleisch von Huftieren. <http://www.statistik.at/ovis/pdf/I21.pdf>. Zugriff 5. Mai 2020.
- Stenfeldt, C. and Arzt, J. (2020). The Carrier Conundrum; A review of recent advances and persistent gaps regarding the carrier state of foot-and-mouth disease virus. *Pathogens*, 9(3):167.
- Stern, M. (2003). Interspread Plus User Guide. *Institute of Veterinary, Animal and Biomedical Sciences, Massey University, Palmerston North, New Zealand*.
- Stevenson, M., Morris, R., Wilesmith, J., and Stern, M. (2003). Predicting when and where foot-and-mouth disease will occur—how well did Interspread perform in 2001. In *Proceedings of the 10th Symposium of the International Society for Veterinary Epidemiology and Economics. Viña Del Mar*.
- Stevenson, M., Sanson, R., Stern, M., O’Leary, B., Sujau, M., Moles-Benfell, N., and Morris, R. (2013). Interspread Plus: a spatial and stochastic simulation model of disease in animal populations. *Preventive Veterinary Medicine*, 109(1-2):10–24.
- Thompson, D., Muriel, P., Russell, D., Osborne, P., Bromley, A., Rowland, M., Creigh-Tyte, S., Brown, C., et al. (2002). Economic costs of the foot and mouth disease outbreak in the United Kingdom in 2001. *Revue scientifique et technique-Office international des épizooties*, 21(3):675–685.
- Thrusfield, M., Mansley, L., Dunlop, P., Taylor, J., Pawson, A., and Stringer, L. (2005). The foot-and-mouth disease epidemic in Dumfries and Galloway, 2001. 1: Characteristics and control. *Veterinary Record*, 156(8):229–252.

## Literaturverzeichnis

- Veterinary Service Dänemark (1982). *Report on the eradication of foot-and-mouth disease on the Islands of Funen and Zealand, Denmark 1982*. Danish Veterinary Service.
- WAHIS (2020). Disease Outbreak Maps. [https://www.oie.int/wahis\\_2/public/wahid.php/Wahidhome/Home](https://www.oie.int/wahis_2/public/wahid.php/Wahidhome/Home). Zugriff 5. Mai 2020.
- WHO (2013). Food and mouth disease. WHO.
- World Health Organisation (2020). <https://www.who.int/>. Zugriff 5. Mai 2020.
- ZAR (2014). Rinderzucht in Österreich. <https://zar.at/Rinderzucht-in-Oesterreich/Organisationen/Versteigerungsorte.html>. Zugriff 5. Mai 2020.