

FHV



Fachhochschule Vorarlberg
University of Applied Sciences

Masterarbeit
Fachhochschul-Studiengang
Master Informatik

Agentenbasierte Modellierung und Simulation von Epidemie- Ausbreitungen

ausgeführt von
Sabine Bär, BSc
1110249010

zur Erlangung des akademischen Grades
Master of Science in Engineering, MSc

Dornbirn, im August 2013

Betreuer: Dr. rer. nat. Dipl. Math. Hans-Joachim Vollbrecht

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Dornbirn, am 14. August 2013

Sabine Bär

Kurzfassung

Die vorliegende Masterarbeit befasst sich mit der Modellierung und Simulation einer Epidemie-Ausbreitung am Beispiel der Influenza in Vorarlberg unter Anwendung der Methode der agentenbasierten Modellierung und Simulation.

Nach einer Einführung in das Thema wird auf den aktuellen Stand der Wissenschaft eingegangen. Das beinhaltet neben der Entwicklung vom klassischen SIR-Modell zur agentenbasierten Modellierung auch Beispiele für bestehende Literatur und Modelle. Beim darauffolgenden Überblick über die Methoden und Werkzeuge wird vor allem AnyLogic, die verwendete Simulationsumgebung, präsentiert.

Es folgt eine Einführung in die agentenbasierte Modellierung und Simulation, welche im Vergleich zu anderen Techniken nicht auf dem Gesamtsystem, sondern auf der Modellierung der einzelnen Individuen basiert. Neben Vor- und Nachteilen werden auch Anwendungsbereiche vorgestellt.

Zur Beschreibung des Modells wird eine standardisierte Form – das ODD Protocol – verwendet. Hier wird auf die Entwicklung und dann detailliert auf den Aufbau und die einzelnen Teile eingegangen.

Das ausgearbeitete Modell wird danach in Form dieses standardisierten Protokolls präsentiert. Die Entitäten – in diesem Fall die Umwelt, Gemeinden, Busse, Organisationen, Haushalte und Personen – und die Rahmenbedingungen werden vorgestellt. Grundsätzlich besteht das Modell aus Personen, die sich nach bestimmten Verhaltensmustern zwischen verschiedenen Aufenthaltsorten (Busse, Organisationen und Haushalte) in verschiedenen Gemeinden bewegen. Die Personen haben Kontakt untereinander und können entweder angesteckt werden oder andere anstecken. Grundsätzliche Designkonzepte, die Initialisierungsphase und die Prozesse, die auf die Entitäten angewendet werden, werden in diesem Kapitel detailliert vorgestellt.

Da mit dem Modell eine Epidemie-Ausbreitung in Vorarlberg simuliert werden soll, werden statistische Daten benötigt. Es sind dies Daten zur Umwelt (zB Gemeindegrößen), Daten zu den Personen (zB Alter oder die Anzahl an sozialen Kontakten pro Tag) und Daten zur Influenza (zB Wahrscheinlichkeit für eine Ansteckung). Die Herkunft und die genaue Verwendung dieser Daten werden im darauffolgenden Kapitel der Arbeit beschrieben.

Der nächste Teil dieser Arbeit befasst sich mit der Umsetzung des vorgestellten Modells mit AnyLogic. Es werden zuerst der grundsätzliche Aufbau von AnyLogic und die vordefinierten Elemente vorgestellt. Dann folgt die Umsetzung der einzelnen Entitäten, dabei wird besonders auf die Realisierung der Agenten eingegangen, die über verschiedene Statusdiagramme verwirklicht wurden. Das Kapitel schließt mit dem Testen der Umsetzung ab.

Im Anschluss werden mit dieser Umsetzung verschiedene Experimente durchgeführt. Zuerst wird das Modell so kalibriert, dass die Simulationsergebnisse historischen Grippeepidemieverläufen aus Vorarlberg ähneln. Dann werden verschiedene Gegenmaßnahmen eingeführt und deren Effekte analysiert.

Zum Abschluss wird das Thema noch einmal kritisch betrachtet und mögliche Probleme und Weiterentwicklungsmöglichkeiten werden aufgezeigt.

Abstract

This paper is about modelling and simulating the spread of an epidemic disease (namely influenza) in Vorarlberg using an agent-based modelling approach.

First, an introduction is given and the state-of-the-art of science is discussed. This includes the evolution from simple SIR models up to agent-based modelling and examples of existing literature and models from this field. The used methods and tools – especially the simulation environment AnyLogic – are presented.

Second, the approach of agent-based modelling is introduced. This approach differs from others by modelling the individuals of a system, not the whole system per se. Advantages and disadvantages are stated and areas of applications are presented.

A standardised protocol, which is called the ODD protocol, is used to describe the model. The evolution of this protocol as well as the structure and the single parts of it are explained in detail.

This standardised protocol is used to describe the model in the next part. The entities, namely the environment, communities, busses, organisations, households and persons, are defined. Basically, the model is based on persons who move between different whereabouts (busses, organisations, households) in different communities on the basis of certain behaviour patterns. The persons communicate with each other and can be infected by or can infect other persons. Basic design concepts, the initialisation and the processes, which the entities are subject to, are presented in detail in this chapter.

As the model should be used to simulate the spread of an epidemic in Vorarlberg, statistical data is used. This includes data about the environment (e.g. size of a community), data about the persons (e.g. age or the number of social contacts per day) and data about influenza (e.g. probability to get infected). The resource and usage of this data is stated in the following chapter.

The next part is about the implementation of the model in AnyLogic. First, the basic structure of AnyLogic and the predefined elements are shown. Second, the implementation of the entities is stated, especially the realization of the agents, which is done by state diagrams. The last part of this chapter is about testing the implementation.

The last part of this paper shows some experiments which are conducted with the model. The model is calibrated to fit to historical spreads of influenza in Vorarlberg. Some counteractive measures are implemented to analyse the consequences of them.

Finally, the matter is viewed critically and possible problems and improvement opportunities are shown.

Inhaltsverzeichnis

	Darstellungsverzeichnis	10
1	Einleitung	12
2	Stand der Wissenschaft	13
2.1	Vom SIR-Modell zur agentenbasierten Modellierung	13
2.2	Begriffsabgrenzung	13
2.3	Beispiel	14
2.4	Bestehende Modelle und Literatur	14
3	Auswahl von Methoden und Werkzeugen	15
3.1	Art der Simulation	15
3.2	Modellbeschreibung	15
3.3	Simulationsumgebung	15
4	Agentenbasierte Modellierung und Simulation	17
4.1	Grundlagen	17
4.2	Agenten	17
4.3	Umwelt	17
4.4	Vorteile und Probleme	18
4.5	Anwendungsbereiche	18
5	ODD Protocol	19
5.1	Übersicht	19
5.1.1	Entwicklung	19
5.1.2	Definition	19
5.2	Overview	20
5.2.1	Purpose	20
5.2.2	Entities, State Variables and Scales	20
5.2.3	Process Overview and Scheduling	21
5.3	Design Concepts	21
5.4	Details	21
5.4.1	Initialization	21
5.4.2	Input data	21
5.4.3	Submodels	21
5.5	Bewertung	21
6	Modell	23
6.1	Overview: Purpose	23
6.2	Overview: Entities, State Variables and Scales	23

6.2.1	Umwelt	24
6.2.2	Gemeinde	24
6.2.3	Bus.....	25
6.2.4	Organisation.....	26
6.2.5	Haushalt	27
6.2.6	Person.....	28
6.2.7	Scales	29
6.3	Overview: Process Overview and Scheduling	30
6.4	Design Concepts.....	30
6.4.1	Emergence	30
6.4.2	Observation	31
6.4.3	Adaption	31
6.4.4	Interaction	31
6.4.5	Stochastics	31
6.4.6	Collectives	32
6.5	Details: Initialization	32
6.5.1	Gemeinden und Busse	32
6.5.2	Distanzen, Haushalte, Organisationen und Personen	32
6.5.3	Aufenthaltort an Werktagen am Tag	33
6.5.4	Epidemiebeginn.....	33
6.5.5	Überblick	33
6.6	Details: Input Data	35
6.7	Details: Submodels	35
6.7.1	Bewegung	35
6.7.2	Krankheitsverlauf.....	37
6.7.3	Infektion.....	39
7	Datenquellen und Wahrscheinlichkeiten	40
7.1	Statistik Austria	40
7.2	Daten zur Umwelt	40
7.2.1	Gemeindegröße, Volksschulen und Hauptschulen.....	40
7.2.2	Unternehmen.....	42
7.2.3	Haushaltsgröße	42
7.3	Daten zu den Personen.....	43
7.3.1	Alter und Geschlecht	43
7.3.2	Aufenthaltort während der Arbeitszeit.....	43
7.3.3	Auswahl der Gemeinde für den Aufenthaltort am Tag.....	44
7.3.4	Aufenthaltort während der Freizeit.....	45
7.3.5	Verwendung von öffentlichen Verkehrsmitteln.....	46
7.3.6	Anzahl der sozialen Kontakte pro Tag.....	47
7.3.7	Dauer und Intensität eines sozialen Kontaktes	47
7.3.8	Krankenstand	48
7.4	Daten zur Grippe	49
7.4.1	Grippeepidemie-Verläufe in Vorarlberg	49
7.4.2	Anzahl an geimpften Personen	50
7.4.3	Statistische Daten zum Verlauf einer Influenzaerkrankung	50
7.4.4	Wahrscheinlichkeit für eine Infektion	50

8	Umsetzung mit AnyLogic.....	52
8.1	AnyLogic.....	52
8.2	Verwendung von vordefinierten Elementen.....	53
8.2.1	Active Objects.....	53
8.2.2	Parameters, Variables, Collections und Table Functions	53
8.2.3	Statecharts	54
8.3	Grundsätzlicher Aufbau	55
8.4	Umsetzung der Entitäten.....	56
8.4.1	Umwelt	56
8.4.2	Gemeinde.....	57
8.4.3	Bus.....	57
8.4.4	Organisation.....	58
8.4.5	Haushalt.....	58
8.4.6	Person.....	58
8.5	Initialisierung.....	62
8.6	Test der Umsetzung	63
8.6.1	Statistische Daten	63
8.6.2	Beobachtung.....	63
8.6.3	Debugging	63
9	Experimente	64
9.1	Kalibrierung	64
9.1.1	Grundlagen.....	64
9.1.2	Parameterauswahl und Zielgrößen	64
9.1.3	Durchführung	65
9.2	Test der Kalibrierung.....	66
9.3	Simulation	67
9.4	Einführung von Gegenmaßnahmen	68
9.4.1	Impfraten.....	68
9.4.2	Krankenstand.....	69
10	Zusammenfassung und Bewertung	71
10.1	Stabilität.....	71
10.2	Detailierungsgrad.....	71
10.3	Statistische Daten und Fachwissen.....	71
10.4	Zeitlicher Rahmen	72
10.5	Fazit	72
	Literaturverzeichnis	73

Darstellungsverzeichnis

Darstellung 1: Bestandteile des ODD Protocols.....	20
Darstellung 2: Zustandsgrößen der Umwelt.....	24
Darstellung 3: Zustandsgrößen einer Gemeinde.....	25
Darstellung 4: Zustandsgrößen eines Busses.....	26
Darstellung 5: Zustandsgrößen einer Organisation.....	27
Darstellung 6: Zustandsgrößen eines Haushalts.....	28
Darstellung 7: Zustandsgrößen einer Person.....	29
Darstellung 8: Typische Konfiguration der Simulation.....	30
Darstellung 9: Initialisierung in Pseudocode.....	34
Darstellung 10: Zusammenhang der Entitäten nach der Initialisierung.....	35
Darstellung 11: Überblick über den Tagesablauf an einem Werktag.....	37
Darstellung 12: Überblick über den Tagesablauf an einem Wochenende.....	37
Darstellung 13: Verlauf einer Krankheit mit allen Zuständen.....	38
Darstellung 14: Zustände eines Krankheitsverlaufs.....	38
Darstellung 15: Histogramm über das Einzugsgebiet von Volksschulen.....	41
Darstellung 16: Ausgewählte Felder für die Haushaltsgröße.....	42
Darstellung 17: Generierte Tabelle für Privathaushalte.....	42
Darstellung 18: Wahrscheinlichkeiten für eine bestimmte Haushaltsgröße.....	43
Darstellung 19: Felder und Werte für die Lebensunterhaltsstatistik.....	44
Darstellung 20: Generierte Tabelle für das Lebensunterhaltskonzept.....	44
Darstellung 21: Zeitverwendung in der Freizeit.....	46
Darstellung 22: Anzahl an Kontakten pro Tag nach Alter.....	47
Darstellung 23: Art und Dauer eines Kontaktes.....	48
Darstellung 24: Krankenstandszugänge bei der VGKK.....	49
Darstellung 25: Wahrscheinlichkeiten für eine Infektion.....	50
Darstellung 26: Aufbau von AnyLogic.....	52
Darstellung 27: Symbole aus AnyLogic.....	53
Darstellung 28: Table Function für die Verteilung der Haushaltsgrößen.....	54
Darstellung 29: Klassen und Interfaces des Modells.....	55
Darstellung 30: Statistische Daten der Umwelt.....	56
Darstellung 31: Grafische Darstellung einer Gemeinde.....	57
Darstellung 32: Statusdiagramm für den Infektionsstatus.....	59
Darstellung 33: Statusdiagramme für Wochenablauf und Tagesablauf.....	60
Darstellung 34: Statusdiagramm für den Aufenthaltsort.....	60

Darstellung 35: Übersicht über die Auslösung von Übergängen	61
Darstellung 36: Überblick über die Statusdiagramme.....	62
Darstellung 37: Verlauf der Kalibrierung.....	65
Darstellung 38: Ergebnis des Monte-Carlo-Experiments nach 30 erfolgreichen Durchläufen.	66
Darstellung 39: Epidemieverlauf in Vorarlberg	67
Darstellung 40: Epidemieverlauf mit einer Impfrate von 17%.....	68
Darstellung 41: Epidemieverlauf mit einer Impfrate von 15%.....	69
Darstellung 42: Epidemieverlauf mit einer Krankenstandswahrscheinlichkeit von 0,689.....	70
Darstellung 43: Epidemieverlauf mit einer Krankenstandswahrscheinlichkeit von 0,649.....	70

1 Einleitung

Spätestens seit der H1N1-Pandemie 2009 („Schweinegrippe“) sind die Themen Epidemie bzw. Pandemie in der Öffentlichkeit ständig präsent. Immer wieder gibt es Diskussionen darüber, wie sich Epidemien ausbreiten und welche Maßnahmen eine Ausbreitung von ansteckenden Krankheiten effektiv vermindern oder gar verhindern können. In dieser Arbeit soll dieser Fragestellung mit Hilfe einer Computersimulation nachgegangen werden.

Es soll analysiert werden, ob es möglich ist, eine solche Simulation zu erstellen, eine Grippeepidemie, wie sie in Vorarlberg tatsächlich schon aufgetreten ist, nachzustellen und das Modell dann für Experimente zu verwenden. Dabei soll vor allem die technische Ebene beleuchtet werden, d.h. wie so ein Modell aus Sicht der Informatik umgesetzt werden kann. Zur Aufstellung und Auswertung von realistischen und wissenschaftlichen Experimenten müssten noch Fachexperten wie Mediziner oder Soziologen hinzugezogen werden, die die Experimente auch auf deren Ebene validieren.

Ziel soll es also sein, ein Modell zu erstellen, mit dem die Ausbreitung einer auf einer ansteckenden Krankheit basierenden Epidemie simuliert und dann auch analysiert werden kann. Im Gegensatz zu einer Pandemie, unter der eine „sich weit ausbreitende, ganze Landstriche, Länder erfassende Seuche“ (Bibliographisches Institut GmbH 2013a) verstanden wird, ist eine Epidemie örtlich konzentriert (Bibliographisches Institut GmbH 2013b). Diese örtliche Abgrenzung soll in der vorliegenden Arbeit konkret das Gebiet Vorarlberg sein.

Es soll dafür ein agentenbasiertes Modell verwendet werden, damit die Heterogenität der Bevölkerung realistisch abgebildet werden kann. Bei klassischen mathematischen Modellen ist dies nicht möglich, da die Bevölkerung dort nur als homogene Menge von Ansteckungssubjekten modelliert werden kann. Das Modell soll vor allem soziale Strukturen wie Haushalte, Schulen, Arbeitsplätze, öffentliche Verkehrsmittel usw. enthalten. Basis für die Erstellung dieser Strukturen sollen konkrete Zensusdaten vom untersuchten Gebiet sein.

Nach Erstellung des Modells soll eine Kalibrierung auf einen tatsächlichen Verlauf in Vorarlberg durchgeführt werden. Dann sollen gezielte Gegenmaßnahmen zur Epidemie-Ausbreitung am Beispiel Influenza simuliert und deren Effekt untersucht werden. Es sind dies eine Erhöhung der Impfrate und eine Erhöhung der Krankenstandsrate bei Symptomen. Es soll gezeigt werden, dass das Modell dazu verwendet werden kann, den Erfolg solcher Gegenmaßnahmen zu bewerten.

2 Stand der Wissenschaft

2.1 Vom SIR-Modell zur agentenbasierten Modellierung

Die Idee, die Ausbreitung einer ansteckenden Krankheit zu modellieren und zu simulieren, gibt es schon lange. Bereits 1927 haben Kermack und McKendrick das berühmte SIR-Modell (Susceptible-Infectious-Recovered, auch Kermack-McKendrick-Modell) entwickelt. (Khalil 2010)

Das SIR-Modell teilt eine Population in drei Teile auf: In die noch gesunden aber anfälligen (S, susceptible), in die ansteckenden (I, infectious) und in die schon genesenen und immunen Personen (R, recovered). Bei jedem Zeitschritt wird ein Teil der Personen von der S-Gruppe in die I-Gruppe und ein Teil von der I-Gruppe in die R-Gruppe verschoben. Um die Ausbreitung, d.h. die Größe der Gruppen, zu beschreiben, verwendet das Modell einfache Differenzialgleichungen. (Bian 2007, S. 155-156)

Dieses Modell stößt immer mehr auf Kritik, vor allem aufgrund der folgenden Eigenschaften:

- Alle Individuen sind bis auf den aktuellen Infektionsstatus gleich.
- Alle Individuen sind mit allen anderen in Kontakt.
- Alle Individuen treten mit derselben Rate mit anderen Individuen in Kontakt.
- Die räumliche Position der Individuen wird nicht berücksichtigt.
- Individuen können sich nicht bewegen.

(Bian 2007, S. 157)

Neben dem Problem, dass Populationen als homogene Gruppen betrachtet werden, wird auch kritisiert, dass auf Differenzialgleichungen basierende Modelle bei komplexen Systemen an ihre Grenzen stoßen. Aus diesen Gründen wurden in den letzten Jahren alternative Ansätze entwickelt, um eine Epidemie zu simulieren. Einer davon basiert auf dem Konzept der agentenbasierten Simulation, bei dem einzelne Individuen mit bestimmten Eigenschaften und deren Interaktionen simuliert werden. (Bian 2007, S. 157-158)

2.2 Begriffsabgrenzung

In der Literatur werden die Begriffe „agentenbasierte“ und „individuenbasierte“ Simulation und Modellierung sowie – wenn in diesem Zusammenhang auch eher selten – der Begriff „Multiagentensystem“ verwendet. Auch in dieser Arbeit sind diese Begriffe gleichzusetzen, wobei die Autorin darauf hinweisen will, dass die Bezeichnungen „Multiagentensysteme“ bzw. „agentenbasierte Systeme“ auch anderweitig verwendet werden, zB für Systeme, in denen mehrere Komponenten eine komplexe Aufgabe gemeinsam lösen (Mönch 2012).

2.3 Beispiel

Als Beispiel, bei dem ein agentenbasiertes Modell deutlich erfolgreicher war, als ein auf Differenzialgleichungen basierendes, beschreiben Railsback und Grimm ein Modell zur Kontrolle der Tollwut in Europa.

Neue Ausbrüche der Tollwut können durch das Immunisieren von Füchsen kontrolliert werden, allerdings verursacht das sehr hohe Kosten. Simulationen mit Modellen, die auf Differenzialgleichungen basieren, haben ergeben, dass 70% der Füchse geimpft werden müssen, um die Tollwut auszurotten. Als festgestellt wurde, dass die Ausbreitung von Tollwut vom individuellen Verhalten eines Tieres abhängt, wurde ein agentenbasiertes Modell entwickelt. Die Experimente mit diesem Modell ergaben, dass deutlich weniger Füchse geimpft werden müssen. Auch die bisher verwendete Impfstrategie konnte durch das Modell als suboptimal identifiziert werden. Durch die neue Impfstrategie können einige Millionen Euro eingespart werden. (Railsback 2012, S. 3-4)

2.4 Bestehende Modelle und Literatur

Der Ansatz der agentenbasierten Modellierung wurde schon in zahlreichen Arbeiten aufgegriffen, unter anderem von Bian und Liebner in „A Network Model for Dispersion of Communicable Diseases“ (Bian 2007) und von Khalil u.a. in „An Agent-Based Modeling for Pandemic Influenza in Egypt“ (Khalil 2010).

In der Arbeit von Bian und Liebner wird ein Modell verwendet, in dem sich Individuen an zwei Orten aufhalten: einem für den Tag und einem für die Nacht. Die Orte stellen lokale Netzwerke dar, die durch die Bewegung von einem Ort zum anderen verbunden sind. Das Ganze wird mit Hilfe von zwei Populationen umgesetzt, die Tag- und die Nachtpopulation. Jedes Individuum hat in jeder Population einen fixen (räumlichen) Platz und kommuniziert mit den umliegenden Individuen. (Bian 2007, S. 158)

In der Arbeit von Khalil wird auch auf Kontrollstrategien, zB Impfungen, eingegangen und das klassische SIR-Modell wird erweitert. (Khalil 2010, S.109-110).

In der vorliegenden Arbeit soll das räumliche Konzept aus Bian 2007 ausgebaut und im Folgenden auch Kontrollmaßnahmen wie in Khalil 2010 analysiert werden.

3 Auswahl von Methoden und Werkzeugen

3.1 Art der Simulation

Wie in Kapitel 1 und Kapitel 2 beschrieben, soll die Technik der agentenbasierten Simulation verwendet werden. Für mehr Informationen dazu siehe Kapitel 4.

3.2 Modellbeschreibung

Für die Beschreibung und formale Definition des Modells wird das ODD Protocol verwendet. Siehe Kapitel 5 für mehr Informationen dazu.

3.3 Simulationsumgebung

Viele Gründe sprachen gleich zu Beginn dafür, als Simulationsumgebung die auch an der Fachhochschule Vorarlberg in der Lehrveranstaltung „Simulation und Modellierung“ verwendete Software „AnyLogic“ zu verwenden.

AnyLogic ist eine Multimethoden-Simulationssoftware, die von der AnyLogic Company entwickelt und verwaltet wird. (AnyLogic o.J.a) AnyLogic ist unter anderem dafür bekannt, dass es alle gängigen Formen der Simulation (agentenbasierte, systemdynamische und ereignisdiskrete Simulation) unterstützt und auf Windows, Mac und Linux betrieben werden kann. Die Software basiert auf Java und Eclipse. (SimPlan AG 2013)

Die Fachhochschule Vorarlberg ist im Besitz einer „Educational License“ von AnyLogic, Lizenzprobleme, die bei alternativer Software eventuell entstanden wären, wurden so vermieden. Zusätzlich war mir als Ausführende dieser Arbeit diese Software bereits aus der oben erwähnten Lehrveranstaltung bekannt (wenn auch nicht unbedingt für die Verwendung für agentenbasierte Simulationen), was den Einstieg deutlich erleichterte.

AnyLogic ist objektorientiert aufgebaut und bietet zahlreiche vorgefertigte Bausteine, wie grafische Elemente oder verschiedene Werkzeuge für das Ermitteln oder Verwenden von statistischen Daten.

Mir persönlich ist bei der Verwendung vor allem die leichte und fast unbeschränkte Erweiterbarkeit positiv aufgefallen. Nachdem man sich aus fertigen Bausteinen ein Grundmodell gebaut hat, lässt sich dieses sehr einfach durch das Erweitern von bestehenden oder das Erstellen von eigenen, neuen Klassen zu einem komplexen System ausbauen. Durch die graphische Oberfläche des Programmes bleiben die einzelnen Teile der Simulation und der zusätzliche Code übersichtlich.

Auch die Animation der Simulation selbst ist sehr einfach umzusetzen. Die einzelnen Elemente werden in einem Koordinatensystem platziert und ändern auf Anweisung ihren Standort oder ihre Erscheinung.

Ein großer Vorteil ist auch die sehr umfangreiche Dokumentation. Neben der umfassenden Hilfe stehen zahlreiche Tutorials in allen möglichen Bereichen und die Dokumentation des AnyLogic 6 Engine APIs zur Verfügung. (AnyLogic o.J.b)

Unter Verwendung der Educational License sind nicht alle Funktionalitäten verfügbar. Es fehlen unter anderem der Debugger und die Assistenten zur Erstellung von Kalibrierungs- und Monte-Carlo-Experimenten. (AnyLogic o.J.c) AnyLogic stellt die Professional License für einen Monat (bzw. auf Anfrage auch länger) zu Testzwecken zur Verfügung. Für diese Arbeit wurde dieser Testzeitraum genutzt, um das Modell zu debuggen und um die Experimente zu erstellen. Einmal erstellt können die Experimente dann auch unter der Educational License ausgeführt werden.

4 Agentenbasierte Modellierung und Simulation

4.1 Grundlagen

Agentenbasierte Modellierung (im Folgenden auch als ABM bezeichnet) ist ein dezentralisierter, auf einzelnen Individuen basierender Ansatz zur Modellierung. (AnyLogic o.J.d) Im Vergleich zu anderen Ansätzen werden bei der ABM einzelne Individuen (=Agenten, zB Personen, Unternehmen oder Organismen) eines Gesamtsystems modelliert, nicht das Gesamtsystem an sich. (Railsback 2012, S. 10) Daraus ergibt sich die Möglichkeit, die Heterogenität der Individuen zu modellieren, was zB in Ansätzen, die auf Differenzialgleichungen basieren, nicht möglich ist. Auch eine geographische Positionierung von Agenten (die sich während der Simulation aber durchaus ändern kann) in ihrer Umgebung wird dadurch umsetzbar. (Gilbert 2007, S. 1)

4.2 Agenten

Agenten sind heterogen, d.h. sie unterscheiden sich durch grundsätzliche Merkmale von anderen Agenten. Sie interagieren meist in irgendeiner Form miteinander (zB durch direkten Nachrichtenaustausch oder durch Beobachtung anderer [Gilbert 2007, S. 5]), jedoch oft nicht mit allen anderen Individuen, sondern nur mit einer Teilmenge, zB ihrem geographischen Umfeld. Weiters besitzen Agenten einen Status, der sich mit der Zeit ändert. Je nach Status, den herrschenden Umweltfaktoren oder dem Verhalten anderer Individuen kann ein Agent sein eigenes Verhalten anpassen. (Railsback 2012, S. 10-11)

Das Verhalten ist dabei aber autonom, d.h. Entscheidungen werden so getroffen, dass – falls vorhanden – das eigene Ziel erreicht wird. (Railsback 2012, S. 10-11)

4.3 Umwelt

Agenten leben und agieren in einer Umwelt. Die Umwelt kann entweder explizit räumlich dargestellt (d.h. ein Agent besitzt Koordinaten und befindet sich zB in einer bestimmten Stadt) oder durch Netzwerke repräsentiert werden (d.h. ein Agent hat Beziehungen zu den Agenten, die sich mit ihm in einem Netzwerk befinden). (Gilbert 2007, S. 6)

Bei der agentenbasierten Simulation kann sowohl beobachtet werden, was für Auswirkungen das Verhalten der Individuen auf das Gesamtsystem hat, als auch was für Auswirkungen der Status des Gesamtsystems auf ein Individuum hat. (Railsback 2012, S. 10) Das ermöglicht es, Prozesse sowohl aus der Gesamtsicht, als auch aus der Perspektive einzelner Individuen zu analysieren.

4.4 Vorteile und Probleme

Die Vorteile von ABM liegen – neben der Heterogenität der Individuen – vor allem darin, dass die Teile des Systems beschrieben werden und diese Beschreibung eine sehr natürliche und verständliche ist. Weiters sind ABM sehr flexibel, neue Teile, wie zB komplexeres Verhalten einzelner Agenten, lassen sich einfach in das Gesamtsystem einfügen. Der größte Vorteil von ABM ist aber die Emergenz, d.h. es ergeben sich Gesamtverhalten, die aus der Analyse von Einzelverhalten nicht direkt ableitbar sind. (Bonabeau 2002)

Ein Problem, das sich vor allem bei der Modellierung von Menschen ergibt, sind die schwer erfassbaren subjektiven und manchmal auch irrationalen Eigenschaften, die eine Person hat. Allerdings muss auch gesagt werden, dass ABM trotz dem nicht kontrollierbaren Einfluss dieser Eigenschaften auf das Gesamtsystem dieses Problem noch am besten löst. (Bonabeau 2002)

Ein weiterer Nachteil ist, dass die Simulationen durch die Modellierung jedes einzelnen Agenten sehr rechen- und dadurch zeitintensiv werden. (Bonabeau 2002)

4.5 Anwendungsbereiche

Typische Beispiele für ABM sind Modelle zur Analyse des Konsumgütermarktes, bei dem zB die Wahl des Produktes von den individuellen Eigenschaften eines Käufers oder einer Käuferin abhängt, oder der Epidemiologie. (AnyLogic o.J.c) Wie bereits in Kapitel 2 erwähnt eignet sich der agentenbasierte Ansatz dafür besonders gut, da soziale Netzwerke und die Ausbreitung der Krankheit in diesen sehr gut abgebildet werden können.

5 ODD Protocol

5.1 Übersicht

5.1.1 Entwicklung

Agentenbasierte Modelle können nicht einfach durch mathematische Gleichungen beschrieben werden, sondern benötigen eine komplexere, hauptsächlich auch verbale Definition. Ein Modell aus einer solchen verbalen Definition zu reproduzieren ist meistens schwierig, wenn nicht sogar unmöglich, weil Teile fehlen oder unverständlich sind. Da die Popularität von ABM stieg und die Reproduzierbarkeit ein wissenschaftliches Grundprinzip ist (Railsback 2012, S. 36), haben Volker Grimm und Steven F. Railsback versucht, eine standardisierte Form zur Definition eines agentenbasierten Modells zu entwickeln. Dieser Vorschlag wurde 2004 bei einem internationalen Workshop für ABM vorgestellt und daraufhin in Zusammenarbeit mit einer Vielzahl von Experten in diesem Gebiet überarbeitet. Das daraus resultierende Ergebnis wurde 2006 im Journal „Ecological Modelling“ (Grimm 2006) als ODD Protocol vorgestellt. (Grimm 2006, S. 116-117)

Vier Jahre später wurde im selben Journal eine überarbeitete Version des Protokolls präsentiert. (Grimm 2010b)

Inzwischen wird dieser Standard nicht mehr nur zur genauen Beschreibung des Modells verwendet, sondern dient auch als Hilfe für die Entwicklung und Formulierung eines Modells. (Railsback 2012, S. 35)

5.1.2 Definition

Das Akronym ODD steht für „Overview, Design concepts, and Details“, den drei Hauptteilen des Protokolls. Die einzelnen Teile sind wieder in Unterbereiche aufgeteilt. Darstellung 1 bietet eine Übersicht über alle Bestandteile, welche in den folgenden Kapiteln noch genauer erklärt werden. Für die Bereiche werden immer die originalen englischen Namen aus den Veröffentlichungen (Grimm 2006 und Grimm 2010b) verwendet.

Overview	Design concepts	Details
<ul style="list-style-type: none"> •Purpose •Entities, state variables, and scales •Process overview and scheduling 	<ul style="list-style-type: none"> •Basic principles •Emergence •Adaption •Objectives •Learning •Prediction •Sensing •Interaction •Stochasticity •Collectives •Observation 	<ul style="list-style-type: none"> •Initialization •Input data •Submodels

Darstellung 1: Bestandteile des ODD Protocols

Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin basierend auf Grimm 2010b, S. 2763

5.2 Overview

5.2.1 Purpose

Als erster Teil der Beschreibung soll der Zweck des Modells kurz und prägnant formuliert werden. Dabei soll klar werden, wozu das Modell benötigt wird und was dann damit gemacht wird. (Grimm 2006, S. 117)

5.2.2 Entities, State Variables and Scales

In diesem Teil werden die Entitäten beschrieben, aus denen sich das Modell zusammensetzt. Es sind dies sowohl die Agenten als auch andere Einheiten, wie zB ein Container, in dem sich ein Agent befinden kann, oder die Umwelt. Entitäten werden durch Zustandsgrößen („state variables“) beschrieben, diese beinhalten Variablen (zB Geschlecht bei einer Person, Koordinaten bei einem Container) und bei Agenten auch spezielle Verhalten, die dieser Agent aufweist. (Railsback 2012, S. 38) Zur Darstellung der Zustandsgrößen können Tabellen und/oder UML-Klassendiagramme verwendet werden. (Grimm 2006, S. 118)

Im Bereich Ausmaße („scales“) sollen sowohl die räumlichen als auch die zeitlichen Ausmaße des Systems beschrieben werden. Zeitlich sollen die verwendete Zeitrasterung (zB diskrete Einheiten wie Tage) und die zeitliche Ausdehnung, d.h. die Dauer eines Simulationsdurchlaufs (zB Anzahl der Zeiteinheiten) angegeben werden. (Railsback 2012, S. 38) Neben der räumlichen Ausdehnung, d.h. der Größe der modellierten Umwelt, ist es oft auch sinnvoll, eine typische Konfiguration dieser grafisch darzustellen. (Grimm 2006, S. 118)

5.2.3 Process Overview and Scheduling

Hier sollen die Prozesse beschrieben werden, innerhalb derer sich die Zustandsgrößen der Entitäten ändern, d.h. wie sich die Entitäten verhalten, wenn simuliert wird (zB bewegen, fressen). In diesem Kapitel sollen die Prozesse aber nur kurz und prägnant beschrieben werden, eine ausführliche Definition erfolgt im Teil „Submodels“. Zusätzlich zu den Prozessen, die die Entitäten betreffen, sollen auch solche genannt werden, die nur zur Beobachtung dienen, zB ein Prozess, der statistische Daten über eine Entität sammelt und darstellt. (Railsback 2012, S. 39)

Im Teil „Scheduling“ soll beschrieben werden, in welcher Reihenfolge diese Prozesse genau ausgeführt werden.

5.3 Design Concepts

Das ODD Protocol enthält eine Reihe von generellen Konzepten, die beim Modellieren von agentenbasierten Modellen immer wieder auftauchen. Kommen eines oder mehrere dieser Konzepte in einem Modell vor, sollen sie in diesem Teil beschrieben werden. Die Konzepte werden in dieser Arbeit nicht vollständig aufgeführt, die Autorin verweist dafür auf Railsback 2012, S. 41 und S. 95-224.

5.4 Details

5.4.1 Initialization

Hier wird beschrieben, wie das Modell am Beginn der Simulation initialisiert und konfiguriert wird, zB wie viele Agenten es beim Start gibt und wo sie sich aufhalten. (Railsback 2012, S. 40)

5.4.2 Input data

Hier werden jene Eingabedaten beschrieben, die sich über die Zeit ändern, aber von einer externen Quelle kommen, zB Niederschlag, der sich je nach Jahreszeit ändert. Daten, die nur für die Initialisierung benötigt werden, gehören hier nicht dazu. (Grimm 2006, S. 119)

5.4.3 Submodels

Alle im Teil „Process Overview and Scales“ aufgeführten Prozesse sollen hier detailliert beschrieben werden. (Grimm 2006, S. 119)

5.5 Bewertung

Amouroux u.a. beschreiben das ODD Protocol in ihrer Abhandlung als wichtigen Schritt für die standardisierte Darstellung von Modellen, das Ziel einer vollständigen Reproduzierbarkeit sei aber

noch in weiter Ferne. Ein Hauptkritikpunkt ist, dass es sich um eine textbasierte Beschreibung handelt und darum von sich aus schon mehrdeutig ist. Weiters kritisieren sie, dass manche Teile des Modells an viele Orte passen würden, zB könnte die räumliche Ausbreitung des Modells entweder als Entität oder bei den Scales definiert sein. (Amouroux 2010)

Ich persönlich habe das ODD Protocol nur zur Beschreibung des Modells, nicht zur Entwicklung verwendet. Die Beschreibung nach der vorgegebenen Struktur zu gestalten hat sich für mich als eher schwierig herausgestellt, da nicht bei allen Teilen gleich offensichtlich ist, was damit gemeint ist. Das besserte sich auch durch die Analyse von zahlreichen Beispielen nicht.

Für mich ist der Vorsatz, dass Modelle durch die Formulierung mit Hilfe des ODD Protocols zu hundert Prozent reproduzierbar sein sollen, sehr hoch gegriffen und ich kann mir nicht vorstellen, dass ein komplexes Modell nur mit einer verbalen Beschreibung und ohne Hinweise zur konkreten Implementierung vollständig und eindeutig reproduziert werden kann. Nach der Durcharbeitung hatte ich bei den meisten Beispielen nicht das Gefühl, das Modell vollständig reproduzieren zu können. Ich schließe mich hier der Meinung von Amouroux u.a. an, dass eine rein textliche Beschreibung nie ausreichen wird, um ein Modell eindeutig zu definieren.

6 Modell

Die formelle Definition des Modells erfolgt in Form des ODD Protocols, für Informationen dazu siehe Kapitel 5. Werden in der Modellbeschreibung Ausdrücke wie „mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit“ u.Ä. verwendet, sind die zugehörigen statistischen Daten in Kapitel 7 zu finden.

6.1 Overview: Purpose

Dieses Modell soll dazu dienen, die Ausbreitung einer Epidemie in Vorarlberg zu simulieren. Es werden dafür Personen simuliert, die sich zwischen verschiedenen Aufenthaltsorten bewegen und dort gegebenenfalls andere Personen mit einer Krankheit anstecken. Mit Hilfe des Modells soll der Einfluss von verschiedenen Parametern auf die Gesamtausbreitung und die Wirksamkeit von möglichen Gegenmaßnahmen analysiert werden.

6.2 Overview: Entities, State Variables and Scales

Das Modell umfasst folgende Entitäten: Umwelt, Gemeinden, Busse, Organisationen, Haushalte und Personen.

Hierarchisch hängen die Entitäten folgendermaßen zusammen:

- Die Umwelt repräsentiert Vorarlberg und besteht aus Gemeinden und Bussen.
- Gemeinden bestehen aus Haushalten und verschiedenen Organisationen.
- Personen halten sich in Haushalten, Organisationen oder Bussen auf und können dort andere anstecken oder von anderen angesteckt werden. Der momentane Aufenthaltsort wird nach bestimmten Verhaltensmustern gewechselt.

Jede Entität außer der Umwelt ist mit x- und y-Koordinaten ausgestattet. Diese haben nur bei den Gemeinden einen Einfluss auf die Simulation, bei allen anderen Zustandsgrößen sind die Koordinaten nur zur grafischen Darstellung. Ähnliche x- und y-Koordinaten bedeuten also nicht automatisch Kontakt miteinander. Wer mit wem Kontakt hat, wird über Personenlisten in den jeweiligen Entitäten (zB welche Personen befinden sich im selben Haushalt) und über Kontaktlisten von Personen (zB mit welchen Personen hat jemand an seinem Arbeitsplatz normalerweise Kontakt) ermittelt.

Für Orte, an denen sich Personen aufhalten können, gibt es die Zustandsgröße `contactFrequencyType`, welche für die Berechnung der Übertragungswahrscheinlichkeit der Krankheit benötigt wird. Diese Größe gibt an, wie oft man grundsätzlich mit anderen Personen aus diesem Aufenthaltsort in Kontakt ist (täglich, wöchentlich oder monatlich).

6.2.1 Umwelt

Die Entität Umwelt steht für die gesamte Simulationsumgebung, repräsentiert also Vorarlberg, und besteht aus Gemeinde- und Busentitäten.

<code>nrOfCommunities</code>	Anzahl der Gemeinden in der Umwelt. Nach dieser Anzahl wird das Modell initialisiert.
<code>nrOfBusses</code>	Anzahl an Bussen in der Umwelt. Nach dieser Anzahl wird das Modell initialisiert.
<code>probabilityForNaturalImmunity</code>	Wahrscheinlichkeit für eine natürliche Immunität gegen die Krankheit. Dieser Parameter wird zur Modellkalibrierung variiert.
<code>nrOfInitialInfections</code>	Anzahl an Personen, die zu Beginn der Simulation infiziert werden. Dieser Parameter wird zur Modellkalibrierung variiert.
<code>nrOfSusceptibles</code>	Aktuelle Anzahl an gesunden aber gefährdeten Personen.
<code>nrOfInfected</code>	Aktuelle Anzahl an infizierten Personen.
<code>nrOfRecovered</code>	Aktuelle Anzahl an wieder genesenen Personen.

Darstellung 2: Zustandsgrößen der Umwelt
Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin

Zusätzlich zu den in Darstellung 2 dargestellten Zustandsgrößen enthält die Umwelt auch alle statistischen Daten, die für die Initialisierung und Simulation des Modells benötigt werden.

6.2.2 Gemeinde

Als „Gemeinde“ ist in diesem Modell nicht eine Gemeinde im eigentlichen Sinne, sondern ein örtlicher Zusammenschluss mit einem Kindergarten und einer Volksschule gemeint. Größere Gemeinden oder Städte in Vorarlberg, die über mehrere Volksschulen verfügen, werden als mehrere kleine Modell-Gemeinden dargestellt. Diese Aufteilung in Teilgemeinden wurde gemacht, da für das Modell das lokale Zusammenleben und nicht die meist historisch bedingten Gemeinde- oder Stadtgrenzen wichtig sind. So ist es zB viel realistischer, dass Dornbirn als mehrere Teilgemeinden dargestellt wird, da es tatsächlich aus mehreren Stadtteilen besteht. Diese Stadtteile funktionieren vom Zusammenleben her wie Gemeinde, zB gibt es eine eigene Volksschule oder eigene Vereine, wie einen Musik- oder Feuerwehrverein. Eine solche Gemeinde hat zwischen 200 und 6400 Einwohnern, basierend auf einer bestimmten Verteilung (siehe Kapitel 7.2.1).

In Gemeinden befinden sich Haushalte und Organisationen. Jede Gemeinde hat eine Organisation vom Typ Kindergarten, eine Organisation vom Typ Volksschule, eine Organisation vom Typ

Freizeitorganisation und mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit eine Organisation vom Typ Hauptschule. Eine Gemeinde kann Organisationen vom Typ Unternehmen haben. Die Anzahl an Unternehmen hängt davon ab, wie viele Personen sich diese Gemeinde als Arbeitsort ausgesucht haben. Darstellung 3 zeigt die Zustandsgrößen einer Gemeinde.

<code>xLocation, yLocation</code>	x- und y-Koordinaten in der Umwelt.
<code>kindergarten</code>	Der Kindergarten der Gemeinde.
<code>elementarySchool</code>	Die Volksschule der Gemeinde.
<code>secondarySchool</code>	Die Hauptschule der Gemeinde. Wird nicht gesetzt, wenn es keine Hauptschule gibt.
<code>freetimeOrganisation</code>	Organisation vom Typ Freizeit.
<code>distanceList</code>	Liste aller Gemeinden, sortiert nach der Entfernung zu dieser Gemeinde.
<code>companies</code>	Liste aller Organisationen vom Typ Arbeitsplatz.
<code>households</code>	Liste aller Haushalte.

Darstellung 3: Zustandsgrößen einer Gemeinde
Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin

6.2.3 Bus

Die Entität Bus repräsentiert alle öffentlichen Verkehrsmittel. Manche Personen verwenden diese Busse, um an Werktagen am Tag von einem Haushalt zu einer Organisation zu wechseln oder umgekehrt.

Busse sind in eine Art Linien aufgeteilt. Das soll dazu dienen, dass der Kontakt in Bussen zwei Eigenschaften erfüllt: Personen, die von derselben Gemeinde in dieselbe andere Gemeinde wechseln, sollen den gleichen Bus verwenden. Es soll aber nicht so sein, dass nur diese Personen in einem Bus sind, sondern auch Personen mit anderen Gemeindepaaaren. Deshalb gibt es weniger Busse als Gemeindepaaare und den Bussen werden zufällig einige Gemeindepaaare zugeteilt.

Das führt auch dazu, dass Personen – wenn sie einen Bus benützen – jeden Tag denselben benützen. Der Bus verfügt über eine Liste an Personen, die normalerweise mit ihm fahren und die Person kennt den Bus, mit dem sie immer fährt.

Busse haben keine maximale Größe, d.h. es benützen alle Personen, die der gleichen Linie zugeteilt sind, den gleichen Bus. Das entspricht natürlich nicht der Realität, darum hat eine Person eine Liste (mit der Größe `nrOfBusContacts`) von Personen, mit denen sie normalerweise im Bus Kontakt hat. Diese Liste wird bei der ersten Verwendung des Busses zufällig aus allen Personen erstellt, die

diesen Bus normalerweise benützen. Von der Liste werden jeden Tag zufällig ein paar Personen (`nrOfChangingBusContacts`) ausgetauscht. Auch die Personen aus dieser Liste sind nur potentielle Kontakte, d.h. man hat auch mit diesen nur mit einer bestimmten Rate wirklich Kontakt (siehe Kapitel 6.2.6).

Die Kontaktlisten sind dabei unabhängig voneinander, d.h. wenn Kontakt A Kontakt B in seiner Kontaktliste hat, hat Kontakt B nicht unbedingt Kontakt A in seiner Liste. Das entspricht zwar nicht exakt der Realität, eine Umsetzung von Listen, die gegenseitigen Kontakt realisieren, wäre aber technisch sehr aufwändig (v.a. der zufällige Austausch von Kontakten aus der Liste). Zum anderen erfolgt die Ansteckung nur in eine Richtung (d.h. man wird angesteckt, wenn ein Infizierter Kontakt mit einem aufnimmt, nicht wenn man selbst Kontakt mit einem Infizierten aufnimmt).

Darstellung 4 zeigt die Zustandsgrößen eines Busses.

<code>xLocation, yLocation</code>	x- und y-Koordinaten in der Umwelt. Werden nur benötigt, um den Bus darzustellen, haben sonst keinen Einfluss.
<code>allocatedPersons</code>	Liste von Personen, die normalerweise mit diesem Bus fahren.
<code>contactFrequencyType</code>	Wöchentlich (für alle Busse gleich).
<code>nrOfBusContacts</code>	Anzahl an Personen, mit denen man in einem Bus potentiell in Kontakt ist.
<code>nrOfChangingBusContacts</code>	Anzahl an Personen, die bei jedem Gebrauch des Busses aus der Kontaktliste ausgetauscht werden.

Darstellung 4: Zustandsgrößen eines Busses
Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin

6.2.4 Organisation

Organisationen sind Gebäude, in denen sich Personen zu einem bestimmten Zweck aufhalten können, zB um zu arbeiten. In Organisationen vom Typ Kindergarten, Volksschule, Hauptschule und Arbeitsplatz halten sich normalerweise immer die gleichen Personen auf, d.h. die Organisation kennt die Personen, die sich normalerweise dort aufhalten und die Person weiß, in welcher dieser Organisationen sie sich normalerweise aufhält. Für diese Organisationen gilt das gleiche Prinzip wie für Busse: Sie können zwar sehr groß sein, man hat aber trotzdem potentiell nur mit einer bestimmten Liste von Personen (Größe der Liste: `nrOfDayLocationContacts`) Kontakt, von denen jeden Tag einige (`nrOfChangingDayContacts`) ausgetauscht werden. Auch hier sind die Kontaktlisten wieder einseitig.

In Organisationen vom Typ Freizeitorganisation befinden sich immer wieder andere Personen, darum hat diese Organisation immer eine Liste von Personen, die sich aktuell dort aufhalten. In diesen Organisationen hat man potentiell mit allen Personen, die sich dort aufhalten, Kontakt.

Darstellung 5 zeigt die Zustandsgrößen einer Organisation.

<code>xLocation, yLocation</code>	x-und y-Koordinaten innerhalb der Gemeinde, in der sich die Organisation befindet. Wird nur für die Darstellung der Organisation benötigt.
<code>community</code>	Gemeinde, in der sich die Organisation befindet.
<code>type</code>	Typ der Organisation: 1: Kindergarten 2: Volksschule 3: Hauptschule 4: Arbeitsplatz 5: Freizeitorganisation
<code>contactFrequencyType</code>	Für die Typen 1, 2, 3 und 4 wöchentlich, für den Typ 5 monatlich.
<code>allocatedPersons</code>	Personen, die sich normalerweise in der Organisation aufhalten (wird nur bei den Typen Kindergarten, Volksschule, Hauptschule oder Arbeitsplatz verwendet). Aus der Größe dieser Liste ergibt sich die Größe der Organisation.
<code>nrOfDayLocationContacts</code>	Anzahl an Personen, mit denen man in dieser Organisation potentiell in Kontakt ist (= Größe der Kontaktliste).
<code>nrOfChangingDayContacts</code>	Anzahl an Personen, die bei jedem Wechsel in diese Organisation aus der Kontaktliste ausgetauscht werden.
<code>personsCurrentlyInTheOrganisation</code>	Personen, die sich im Moment in der Organisation aufhalten (wird nur beim Typ Freizeitorganisation verwendet).

Darstellung 5: Zustandsgrößen einer Organisation
Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin

6.2.5 Haushalt

Haushalte sind Gebäude, in denen Personen wohnen, besucht werden und andere Personen besuchen können. Ein Haushalt weiß, welche Personen sich momentan in ihm aufhalten und eine Person weiß, in welchem Haushalt sie wohnt. Darstellung 6 zeigt die Zustandsgrößen eines Haushaltes.

<code>xLocation, yLocation</code>	x- und y-Koordinaten innerhalb der Gemeinde, in der sich der Haushalt befindet.
<code>community</code>	Gemeinde, in der sich der Haushalt befindet.
<code>personsInThisHousehold</code>	Personen, die sich im Moment im Haushalt aufhalten (nicht die Personen, die dort wohnen).
<code>contactFrequencyType</code>	Täglich (ist für alle Haushalte gleich).

Darstellung 6: Zustandsgrößen eines Haushaltes

Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin

6.2.6 Person

Personen sind die Agenten dieses Modells. Sie wechseln in ihrem Wochen- und Tagesablauf zwischen Haushalten, Organisationen und Bussen und können sich dort durch Kontakt mit anderen Personen anstecken oder andere infizieren. Wann sich eine Person genau wo aufhält, wird in Kapitel 6.7.1 beschrieben. Darstellung 7 zeigt die Zustandsgrößen einer Person.

<code>age</code>	Alter der Person.
<code>gender</code>	Geschlecht der Person.
<code>household</code>	Haushalt, in der die Person lebt (=Heimathaushalt).
<code>xLocationHousehold, yLocationHousehold</code>	x- und y-Koordinaten innerhalb des Heimathaushaltes.
<code>busToDayLocation</code>	Bus, den die Person verwendet, um zur Organisation zu kommen, in der sie sich an einem Werktag untertags aufhält. Diese Variable ist nicht gesetzt, wenn die Person keinen Bus verwendet.
<code>busContacts</code>	Personen, mit denen man bei der letzten Busfahrt potentiell Kontakt hatte. Von diesen Personen wird bei jeder neuen Busfahrt eine bestimmte Anzahl (<code>nrOfChangingBusContacts</code>) ausgetauscht.
<code>dayLocation</code>	Organisation, in der sich die Person an Werktagen während des Tages aufhält (wenn sie das Haus verlässt).
<code>dayLocationContacts</code>	Personen, mit denen man beim letzten Aufenthalt in dieser Organisation potentiell Kontakt hatte. Von diesen Personen wird bei jedem Aufenthalt eine bestimmte Anzahl (<code>nrOfChangingDayContacts</code>) ausgetauscht.
<code>freeTimeLocationForToday</code>	Organisation oder Haushalt, in der/dem man sich an diesem Tag in der Freizeit aufhält (ist nicht gesetzt, falls man zu Hause bleibt).

<code>infectionState</code>	Der aktuelle Infektionsstatus einer Person in Form eines Statusdiagramms, wobei die Übergänge zwischen den Status mit bestimmten Timeouts ausgelöst werden. Siehe dazu Kapitel 6.7.2.
<code>contactRate</code>	Rate, mit der die Person im Schnitt über einen Tag verteilt Kontakt mit anderen Personen aufnimmt. Die Rate ist unabhängig vom aktuellen Aufenthaltsort, siehe dazu Kapitel 6.7.3.
<code>isVaccinated</code>	Wahrheitswert, der angibt, ob die Person geimpft ist oder nicht.
<code>isNaturalImmune</code>	Wahrheitswert, der angibt, ob die Person eine natürliche Immunität hat oder nicht.
<code>color</code>	Farbe, mit der die Person dargestellt wird, wobei die Farbe vom aktuellen Infektionsstatus abhängt.

Darstellung 7: Zustandsgrößen einer Person
Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin

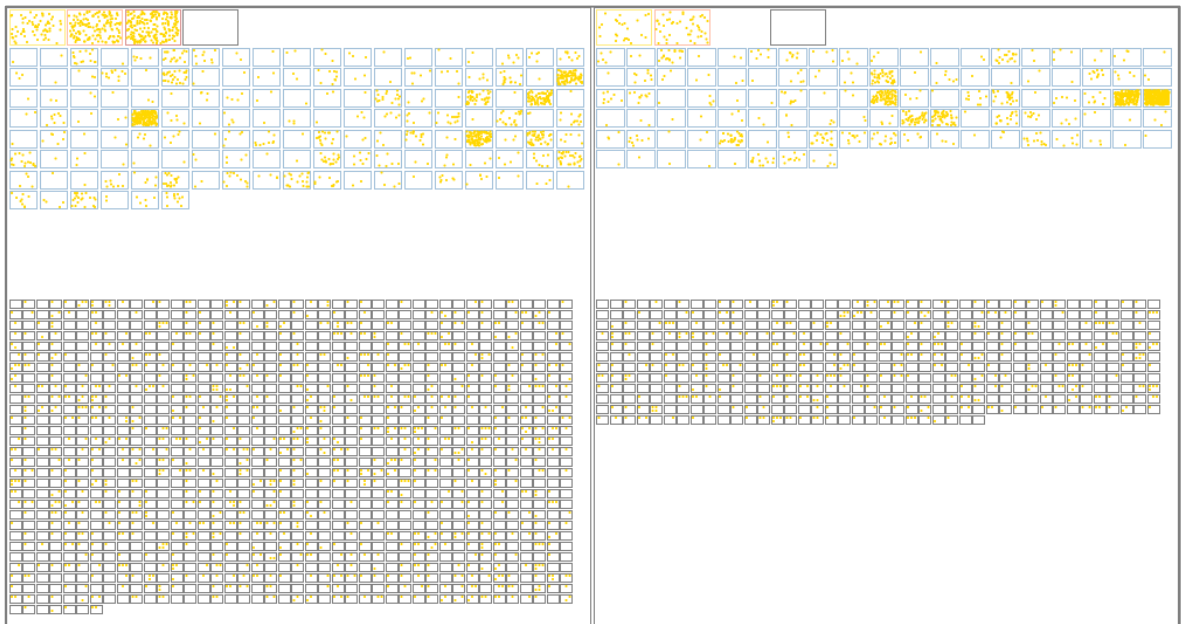
6.2.7 Scales

Es wird ein Epidemiedurchlauf in Tagen simuliert. Ein Epidemieverlauf dauert dabei so lange, bis es keine infizierten Personen mehr gibt. Gewisse Experimente können aber auch schon früher beendet werden (siehe Kapitel 9). Das Modell ist darauf ausgelegt, einen Epidemieverlauf zu simulieren, der typischerweise von Herbst bis Frühling dauert, wie zB die Influenza. Diese Annahme führt dazu, dass das Modell geschlossen konzipiert werden kann, d.h. es gibt keine Geburten oder Todesfälle und dass sich bestimmte Eigenschaften einer Person während des Verlaufs nicht ändern (zB das Alter). Es wird auch davon ausgegangen, dass sich Kinder und Jugendliche im kindergarten- bzw. schulpflichtigen Alter immer an allen Werktagen im/in der jeweiligen Kindergarten/Schule aufhalten, d.h. es gibt keine Ferien. Das Modell könnte aber bei Bedarf einfach auf die Simulation von Ferien erweitert werden, was bei Epidemien im Sommer durchaus eine Auswirkung hätte.

Ein Tag ist entweder ein Werktag (Montag-Freitag) oder ein Wochenendtag (Samstag, Sonntag), wobei es jeweils drei Haupttageszeiten (Nacht, Tag und Abend) und zwei Übergangszeiten (Nacht – Tag und Tag – Abend) – das heißt gesamt fünf verschiedene Tageszeiten – gibt.

Die Simulation findet in einer Umwelt mit 32 Gemeinden und 16 Bussen statt, wobei die Gemeinden in einem Raster von 4x8 angeordnet sind. Darstellung 8 zeigt eine typische Konfiguration der Simulation, wobei aber nur zwei Gemeinden dargestellt werden. Die zwei großen Rechtecke sind dabei die Gemeinden, die kleineren Rechtecke sind Aufenthaltsorte wie

Unternehmen und Haushalte und die gelben Punkte sind die Personen. Siehe auch Kapitel 8.4.2 für genauere Informationen.



Darstellung 8: Typische Konfiguration der Simulation

Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin auf Basis von Screenshots aus AnyLogic

6.3 Overview: Process Overview and Scheduling

Nach Beginn der Simulation werden die verschiedenen zeitlichen Zyklen (Werktag/Wochenendtag und die verschiedenen Tageszeiten) durchlaufen. Jeweils zu Beginn und zum Ende einer neuen Tageszeit kann sich eine Person zu einem anderen Ort bewegen. Dieser Prozess („Bewegung“) wird in Kapitel 6.7.1 genauer beschrieben.

Eine Person durchläuft verschiedene Gesundheitsstatus, siehe dazu Kapitel 6.7.2. Hat eine Person den Status „ansteckend“, infiziert sie mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit andere Personen, die sich am selben Ort aufhalten („Infektion“), siehe dazu Kapitel 6.7.3.

Die Prozesse, die der Beobachtung des Modells dienen, werden in Kapitel 6.4.2 beschrieben.

6.4 Design Concepts

6.4.1 Emergence

Die Dynamik der Population entsteht aus dem Verhalten der einzelnen Personen. Wie der Tagesablauf eines Individuums verläuft, hängt in erster Linie von empirischen und stochastischen Regeln ab. Das Einzige, was von der Umgebung abhängt, ist die Infektion einer Person und in der Folge die Veränderung des Tagesablaufs, wenn sich Symptome zeigen.

Die Emergenz des Modells ist der Einfluss von Variationen in Agenten, die eine unvorhersehbare Veränderung im Verlauf der Epidemie zur Folge haben.

6.4.2 Observation

Zur Beobachtung der Epidemie-Ausbreitung wird die Entwicklung der aktuellen Anzahl an infizierten und genesenen Personen sowohl numerisch als auch in einem Diagramm über die Zeit dargestellt.

Da die Daten, auf die der Modell-Output kalibriert werden soll, als Anzahl der wöchentlichen Zugänge von Krankenständen (d.h. alle, die aufgrund der Symptome zu Hause bleiben) vorhanden sind, wird auch diese Größe über die Zeit beobachtet und in einem Diagramm dargestellt.

Der Blick auf das Modell ist also „allwissend“, d.h. man beobachtet den Gesamtzustand des Systems, nicht den Zustand einzelner Teile. Die einzelnen Teile, zB Personen, werden nur zu Testzwecken beobachtet.

6.4.3 Adaption

Es gibt nur eine Form von Adaption: Eine Person, die Symptome zeigt, verlässt das Haus mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit nicht.

6.4.4 Interaction

Die einzige Form der Interaktion zwischen Agenten ist die Ansteckung einer gesunden durch eine ansteckende Person. Die Interaktion erfolgt direkt, d.h. der Ansteckende schickt eine Nachricht an den Anzusteckenden. Eine Person interagiert immer nur mit dem direkten sozialen Umfeld, nicht mit der gesamten Umwelt.

6.4.5 Stochasticity

Viele Faktoren des Modells sind vom Zufall abhängig. Grundsätzlich können zufällige Initialisierungsdaten und zufällige Verhalten während der Laufzeit unterschieden werden.

In welchen Teilen der Initialisierung zufällige Daten verwendet werden, wird in Kapitel 6.5 beschrieben. Wo diese Daten herkommen und wie sie aufbereitet wurden, wird in Kapitel 7 aufgezeigt.

Die Verwendung von statistischen Daten während der Laufzeit wird in den verschiedenen Prozessen in Kapitel 6.7 erklärt. Für Quelle und Aufbereitung siehe auch hier Kapitel 7.

6.4.6 Collectives

Das Modell beinhaltet eine Reihe von Aggregationen, also Anhäufungen von Agenten. Es gibt hauptsächlich explizit als Entität definierte Collectives (zB Haushalte oder Organisationen).

6.5 Details: Initialization

6.5.1 Gemeinden und Busse

Die Initialisierung des Modells beginnt damit, dass die angegebene Anzahl an Gemeinden erzeugt wird. Den Gemeinden werden eine Position (die Gemeinden werden der Reihe nach in der Umwelt angeordnet), ein Kindergarten, eine Volksschule und eine Freizeitorganisationen zugewiesen. Mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit hat die Gemeinde zusätzlich noch eine Hauptschule.

Nach den Gemeinden wird die vorgegebene Anzahl an Bussen erzeugt. Es wird eine Matrix erstellt, in welche in die Zeilen und Spalten jeweils alle Gemeinden eingetragen werden. In die Schnittpunkte zweier Gemeinden wird zufällig ein Bus eingetragen. Diesen Bus müssen alle Personen verwenden, die von der Gemeinde in der Spalte in die Gemeinde in der Zeile wechseln.

6.5.2 Distanzen, Haushalte, Organisationen und Personen

Nach dem Erzeugen aller Gemeinden und Busse werden für jede Gemeinde noch zusätzliche Initialisierungen vorgenommen.

Zuerst wird eine Distanzliste erzeugt. Diese Liste enthält alle Gemeinden mit der jeweiligen Distanz zur aktuellen Gemeinde (inklusive der aktuellen Gemeinde, die Distanz ist dort 0). Als Distanz wird die Entfernung zwischen den Mittelpunkten der Gemeinden definiert. Die Liste wird dann nach dieser Distanz sortiert.

Dann wird der Gemeinde eine zufällige Anzahl an Einwohnern nach einer bestimmten Verteilung zugeordnet. Diese Größe kann schlussendlich noch um fünf Personen schwanken.

Der nächste Schritt ist die Initialisierung der Haushalte für diese Gemeinde. Ein Haushalt bekommt eine Position (Haushalte werden einfach nebeneinander angeordnet, die Position innerhalb der Gemeinde spielt keine Rolle) und eine Anzahl an Hausbewohnern, die aus statistischen Daten zufällig ermittelt wird.

Es folgt die Initialisierung der Personen, die in diesem Haushalt wohnen. Eine Person hat ein Alter und ein Geschlecht, beides wird aus statistischen Daten ermittelt. Die Position (x- und y-Koordinaten) innerhalb des Haushaltes wird fix zugewiesen, hat auf die Simulation selbst aber keinen Einfluss. Aufgrund des Alters und statistischen Daten wird ermittelt, wo sich die Person an

Werktagen am Tag aufhält. Siehe dazu das Kapitel „Aufenthaltort an Werktagen am Tag“ im Anschluss.

Wechselt eine Person den Aufenthaltort am Tag und liegt der neue Aufenthaltort nicht in der Heimatgemeinde, verwendet die Person mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit (siehe Kapitel 7.3.5) einen Bus. Welcher Bus verwendet wird, wird aus der zuvor erstellten Gemeindematrix entnommen.

Die Person erhält dann noch eine zufällige Kontaktrate, die vom Alter abhängt und wird mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit als geimpft und/oder natürlich immun gekennzeichnet.

Es werden nun so lange Personen erzeugt, bis der Haushalt voll besetzt ist, und so lange Haushalte, bis die Gesamtanzahl an Personen größer oder gleich der vorher ermittelten Gemeindegröße ist. Fehlt zB nur noch eine Person, wird trotzdem noch ein ganzer Haushalt mit zufälliger Größe erzeugt, darum weicht die endgültige Gemeindegröße wie anfangs erwähnt eventuell um fünf von der zuerst festgelegten Größe ab.

6.5.3 Aufenthaltort an Werktagen am Tag

Wo sich die Personen an Werktagen während des Tages aufhalten, hängt maßgeblich vom Alter ab. Kinder unter vier Jahren halten sich zu Hause auf. Kinder im Kindergarten- oder Volksschulalter (4 bis 5 bzw. 6 bis 9 Jahre) halten sich im Kindergarten oder in der Volksschule der jeweiligen Gemeinde auf. Gibt es eine Hauptschule in der Gemeinde, halten sich Kinder im Hauptschulalter (10 bis 13 Jahre) dort auf, ansonsten wechseln sie in die nächstgelegene Gemeinde mit Hauptschule. Jugendliche, die die Hauptschule beendet haben, fangen an zu arbeiten. Ein bestimmter Teil an Jugendlichen oder Erwachsenen verbringt den Tag zu Hause, weil sie arbeitslos, arbeitsunfähig oder mit der Kinderbetreuung/Haushaltsführung beschäftigt sind. Für Jugendliche oder Erwachsene, die arbeiten, wird zufällig eine Gemeinde für den Arbeitsplatz zugeteilt, wobei die Wahrscheinlichkeit mit Entfernung zum Heimatort sinkt (siehe Kapitel 7.3.3). Personen im Pensionsalter verlassen den Haushalt an Werktagen während des Tages nicht.

6.5.4 Epidemiebeginn

Zum Abschluss der Initialisierungsphase wird eine bestimmte Anzahl an Personen zufällig infiziert. Diese Anzahl wird durch die Modellkalibrierung ermittelt.

6.5.5 Überblick

Darstellung 9 zeigt einen Überblick über die Initialisierung des Modells in Pseudocode.

```

while not enough communities exist:
    createCommunity();
    setCommunityLocation();
    createKindergarten();
    createElementarySchool();
    createSecondarySchoolWithACertainProbability();
    createFreetimeOrganisation();

while not enough busses exist:
    createBus();
    setBusLocation();

createCommunityMatrix();
addBussesToCommunityMatrix();

for all communities:
    createDistanceList();
    determineCommunitySize();

    while not enough persons in the community:
        createHousehold();
        setHouseholdLocation();
        determineHouseholdSize();

        while not enough persons in the household
            createPerson();
            determineAge();
            determineGender();
            setLocation();
            determineDayLocation();
            setBusIfNecessary();
            setContactRate();
            setIsVaccinatedWithACertainProbability();
            setIsNaturallyImmuneWithACertainProbability();

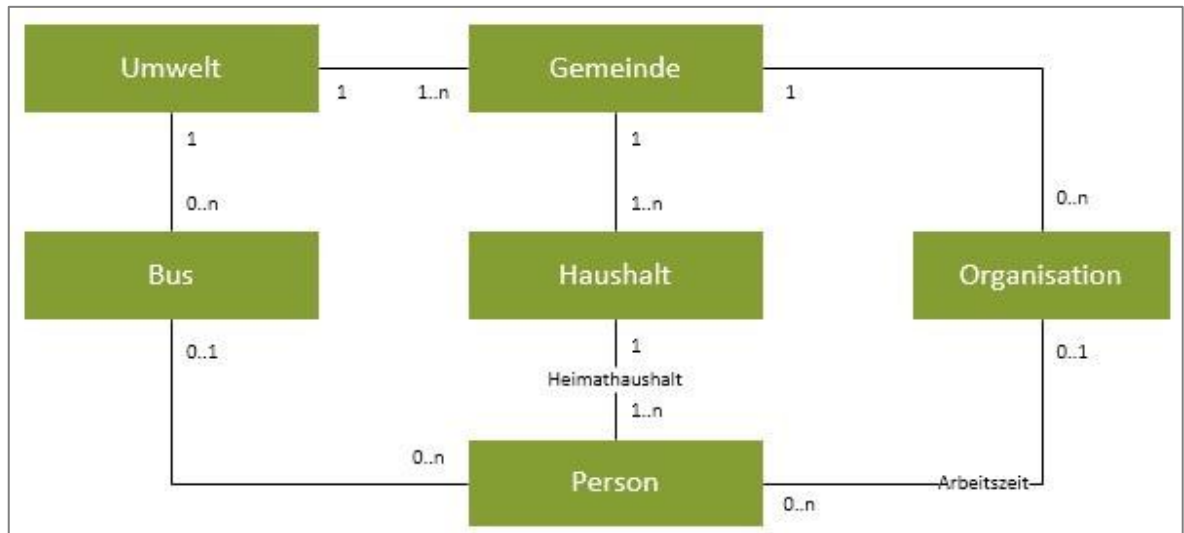
infectRandomPersons();

```

Darstellung 9: Initialisierung in Pseudocode
 Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin

Darstellung 10 zeigt, wie die Entitäten nach der Initialisierung zusammenhängen. Dabei sind die Verbindungen, die erst später entstehen, nicht eingezeichnet. Später entstehende Verbindungen sind zum einen solche, die beim ersten Simulationsdurchlauf erzeugt werden (zB die Liste der

Personen, mit denen man normalerweise im Bus Kontakt hat) oder solche, die während der Simulation erzeugt und auch wieder zerstört werden (zB ist eine Person, die in einem Haushalt auf Besuch ist, für diese Zeit in der Personenliste des Haushalts).



Darstellung 10: Zusammenhang der Entitäten nach der Initialisierung
Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin

6.6 Details: Input Data

Es gibt keine von der Zeit abhängigen Eingabedaten in diesem Modell.

6.7 Details: Submodels

6.7.1 Bewegung

Das Modell basiert ganz wesentlich darauf, dass sich Personen zwischen Haushalten, Bussen und Organisationen bewegen. In diesem Kapitel soll genau beschrieben werden, nach welchem Schema diese Bewegung stattfindet.

Überblick

Wie bereits erwähnt, ist ein Tag entweder ein Werktag oder ein Wochenende und besteht aus drei Haupttageszeiten (Nacht, Tag und Abend) und zwei Übergangszeiten (Nacht – Tag und Tag – Abend).

In der Nacht halten sich alle Personen in ihren jeweiligen Heimathaushalten auf. An Werktagen verlässt ein bestimmter Teil der Personen am Tag (= Arbeitszeit) ihren Haushalt und wechselt zu einem anderen Gebäude, zB vom Typ Schule oder Arbeitsplatz. Ob eine Person in eine Organisation wechselt oder nicht, wird bereits bei der Initialisierung bestimmt. Die Person verbringt dann jeden Tag unter der Woche am selben Ort. Am Abend eines Werktages oder am Tag eines

Wochenendtages (= Freizeit) befinden sich die Personen zu Hause, in einem fremden Haushalt oder in einem Gebäude vom Typ Freizeitorganisation. In der Nacht kehren alle Personen wieder in ihren Haushalt zurück.

Aufenthalt am Abend und am Wochenende (Freizeit)

Wo sich eine Person an Werktagen während des Abends und am Wochenende während des Tages aufhält, wird jeden Tag neu entschieden. Aufgrund von statistischen Daten (siehe Kapitel 7.3.4) wurde ermittelt, an welchen Orten Personen in ihrer Freizeit mit anderen Personen in Kontakt treten. Diese können zu „Besuche in fremden Haushalten“ und „Aufenthalte in Freizeitorganisationen“ zusammengefasst werden. Der Rest der Personen verbringt die Freizeit zu Hause (sie könnten dort aber Besuch von fremden Personen bekommen).

Wechselt die Person in einen fremden Haushalt oder eine Freizeitorganisation, wird zufällig eine Gemeinde für den Aufenthaltsort bestimmt (mit sinkender Wahrscheinlichkeit bei steigender Entfernung). Die Person wechselt dann entweder in die Freizeitorganisation oder einen zufälligen Haushalt dieser Gemeinde.

Übergangszeiten

Zwischen Nacht und Tag und zwischen Tag und Abend gibt es eine Übergangszeit, d.h. zwischen den Aufenthalten in Haushalt und Arbeitsplatz, Schule,... Falls sich eine Person an einem Werktag am Tag in einer anderen Gemeinde als in der Nacht aufhält, verwendet sie mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit einen Bus. Ob sie einen Bus verwendet, wird bereits bei der Initialisierung festgelegt. Die Person wechselt dann jeweils in der Übergangszeit in den Bus, alle anderen Personen bleiben in der Übergangszeit noch dort, wo sie zuvor waren.

Die Übergangszeiten sind nur an Werktagen relevant, da nie ein Bus verwendet wird, um zu einer Freizeitorganisation oder zu einem fremden Haushalt zu gelangen. An den Wochenenden bleiben die Personen in den Übergangszeiten dort, wo sie sich zuvor aufgehalten haben.

Tagesablauf einer Person an Werktagen im Überblick

Darstellung 11 zeigt den Tagesablauf einer Person an einem Werktag.

Nacht	→	if not already at home: moveHome();
Übergang	→	if person uses a bus: moveToBus();
Tag	→	if person leaves the house during workdays: moveToDayLocation();
Übergang	→	if person uses a bus: moveToBus();
Abend	→	calculateWhereToGoInTheFreetime (); moveToFreetimeLocation();

Darstellung 11: Überblick über den Tagesablauf an einem Werktag
Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin

Tagesablauf einer Person an Wochenendtagen

Darstellung 12 zeigt den Tagesablauf einer Person an einem Wochenendtag.

Nacht	→	if not already at home: moveHome();
Übergang	→	
Tag	→	calculateWhereToGoInTheFreetime (); moveToFreetimeLocation();
Übergang	→	
Abend	→	if not already at home: moveHome();

Darstellung 12: Überblick über den Tagesablauf an einem Wochenendtag
Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin

6.7.2 Krankheitsverlauf

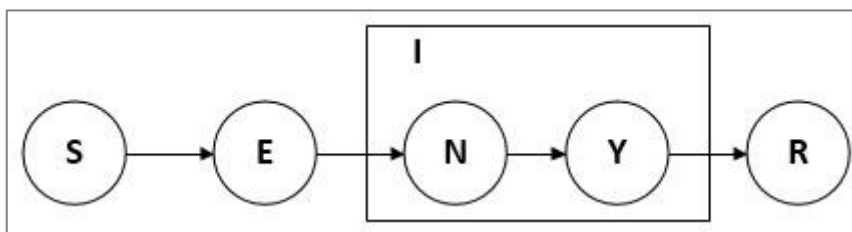
Der Krankheitsverlauf einer Person wird in einem Statusdiagramm dargestellt, aus dem auch der aktuelle Zustand der Person ermittelt werden kann. In der in Kapitel 2.4 erwähnten Literatur werden als Basis für den Krankheitsverlauf die Zustände aus dem klassischen SIR-Modell übernommen. Das ist auch in dieser Arbeit die Grundlage, allerdings wird das Modell erweitert, damit es für die später in den Experimenten verwendete Infektionskrankheit Influenza verwendet werden kann.

Zuerst erfolgt eine Erweiterung auf das SEIR-Modell, welches in diesem Bereich auch oft verwendet wird. Im SEIR-Modell wird der Status „exposed“ hinzugefügt. Dieser Status soll die Latenzzeit (auch Inkubationszeit, „Zeit zwischen der Ansteckung und dem Ausbrechen einer Infektionskrankheit“ [Bibliographisches Institut GmbH 2013c]) repräsentieren. (Lim 2004, S. 17) Da die Influenza

typischerweise eine solche Inkubationszeit aufweist (Centers for Disease Control and Prevention 2013a), wird dieser Status in das Modell aufgenommen.

Desweiteren wurde der Status „infectious“, also ansteckend, in zwei Substatus aufgeteilt: „zeigt Symptome“ und „zeigt keine Symptome“. Dieser Status wurde eingeführt, da eine mit Influenza infizierte Person bereits ansteckend sein kann, wenn sie noch keine Symptome zeigt (Centers for Disease Control and Prevention 2013b). Zudem wird diese Unterscheidung benötigt, da eine Person in diesem Modell mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit zu Hause bleibt, wenn sie Symptome zeigt.

Darstellung 13 zeigt nun das endgültige Modell, jeder Zustand ist dabei mit einem Kreis dargestellt. In Darstellung 14 sind die Zustände noch einmal zusammengefasst definiert.



Darstellung 13: Verlauf einer Krankheit mit allen Zuständen

Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin

S	susceptible	gesund, anfällig
E	exposed	infiziert, Krankheit ist aber noch nicht ausgebrochen
I	infectious	ansteckend, dieser Status ist in die Status N und Y aufgeteilt
N	no symptoms	ansteckend, zeigt aber keine Symptome
Y	symptoms	ansteckend, zeigt Symptome
R	recovered	erholt und immun

Darstellung 14: Zustände eines Krankheitsverlaufs

Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin

Der Übergang zwischen den Zuständen S und E erfolgt, wenn eine Person angesteckt wird. Der genaue Vorgang für eine Ansteckung wird in Kapitel 6.7.3 erläutert. Die restlichen Übergänge erfolgen nach Timeouts mit zufällig ermittelten Längen, wobei diese Längen von der jeweils simulierten Krankheit abhängen.

Für die Simulation der Influenza werden folgende Timeouts verwendet:

E → I (bzw. eigentlich zu N): Dreiecksverteilung mit $a = 0$, $b = 5$ und $c = 2$ (Tage).

N → Y: Ein Tag.

Y → R: Gleichverteilung mit $\min = 5$ und $\max = 10$ (Tage).

Da in diesem Bereich zu wenige Daten vorliegen, sind diese Timeouts Annahmen. Diese Annahmen wurden auf Basis der Informationen aus Kapitel 7.4.3 getroffen, die Autorin will aber darauf hinweisen, dass zur Absicherung dieser Daten noch ein Fachexperte hinzugezogen werden müsste.

6.7.3 Infektion

Eine Person hat wie zuvor beschrieben eine Kontaktrate, d.h. eine Anzahl, mit wie vielen Personen sie im Schnitt am Tag Kontakt hat. Diese Kontakte werden zufällig über den Tag verteilt. Daraus ergibt sich automatisch, dass Personen, mit denen man länger potentiell (potentiell heißt, dass sich die Person in dem Pool von Personen befindet, aus denen man im Falle eines Kontaktes zufällig eine auswählt) in Kontakt ist, auch eher angesteckt werden.

Dieser Pool von Personen besteht entweder aus allen Personen aus dem Haushalt oder der Freizeitorganisation, in dem/der man sich gerade befindet oder aus allen Personen aus der persönlichen Kontaktliste für den Bus oder die Organisation, in dem/der man sich gerade befindet.

Ein Kontakt funktioniert folgendermaßen: Eine Person, die sich gerade im Status „ansteckend“ befindet, wählt sich mit einer bestimmten Rate (Kontaktrate) eine Person aus ihrem Kontaktpool aus. Dann wird je nach Art und Dauer des Kontaktes (hängt beides mit bestimmten Verteilungen vom Aufenthaltsort ab) sowie dem Alter der infektiösen und der anzusteckenden Person eine Infektionswahrscheinlichkeit ermittelt. Mit dieser Wahrscheinlichkeit wird die Kontaktperson dann infiziert, wobei diese nur in den Status „exposed“ wechselt, wenn sie nicht geimpft ist und keine natürliche Immunität hat.

7 Datenquellen und Wahrscheinlichkeiten

Wie in der Einleitung beschrieben, soll das Modell auf Zensusdaten aus dem Bundesland Vorarlberg basieren. Dieses Kapitel gibt Aufschluss darüber, aus welchen Quellen die verwendeten Daten stammen und wie sie verwendet werden.

Da zum Zeitpunkt der Erstellung des Modells noch nicht alle benötigten Daten für das Jahr 2012 verfügbar waren, werden überall, wo es möglich ist, Daten von 2011 bzw. aus dem Schuljahr 2011/12 verwendet. Gibt es für das Jahr 2011 keine Daten, wird eventuell auf frühere Erhebungen zurückgegriffen.

7.1 Statistik Austria

Ein Großteil der Daten stammt von Statistik Austria, einer Anstalt öffentlichen Rechts des Bundes Österreich, welche im öffentlichen Interesse Statistiken erstellt und analysiert. (Statistik Austria 2013a)

Neben statischen Datentabellen und Berichten bietet Statistik Austria im Rahmen ihres Online-Auftritts auch das sogenannte „STATcube“, eine statistische Datenbank, an. Mit Hilfe dieser Datenbank können Benutzer und Benutzerinnen selbst Datentabellen aus den von Statistik Austria zur Verfügung gestellten Daten erstellen (siehe Statistik Austria 2013b für mehr Informationen). Die Tabellen werden dynamisch aus den vom Benutzer oder der Benutzerin gewünschten Spalten und Zeilen erstellt. Es ist darum nicht möglich, in dieser Arbeit einen direkten Verweis darauf anzugeben, stattdessen werden der Link zur Datenbank selbst und die getroffenen Einstellungen angegeben.

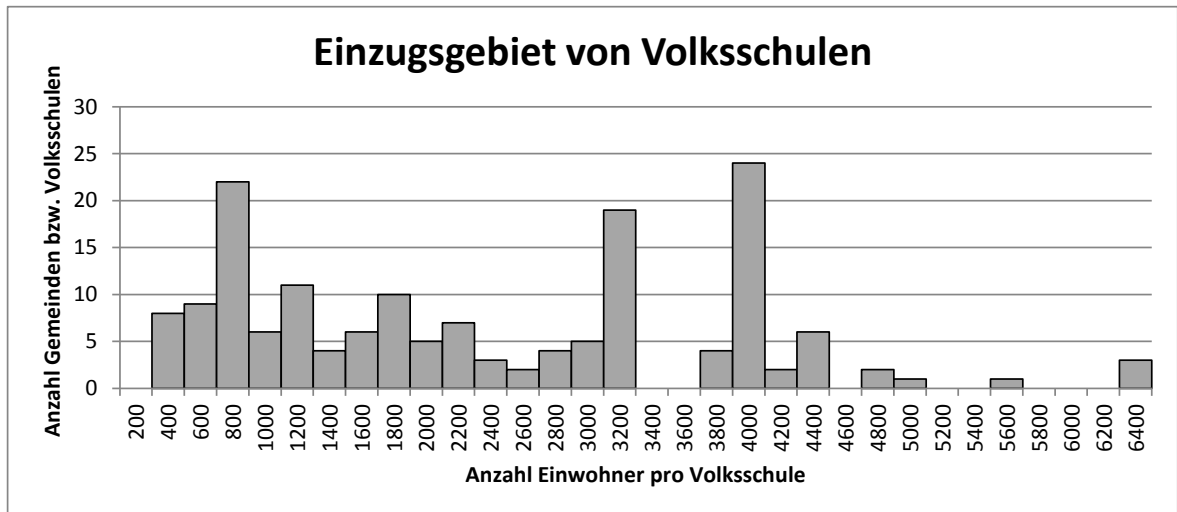
7.2 Daten zur Umwelt

7.2.1 Gemeindegröße, Volksschulen und Hauptschulen

Wie in Kapitel 6.2.2 beschrieben, ist in dieser Arbeit eine Gemeinde keine Gemeinde im eigentlichen Sinn, sondern ein örtlicher Zusammenschluss, der u.a. über einen Kindergarten und eine Volksschule verfügt.

Um herauszufinden, wie groß diese örtlichen Zusammenschlüsse gewählt werden müssen, wurden die Einzugsgebiete der Volksschulen in Vorarlberg, also die Anzahl an Personen, für die es eine Volksschule gibt, analysiert. Gibt es in einer Gemeinde genau eine Volksschule, wird die Anzahl der Einwohner und Einwohnerinnen der Gemeinde dafür hergenommen, ansonsten wird die Anzahl der Einwohner und Einwohnerinnen durch die Anzahl an Volksschulen dividiert und das Ergebnis

wiederum Anzahl-an-Volksschulen-Mal in die Daten aufgenommen. Darstellung 15 zeigt ein Histogramm mit den Ergebnissen dieser Analyse, also die Verteilung der Anzahl Personen auf eine Volksschule.



Darstellung 15: Histogramm über das Einzugsgebiet von Volksschulen

Zeigt die Häufigkeit der Anzahl an Personen, auf die es eine Volksschule gibt, in Klassen mit einer Breite von 200 Personen, im Diagramm ist auf der x-Achse die Obergrenze der jeweiligen Klassen angegeben.

Quelle: Eigene Ausarbeitung auf Basis der Daten von Amt der Vorarlberger Landesregierung – Landesstelle für Statistik o.J. und Amt der Vorarlberger Landesregierung – Landesstelle für Statistik 2013

Die Daten für die Anzahl an Einwohnern und Einwohnerinnen jeder Gemeinde kommen aus der Bevölkerungsstatistik des Landes Vorarlberg (Amt der Vorarlberger Landesregierung – Landesstelle für Statistik o.J.), mit welcher ähnlich wie bei der statistischen Datenbank von Statistik Austria eine dynamische Tabelle erzeugt werden kann. Es wurde dabei aus der Quartalsstatistik für das 1. Quartal 2011 die Anzahl an Hauptwohnsitzen selektiert. Die Daten für die Anzahl an Volksschulen in der jeweiligen Gemeinde kommen aus der Schulstatistik 2011/12 des Landes Vorarlbergs (Amt der Vorarlberger Landesregierung – Landesstelle für Statistik 2013, S. 16-20).

Aus der oben genannten Schulstatistik geht auch hervor, dass es im Schuljahr 2011/12 55 Hauptschulen (bzw. neue Mittelschulen, das wird in dieser Arbeit aber nicht unterschieden) gibt. Da eine Gemeinde nun auf Basis einer Volksschule definiert wird und es in Vorarlberg gesamt 164 Volksschulen gibt, hat bei 55 Hauptschulen jede Gemeinde mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,335366 eine Hauptschule. Es kann dabei nicht gesagt werden, dass sich die Hauptschulen in den größten Gemeinden befinden, der Standort der Hauptschulen ist eher geographisch und historisch bedingt. ZB hat die Gemeinde Lingenau eine Hauptschule, gehört aber nicht zu den 33,5366% der größten Gemeinden in Vorarlberg, hingegen hat die Gemeinde Ludesch keine Hauptschule, obwohl sie zu den größten Gemeinden gehören würde. (Vorarlberger Bildungsservice 2013 und Amt der

Vorarlberger Landesregierung – Landesstelle für Statistik o.J.) Darum hängt die Wahrscheinlichkeit für eine Hauptschule in diesem Modell nicht von der Größe der Gemeinde ab.

7.2.2 Unternehmen

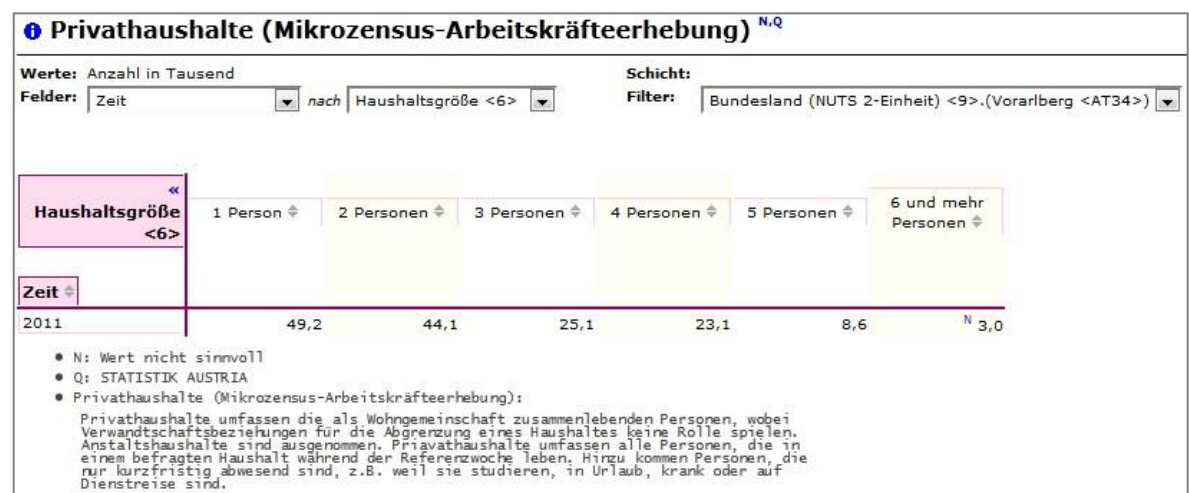
Die durchschnittliche Größe (nach der Anzahl an Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen) eines Betriebes wurde einer Veröffentlichung der Wirtschaftskammer Österreich entnommen (Wirtschaftskammer Österreich o.J.).

7.2.3 Haushaltsgröße

Die Daten für die Verteilung der Haushaltsgrößen stammen aus STATcube, im Speziellen aus der statistischen Datenbank über Privathaushalte (Statistik Austria o.J.a). Welche Werte für welche Felder ausgewählt wurden, ist in Darstellung 16 ersichtlich. Darstellung 17 zeigt die aus der Auswahl generierte Tabelle, wobei die Anzahl in Tausend dargestellt wird.

Feld	Ausgewählte(r) Wert(e)
Zeit	2011
Haushaltsmerkmale → Haushaltsgröße	1 Person, 2 Personen, 3 Personen, 4 Personen, 5 Personen, 6 und mehr Personen
Regionale Gliederung → Bundesland	Vorarlberg

Darstellung 16: Ausgewählte Felder für die Haushaltsgröße
Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin



Darstellung 17: Generierte Tabelle für Privathaushalte
Quelle: Statistische Datenbank von Statistik Austria

Die aus diesen Daten ermittelten Wahrscheinlichkeiten für eine bestimmte Haushaltsgröße sind in Darstellung 18 ersichtlich. „6 und mehr Personen“ wurden dabei auf genau sechs Personen reduziert.

Größe	Absolut	Wahrsch.
1	49.200	0,321359
2	44.100	0,288047
3	25.100	0,163945
4	23.100	0,150882
5	8.600	0,056172
6	3.000	0,019595

Darstellung 18: Wahrscheinlichkeiten für eine bestimmte Haushaltsgröße

Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin basierend auf der statistischen Datenbank von Statistik Austria

7.3 Daten zu den Personen

7.3.1 Alter und Geschlecht

Die Altersverteilung der Personen beruht auf den Daten zur Bevölkerungsstruktur von Statistik Austria, im Speziellen auf der Tabelle „Jahresdurchschnittsbevölkerung 2011 nach Alter und Bundesland“ (Statistik Austria 2012a). Dieser Tabelle wurden die Daten für Vorarlberg entnommen.

2011 gab es in Vorarlberg 182.642 Männer (Statistik Austria 2012b) und 188.191 Frauen (Statistik Austria 2012c), d.h. 50,74818% der Bevölkerung sind weiblich und 49,25182% sind männlich.

7.3.2 Aufenthaltsort während der Arbeitszeit

Der Aufenthaltsort während des Arbeitszeit (= an Werktagen während des Tages) hängt wie in Kapitel 6.5.3 beschrieben hauptsächlich vom Alter einer Person ab. Personen im Säuglings- und Pensionsalter sind immer zu Hause, Kinder bis 15 Jahre befinden sich in Kindergärten, Volks- oder Hauptschulen. Für Personen im Alter zwischen 15 und 64 Jahren wird aufgrund einer bestimmten Verteilung zufällig ermittelt, ob sie das Haus verlassen und in eine Organisation, also an einen Arbeitsplatz, wechseln oder nicht.

Diese Verteilung basiert auf der statistischen Datenbank der Mikrozensus-Arbeitskräfteerhebung aus STATcube (Statistik Austria o.J.b). Im Rahmen dieser Arbeitskräfteerhebung wurde das Lebensunterhaltskonzept abgefragt. Die Teilnehmer und Teilnehmerinnen der Umfrage gaben selbst an, welcher sozialen Gruppe sie angehören. Für die Erstellung der dynamischen Tabelle in der statistischen Datenbank wurden die in Darstellung 19 angegebenen Felder und Werte verwendet. Die Abfrage ergab dann die in Darstellung 20 dargestellte Tabelle.

Feld	Ausgewählte(r) Wert(e)
Zeit	2011
Demographische Merkmale → Geschlecht	männlich, weiblich
Demographische Merkmale → Alter	15 bis 24 Jahre, 25 bis 34 Jahre, 35 bis 44 Jahre, 45 bis 55 Jahre, 55 bis 64 Jahre
Erwerbsstatus → Lebensunterhalt	Erwerbstätig, In Elternkarenz, Arbeitslos, In Pension, Dauerhaft arbeitsunfähig, Haushaltsführend, Schüler/Schülerin und Studierende ab 15 Jahren
Regionale Gliederung → Bundesland	Vorarlberg

Darstellung 19: Felder und Werte für die Lebensunterhaltsstatistik

Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin

Mikrozensus-Arbeitskräfteerhebung Jahresdaten ^{N,Q,S}

Werte: Personen in Tausend
 Felder: Jahr, Geschlecht <2> und Alter <14> [teilw. ABO] nach
 Schicht: Bundesland (NUTS 2-Einheit) <9> (Vorarlberg <AT34>)
 Filter: Lebensunterhalt (LUK) <10>

Jahr	Geschlecht <2>	Alter <14> [teilw. ABO]	Lebensunterhalt (LUK) <10>	Erwerbstätig	In Elternkarenz	Arbeitslos	In Pension	Dauerhaft arbeitsunfähig	Haushaltführend	Schüler/Schülerin, Studierende ab 15 Jahren
2011	männlich	15 bis 24 Jahre		14,2	-	N 1,1	N 0,0	N 0,3	N 0,0	7,5
		25 bis 34 Jahre		22,4	N 0,1	N 0,9	N 0,0	N 0,3	-	N 0,5
		35 bis 44 Jahre		26,8	N 0,0	N 0,7	N 0,1	N 0,4	N 0,1	-
		45 bis 54 Jahre		26,2	-	N 0,8	N 0,8	N 0,7	N 0,1	-
		55 bis 64 Jahre		10,5	-	N 0,6	8,5	N 0,6	N 0,1	-
		65 Jahre und älter		N 0,9	-	N 0,0	22,8	N 0,1	N 0,1	-
	weiblich	15 bis 24 Jahre		11,0	N 0,9	N 1,4	N 0,0	-	N 0,7	9,0
		25 bis 34 Jahre		15,2	S 3,6	N 1,1	N 0,1	N 0,3	S 3,4	N 0,7
		35 bis 44 Jahre		19,6	N 1,0	N 0,8	N 0,2	N 0,5	S 5,6	N 0,1
		45 bis 54 Jahre		20,3	N 0,0	N 0,9	N 0,7	N 0,4	S 5,5	N 0,1
		55 bis 64 Jahre		S 5,9	-	N 0,3	9,8	N 0,3	S 4,6	-
		65 Jahre und älter		N 0,2	-	N 0,0	25,5	N 0,1	S 5,1	-

• N: Wert nicht sinnvoll
 • Q: STATISTIK AUSTRIA
 • S: Stichprobenfehler
 • Mikrozensus-Arbeitskräfteerhebung Jahresdaten:

Darstellung 20: Generierte Tabelle für das Lebensunterhaltskonzept

Quelle: Dynamische Datenbank der Statistik Austria

Aus der Tabelle wurden die Werte von Erwerbstätig und Schüler/Schülerin, Studierende ab 15 Jahren zur Gruppe „verlässt das Haus am Tag“ und die restlichen Werte zur Gruppe „verlässt das Haus am Tag nicht“ zusammengefasst. Aus diesen Werten ergeben sich die Wahrscheinlichkeiten für eine Person eines bestimmten Alters und eines bestimmten Geschlechts den Tag zu Hause oder in einer Organisation zu verbringen.

7.3.3 Auswahl der Gemeinde für den Aufenthaltsort am Tag

Verlässt eine Person an Werktagen während des Tages das Haus, wird ermittelt, in welche Organisation in welcher Gemeinde sie wechseln soll. Die Wahrscheinlichkeit soll dabei mit

steigender Entfernung zwischen der Heimatgemeinde und der Gemeinde, in der sich die Organisation befindet, sinken.

Als Grundlage für diese Wahrscheinlichkeiten wurden Daten aus einem Artikel der Vorarlberger Nachrichten (Gasser 2013) entnommen, der auf Daten von Statistik Austria aus dem Jahr 2010 beruht (auf die Daten konnte leider nicht direkt zugegriffen werden, da sie nur in einem kostenpflichtigen Abo erhältlich sind). Im Artikel werden für jede Gemeinde aus Vorarlberg u.a. die Anzahl an Erwerbstätigen und die Anzahl an Nicht-Pendlern angegeben. Da für diese Arbeit der Begriff Gemeinde anders definiert wurde (Gemeinde = örtlicher Zusammenschluss mit einer Volksschule, siehe Kapitel 6.2.2), können nur die Daten von den realen Gemeinden verwendet werden, die nur eine Volksschule haben. Aus den Daten ergibt sich eine Wahrscheinlichkeit von 0,305777, dass ein Einwohner oder eine Einwohnerin einer Gemeinde auch in dieser Gemeinde arbeitet, der Rest pendelt in eine andere Gemeinde.

Sieben von zehn Vorarlbergern und Vorarlbergerinnen pendeln weniger als 15 km (Gasser 2013), darum wird angenommen, dass 70% der Pendler in eine der acht am nächsten zur Heimatgemeinde liegenden Gemeinden pendeln (mit gleicher Wahrscheinlichkeit für alle acht Gemeinden), die restlichen 30% wechseln in eine weiter entfernte Gemeinde (mit gleicher Wahrscheinlichkeit für alle restlichen Gemeinden).

7.3.4 Aufenthaltsort während der Freizeit

Wie sich Personen während ihrer Freizeit beschäftigen, wurde den Daten der Zeitverwendungserhebung 2008/09 von Statistik Austria entnommen. Im Rahmen dieser im Auftrag des Bundeskanzleramts/Bundesministeriums für Frauen und öffentlichen Dienst durchgeführten Erhebung wurden Personen auf freiwilliger Basis dazu aufgefordert, anzugeben, welche Tätigkeiten sie während eines Tages wie lange durchführen. (Statistik Austria 2013c)

Aus der Erhebung sind die Tabellen, die die durchschnittliche Zeitverwendung von Montag bis Freitag (Statistik Austria 2010a) und die durchschnittliche Zeitverwendung von Samstag bis Sonntag (Statistik Austria 2010b) enthalten, relevant.

Aus diesen Tabellen wurden die Daten verwendet, die die Freizeit betreffen und bei denen die Person Kontakt mit anderen Personen hat. Es sind dies die Kategorien „Besuche bei/von Freunden/Verwandten“, „Ausgehen in Lokale, private Partys“, „Formelle Freiwilligenarbeit“ und „Besuch von Vergnügungsveranstaltungen“. Die „Formelle Freiwilligenarbeit“ beinhaltet nur die Freiwilligenarbeit, die in einer Organisation, also zB einem Verein, durchgeführt wird. Darstellung 21 zeigt die benötigten Daten zusammengefasst.

Ausgewählte Haupttätigkeiten	Männer			Frauen		
	Ø	Anteil der Ausübenden	Ø Ausübende	Ø	Anteil der Ausübenden	Ø Ausübende
	Std:Min	in %	Std:Min	Std:Min	in %	Std:Min
Montag-Freitag						
Besuche bei/von Freunden/Verwandten	00:18	19,3	01:32	00:28	28,6	01:39
<i>Besuch fremder Haushalt (50 %)</i>		<u>9,6</u>			<u>14,3</u>	
Ausgehen in Lokale, private Partys	00:17	13,2	02:12	00:13	10,1	02:11
Formelle Freiwilligenarbeit	00:05	3,1	02:27	00:03	1,9	02:34
Besuch von Vergnügungsveranstaltungen	00:02	1,3	02:25	00:01	1,0	02:25
<i>Besuch Freizeitorganisation</i>		<u>17,6</u>			<u>13,0</u>	
Samstag-Sonntag						
Besuche bei/von Freunden/Verwandten	00:50	36,3	02:18	00:46	35,8	02:09
<i>Besuch fremder Haushalt (50 %)</i>		<u>18,1</u>			<u>17,9</u>	
Ausgehen in Lokale, private Partys	00:36	20,8	02:55	00:22	12,6	02:54
Formelle Freiwilligenarbeit	00:06	3,2	03:09	00:00	0,0	00:00
Besuch von Vergnügungsveranstaltungen	00:14	5,8	04:10	00:11	4,7	03:50
<i>Besuch Freizeitorganisation</i>		<u>29,8</u>			<u>17,3</u>	

Darstellung 21: Zeitverwendung in der Freizeit

Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin basierend auf Statistik Austria 2010a und Statistik Austria 2010b

Die Wahrscheinlichkeit für „Besuche bei/von Freunden/Verwandten“ wird halbiert, d.h. die Hälfte bekommt Besuche (verlässt das Haus also nicht), die andere Hälfte geht jemanden besuchen (verlässt das Haus). Die restlichen Wahrscheinlichkeiten werden jeweils summiert und zu „Besuch einer Freizeitorganisation“ zusammengefasst.

Adäquat zum Arbeitsplatz, d.h. mit sinkender Wahrscheinlichkeit für größere Entfernungen, wird zuerst eine Gemeinde ausgewählt. Der konkrete Haushalt oder die Freizeitorganisation innerhalb der Gemeinde wird dann zufällig ausgewählt.

7.3.5 Verwendung von öffentlichen Verkehrsmitteln

Die Daten zur Benützung von öffentlichen Verkehrsmitteln basieren auf dem Geschäftsbericht des Vorarlberger Verkehrsverbundes für das Jahr 2011 (Verkehrsverbund Vorarlberg 2012).

Laut Geschäftsbericht wurden im Jahr 2011 46.226 Jahreskarten verkauft (Verkehrsverbund Vorarlberg 2012, S. 36), wobei die Umsätze zu 54% Erwachsenen und zu 11% Jugendlichen zugeteilt sind. Die restlichen 35% fallen auf Schüler, Senioren usw. (Verkehrsverbund Vorarlberg 2012, S. 33)

Da in diesem Modell nur die Personen öffentliche Verkehrsmittel verwenden, die arbeiten oder in die Schule gehen, müssen Senioren nicht beachtet werden (diese verlassen das Haus nur in der Freizeit, wofür kein Bus verwendet wird). Schüler oder Personen bis 18 Jahre verwenden für den Wechsel einer Gemeinde auf jeden Fall ein öffentliches Verkehrsmittel. Werden Schüler und Senioren weggelassen, bleiben die Daten für Jugendliche und Erwachsene übrig, die verwendet

werden können, um zu ermitteln, wer im Alter von 18 bis 65 Jahren öffentliche Verkehrsmittel verwendet. Da diese Daten leider nicht genauer nach Alter aufgeschlüsselt sind, wird die Annahme getroffen, dass alle dieser Jahreskarten der Gruppe der 18- bis 65-jährigen Personen zugeteilt sind.

Von den 46.226 Jahreskarten fallen also 65% auf Jugendliche und Erwachsene, d.h. 30.047 Karten. In der Altersgruppe der 18- bis 65-jährigen gibt es 240.326 Personen, d.h. es benutzen 12,502601% der Personen ein öffentliches Verkehrsmittel.

7.3.6 Anzahl der sozialen Kontakte pro Tag

Die Frage, wie viele soziale Kontakte eine Person pro Tag hat, ist ein wichtiger Faktor für die Ausbreitung der Epidemie. Da für Österreich oder Vorarlberg in diesem Bereich keine Daten zur Verfügung stehen, wurde auf eine europaweite Studie zurückgegriffen.

Für die Studie wurden 7.290 Teilnehmer und Teilnehmerinnen aus verschiedenen europäischen Ländern dazu aufgefordert, ihre sozialen Kontakte festzuhalten und zu charakterisieren. Die Ergebnisse wurden im Artikel „Social Contacts and Mixing Patterns Relevant to the Spread of Infectious Diseases“ veröffentlicht (Mossong 2008).

Darstellung 22 zeigt die durchschnittliche Anzahl an täglichen Kontakten nach Altersgruppen.

Category	Covariate	Number of Participants	Mean (Standard Deviation) of Number of Reported Contacts
Age of participant, y	0–4	660	10.21 (7.65)
	5–9	661	14.81 (10.09)
	10–14	713	18.22 (12.27)
	15–19	685	17.58 (12.03)
	20–29	879	13.57 (10.60)
	30–39	815	14.14 (10.15)
	40–49	908	13.83 (10.86)
	50–59	906	12.30 (10.23)
	60–69	728	9.21 (7.96)
	70+	270	6.89 (5.83)
	Missing value	65	9.63 (9.05)

Darstellung 22: Anzahl an Kontakten pro Tag nach Alter
Quelle: Auszug aus Mossong 2008

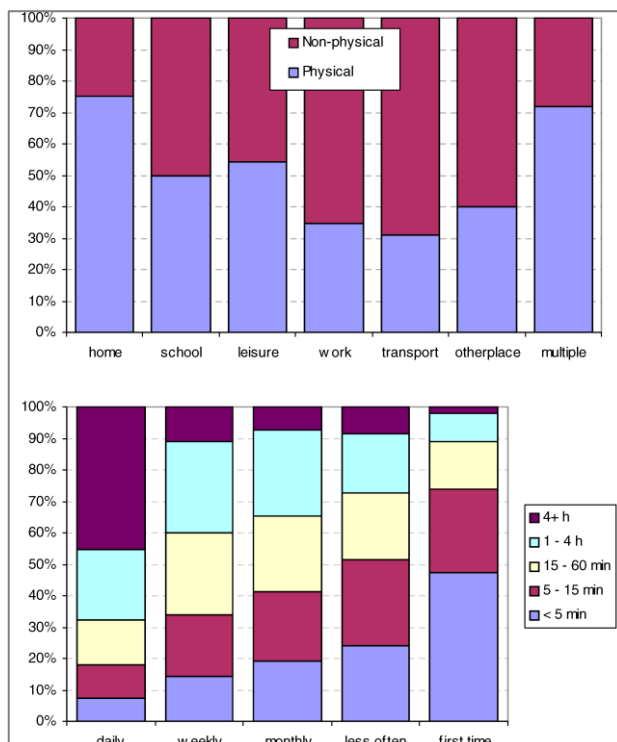
7.3.7 Dauer und Intensität eines sozialen Kontaktes

Da die Wahrscheinlichkeit einer Infektion bei einem Kontakt mit einer ansteckenden Person von der Dauer dieses Kontaktes abhängt, werden für bestimmte Aufenthaltsorte bestimmte Längen von Kontakten angenommen. Die Daten dazu stammen, wie schon die Anzahl an sozialen Kontakten, aus Mossong 2008. Zusätzlich sind die Kontakte je nach Art des Aufenthaltsort entweder physisch (d.h. Kontakt mit Berührung) oder nicht-physisch (Kontakt ohne Berührung).

Darstellung 23 zeigt eine Übersicht über die Daten. Vom oberen Teil der Grafik werden die Anteile an physischen und nicht-physischen Kontakten für Haushalte, Schulen, Arbeitsplätze und Transportmittel verwendet.

Aus dem unteren Teil werden die Verteilungen für die Dauer folgendermaßen verwendet:

- daily: Wird für Kontakte im Heimathaushalt verwendet.
- weekly: Wird für Kontakte in Bussen, Kindergärten, Schulen und Arbeitsplätzen verwendet.
- monthly: Wird für Kontakte in Freizeitorganisationen verwendet.



Darstellung 23: Art und Dauer eines Kontaktes

Art eines Kontaktes nach Aufenthaltsort und Dauer eines Kontaktes nach Häufigkeit des Kontaktes mit einer Person

Quelle: Mossong 2012

7.3.8 Krankenstand

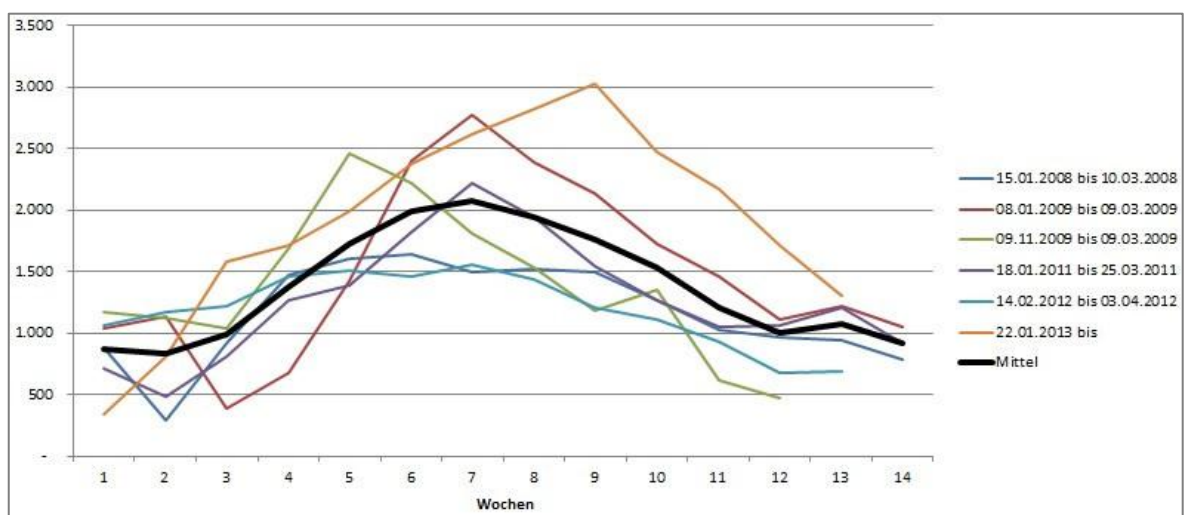
Für das Modell ist es relevant, ob jemand seinen Heimathaushalt verlässt, wenn er Symptome einer Krankheit zeigt, oder nicht. Zu diesem Thema gibt es Erhebungen, zB hat die Arbeiterkammer Oberösterreich im Zuge des Gesundheitsmonitors (Stand April 2012) erhoben, dass 42% der unselbständig Beschäftigten zumindest einmal innerhalb eines halben Jahres krank zur Arbeit gehen, obwohl zu Hause bleiben gesundheitlich vorteilhafter gewesen wäre. (Kammer für Arbeiter und Angestellte für Oberösterreich 2012, S. 33-34) Da in diesen Erhebungen aber alle Arten von Krankheiten, also auch solche psychischer Natur, miteinbezogen werden, kann diese Zahl nicht verwendet werden.

Stattdessen wird einfach angenommen, dass alle Personen, die schwere Symptome zeigen – das sind 66,9% (Carrat 2008) – zu Hause bleiben.

7.4 Daten zur Grippe

7.4.1 Grippeepidemie-Verläufe in Vorarlberg

Am Anfang der Ausarbeitungen zu dieser Arbeit wurde als Ziel definiert, dass ein Grippeepidemie-Verlauf in Vorarlberg simuliert wird und dieser den tatsächlichen historischen Daten aus Vorarlberg sehr nahe kommen soll. Für den Verlauf von Grippeepidemien hat die Vorarlberger Gebietskrankenkasse auf Anfrage statistische Daten zu den Krankenstandszugängen im Zusammenhang mit Grippeepidemie-Warnungen bereitgestellt. Die Daten umfassen Grippesaisonen von 2008 bis 2013 mit Zahlen zu jeweils vier Wochen vor und neun Wochen nach der Ausgabe einer offiziellen Grippewarnung. Darstellung 24 zeigt eine grafische Ausarbeitung dieser Zahlen.



Darstellung 24: Krankenstandszugänge bei der VGKK

Zusätzlich wurden die Kurven gemittelt (dicke schwarze Linie)

Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin basierend auf Daten von der VGKK

Es ist deutlich ersichtlich, dass die Verläufe in den verschiedenen Jahren sehr stark variieren und es auch kein eindeutig erkennbares Muster gibt. Trotzdem soll versucht werden, das Modell auf einen in Länge und Intensität ähnlichen Verlauf zu kalibrieren. Dazu wurden die Kurven im ersten Schritt gemittelt (dicke schwarze Linie in Darstellung 24).

Im nächsten Schritt wurde folgende Überlegung getroffen: In Vorarlberg gibt es gesamt 370.833 Einwohner und Einwohnerinnen, im Model gibt es ca. 66.500 Personen, d.h. ca. 18 %. Folglich muss sich auch die Kurve, die erreicht werden soll, dementsprechend weiter unten befinden.

Die Daten von der VGKK enthalten nur die Krankenstandszugänge, nicht die Zugänge an Infektionen. Es wird angenommen, dass Personen, die sich im Krankenstand befinden, aufgrund der Symptome zu Hause bleiben. Folglich sind diese mit den 66,9 % der Personen zu vergleichen, die im Modell aufgrund von Symptomen zu Hause bleiben. Um nun die Kurve zu erhalten, welche die Gesamtanzahl an Neuzugängen bei Symptomen repräsentiert, muss die Ausgangskurve auf 100% hochgerechnet werden.

Daraus entsteht ein Epidemie-Verlauf mit folgenden Eigenschaften:

- Die Epidemie dauert 14 Wochen, wobei erst ab 232 Neuzugängen pro Woche gezählt wird und nur so lange, bis es wieder unter 246 Neuzugänge pro Woche gibt.
- Der Höhepunkt an Neuzugängen findet in der siebten Woche statt.
- Der Höhepunkt an Neuzugängen beträgt 557.

Ein ähnlicher Verlauf soll mit Hilfe der Kalibrierung des Modells erreicht werden, siehe Kapitel 9.1.

7.4.2 Anzahl an geimpften Personen

Laut der Österreichischen Gesundheitsbefragung 2006/2007 sind 16% der Vorarlberger und Vorarlbergerinnen gegen Influenza geimpft. (Statistik Austria 2008)

7.4.3 Statistische Daten zum Verlauf einer Influenzaerkrankung

Für den genauen Verlauf einer Influenza werden Daten für die Dauer einzelner Krankheitszustände benötigt. Die Inkubationszeit beträgt typischerweise ein bis vier Tage, mit einem Durchschnitt von zwei Tagen. Ansteckend ist eine infizierte Person ab dem Tag vor bis fünf bis zehn Tage nach dem Auftreten von Symptomen. (Centers for Disease Control and Prevention 2013a)

7.4.4 Wahrscheinlichkeit für eine Infektion

Für die Wahrscheinlichkeit einer Infektion im Falle eines Kontaktes mit einer ansteckenden Person wurden Daten aus Haber 2007 verwendet, welche in Darstellung 25 ersichtlich sind.

Age group of infectious (<i>j</i>), y	Age group of susceptible (<i>i</i>), y			
	0–4	5–18	19–64	>65
0–4	0.00059	0.00062	0.00033	0.00080
5–18	0.00058	0.00061	0.00033	0.00080
19–64	0.00057	0.00053	0.00032	0.00080
>65	0.00057	0.00054	0.00029	0.00102

Darstellung 25: Wahrscheinlichkeiten für eine Infektion
Aufgegliedert nach Altersgruppen, für jede Kontaktminute
Quelle: Haber 2007

Die Wahrscheinlichkeiten in der Darstellung gelten pro Kontaktminute, wobei die effektive Infektionswahrscheinlichkeit mit $\exp(p_{ij} * t)$ mit p als Wahrscheinlichkeit und t als Zeit in Minuten berechnet werden kann.

In Haber 2007 wird nicht zwischen physischem und nicht-physischem Kontakt unterschieden. Da diese Unterscheidung in dieser Arbeit aber getroffen wird, wird die Annahme aus Van den Dool 2009 verwendet, dass physischer Kontakt die Infektionswahrscheinlichkeit verdoppelt.

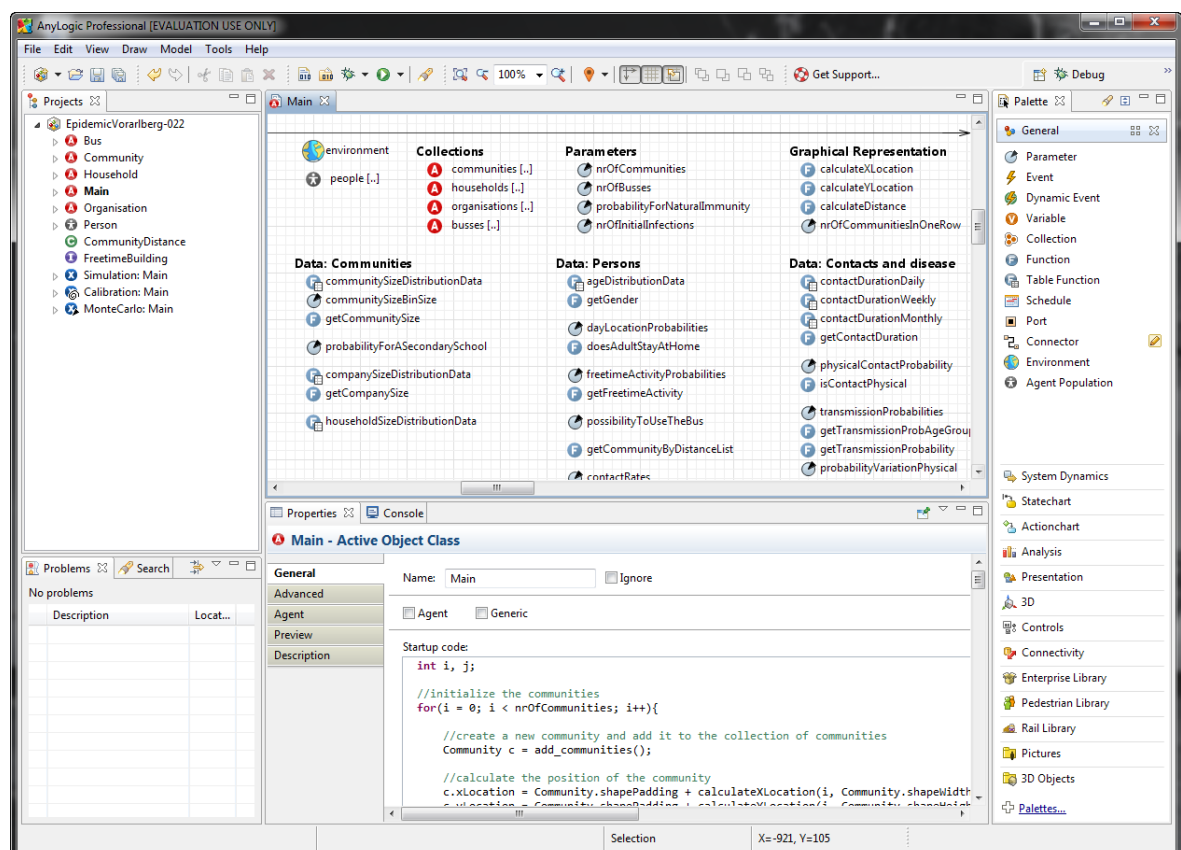
8 Umsetzung mit AnyLogic

In diesem Kapitel wird die Umsetzung des Modells mit AnyLogic beschrieben. Es wird dabei auch auf den Hilfe-Bereich von AnyLogic verwiesen (AnyLogic o.J.e). Da von dort keine Links auf konkrete Artikel angegeben werden können, wird bei der Quellenangabe das Suchwort angegeben, dass in der Hilfe verwendet wurde, um zum jeweiligen Artikel zu gelangen.

8.1 AnyLogic

Darstellung 26 zeigt den grundsätzlichen Aufbau von AnyLogic. Im linken Bereich werden die Projekte und die dazugehörigen Klassen angezeigt. In der Mitte wird im oberen Bereich der grafische Editor angezeigt. Klickt man auf ein Element im grafischen Editor, werden im unteren Teil die Eigenschaften dieses Elements eingeblendet.

Auf der rechten Seite ist eine Palette mit allen Elementen, die in den grafischen Editor hineingezogen werden können.



Darstellung 26: Aufbau von AnyLogic

Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin auf Basis von Screenshots aus AnyLogic

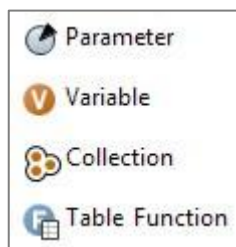
8.2 Verwendung von vordefinierten Elementen

8.2.1 Active Objects

Der Grundbaustein für Modelle in AnyLogic sind Active Objects, das sind Instanzen von Kindern der Active Object-Klasse. Diese Objekte werden verwendet, um Dinge der realen Welt zu modellieren, zB Personen, Gebäude oder Autos. (AnyLogic o.J.e, Suchwort: „Active Object“) Jede Entität des in Kapitel 6 beschriebenen Modells ist als Active Object umgesetzt.

8.2.2 Parameters, Variables, Collections und Table Functions

Zur Datenhaltung werden vier verschiedene Elemente verwendet: Parameter, Variable, Collection und Table Function. Darstellung 27 zeigt die Symbole, die in AnyLogic für die jeweiligen Elemente verwendet werden.



Darstellung 27: Symbole aus AnyLogic

Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin auf Basis von Screenshots aus AnyLogic

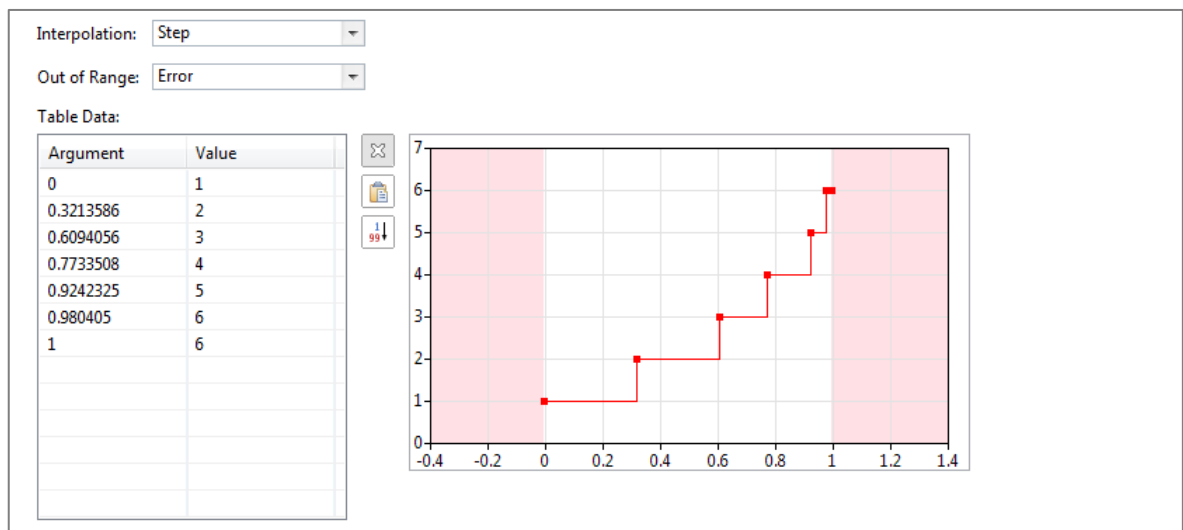
Parameter und Variable sind klassische Elemente, um Daten eines Active Objects zu halten. Beide können sowohl für primitive Datentypen als auch für Java-Klassen verwendet werden. Wie von AnyLogic empfohlen (AnyLogic o.J.e, Suchwort: „Parameters and Variables“) werden Variablen für Größen verwendet, die sich während der Simulation kontinuierlich verändern, zB die Anzahl an infizierten Personen. Parameter werden hingegen für Größen, die sich während der Simulation gar nicht oder nur zu bestimmten Zeitpunkten verändern (zB die Anzahl an Gemeinden), genutzt. Eine Ausnahme hiervon sind Größen, die zu einer Klasse und nicht zu einem Objekt gehören. Für diese wird immer eine Variable verwendet, da nur eine Variable als `static` deklariert werden kann.

Eine Collection ist eine Art von Variable, die eine Gruppe von Elementen repräsentiert, zB eine Liste von Gemeinden. Collections basieren auf den Java-Klassen für Listen oder Kollektionen (ArrayList, TreeMap usw.) und können auch wie diese verwendet werden. (AnyLogic o.J.e, Suchwort: „Collections“)

Eine Table Function ist eigentlich eine Art Funktion, kein typisches Element zur Datenhaltung. Sie eignet sich aber sehr gut, um diskrete Wahrscheinlichkeitsverteilungen und empirische funktionale Zusammenhänge abzubilden. Argument-Werte-Paare werden in eine Tabelle eingefügt und können dann interpoliert werden. Wird die Funktion aufgerufen, wird der Wert in der Argumenten-Liste der

Tabelle gesucht und der (eventuell interpolierte) zugehörige Wert zurückgegeben. (AnyLogic o.J.e, Suchwort: „Table Functions“)

Darstellung 28 zeigt als Beispiel die Verwendung einer Table Function mit Step-Interpolierung zur Ermittlung einer zufälligen Haushaltsgröße. In das Feld `Table Data` werden die kumulierten Wahrscheinlichkeiten und die zugehörigen Haushaltsgrößen eingegeben, die Wahrscheinlichkeiten beginnen dabei bei 0. Wird die Funktion nun mit einer gleichverteilten Zufallszahl als Übergabeargument aufgerufen, bekommt man die Stufe, auf der diese Zufallszahl liegt, wobei der Wert der Stufe verwendet wird, der ihren Anfang darstellt. Im Beispiel unten wird zB eins zurückgegeben, wenn die Zufallszahl zwischen 0 und 0,3213586 liegt. Auch große Mengen an Daten können so einfach verwendet werden. Ein Vorteil dabei ist auch, dass die Daten direkt aus der Zwischenablage in die Tabelle kopiert werden können.



Darstellung 28: Table Function für die Verteilung der Haushaltsgrößen
Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin auf Basis von Screenshots aus AnyLogic

8.2.3 Statecharts

Zur Ermittlung des Status eines Agenten werden Statecharts verwendet. Diese ermöglichen eine Abbildung von komplexen Statusveränderungen, die über verschiedene Zugänge ausgelöst werden können. Statecharts bestehen aus States und Transitions, also Übergängen zwischen den States. (AnyLogic o.J.e, Suchwort: „Statecharts“)

Die Übergänge zwischen verschiedenen States können u.a. durch folgende Aktionen ausgelöst werden:

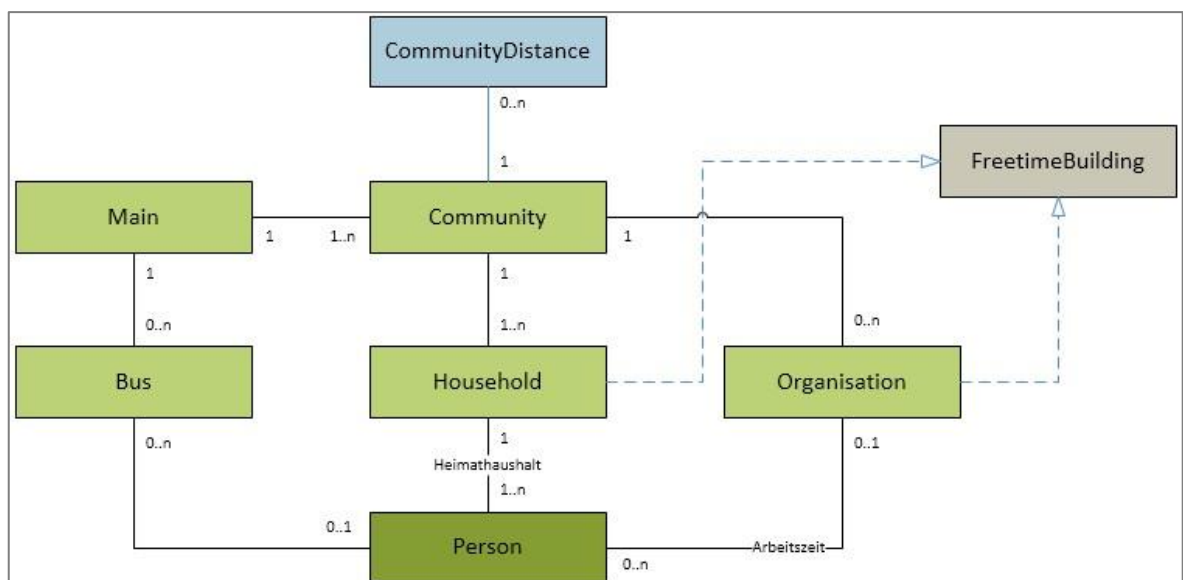
- Rate: Der Übergang wird mit einer bestimmten Rate ausgelöst (Zufallsübergänge).
- Condition: Der Übergang wird ausgeführt, wenn eine bestimmte Bedingung zutrifft.
- Message: Der Übergang wird ausgeführt, wenn eine bestimmte Nachricht beim Statechart eintrifft.

(AnyLogic o.J.e, Suchwort: „Transition“)

Statusdiagramme sind auch sehr nützlich, da sie visuell dargestellt werden, d.h. man sieht immer, in welchem Status sich ein Objekt gerade befindet.

8.3 Grundsätzlicher Aufbau

Darstellung 29 zeigt die Klassen und Interfaces, die für das Modell erstellt wurden, wobei Active Objects hellgrün, Active Objects mit der zusätzlichen Eigenschaft „Agent“ dunkelgrün, normale Java-Klassen hellblau und Interfaces grau dargestellt werden.



Darstellung 29: Klassen und Interfaces des Modells

Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin

Die Klasse `Main` steht dabei für die Umwelt und die Klassen `Community`, `Bus`, `Household`, `Organisation` und `Person` stehen für die bereits im Kapitel 6.2 beschriebenen Entitäten. Da sowohl Haushalte als auch Organisationen als Aufenthaltsort für die Freizeit in Frage kommen, werden die beiden Klassen `Household` und `Organisation` mit dem Interface `FreetimeBuilding` zusammengefasst. Die Klasse `CommunityDistance` ist eine Hilfsklasse, mit der einzelne Einträge der Distanzliste, die jede Gemeinde hat, gehalten werden.

Das Interface `FreetimeBuilding` wird benötigt, um Haushalte und Organisationen zusammenzufassen, da beide ein Aufenthaltsort für die Freizeit sein können. Klassen, die dieses

Interface implementieren, müssen eine Reihe von Methoden bereitstellen, die u.a. für das Wechseln in die Freizeitorganisation benötigt werden.

Zusätzlich zu den genannten Klassen gibt es auch Klassen für die Experimente, die definiert wurden. Diese werden in Kapitel 9 beschrieben.

8.4 Umsetzung der Entitäten































Alle Entitäten sind als Active Objects umgesetzt, wobei jede Entität außer der Umwelt über eine grafische Repräsentation verfügt (verschiedene Rechtecke bzw. Punkte), mit der sie in der Umwelt dargestellt wird.

Die grundsätzlichen Eigenschaften der einzelnen Entitäten wurden bereits in Kapitel 6.2 beschrieben, in den folgenden Kapiteln werden nur noch zusätzliche Eigenschaften oder Besonderheiten in der Umsetzung angeführt.

8.4.1 Umwelt

Wie bereits erwähnt steht die Klasse `Main` für die Umwelt. Das gesamte Modell wird im Startup-Code dieser Klasse initialisiert. Listen von allen Gemeinden, Organisationen, Haushalten, Bussen und Personen werden hier erstellt und gehalten. Zum Aufbau des Modells werden die Objekte der Listen untereinander verknüpft. Auch die grafische Darstellung der Simulation findet hier statt.

Die meisten statistischen Daten und Wahrscheinlichkeiten, die für die Initialisierung oder während der Simulation benötigt werden, sind hier als Parameter oder Table Functions gehalten und können über die dazugehörigen Funktionen verwendet werden. Darstellung 30 zeigt einen Überblick.

Data: Communities	Data: Persons	Data: Contacts and disease
 communitySizeDistributionData	 ageDistributionData	 contactDurationDaily
 communitySizeBinSize	 getGender	 contactDurationWeekly
 getCommunitySize	 dayLocationProbabilities	 contactDurationMonthly
 probabilityForASecundarySchool	 doesAdultStayAtHome	 getContactDuration
 companySizeDistributionData	 freetimeActivityProbabilities	 physicalContactProbability
 getCompanySize	 getFreetimeActivity	 isContactPhysical
 householdSizeDistributionData	 possibilityToUseTheBus	 transmissionProbabilities
	 getCommunityByDistanceList	 getTransmissionProbAgeGroup
	 contactRates	 getTransmissionProbability
	 getContactRate	 probabilityVariationPhysical
		 probabilityVariationNonPhysical
		 probabilityForVaccination
		 probToStayAtHomeWithSymptoms

Darstellung 30: Statistische Daten der Umwelt

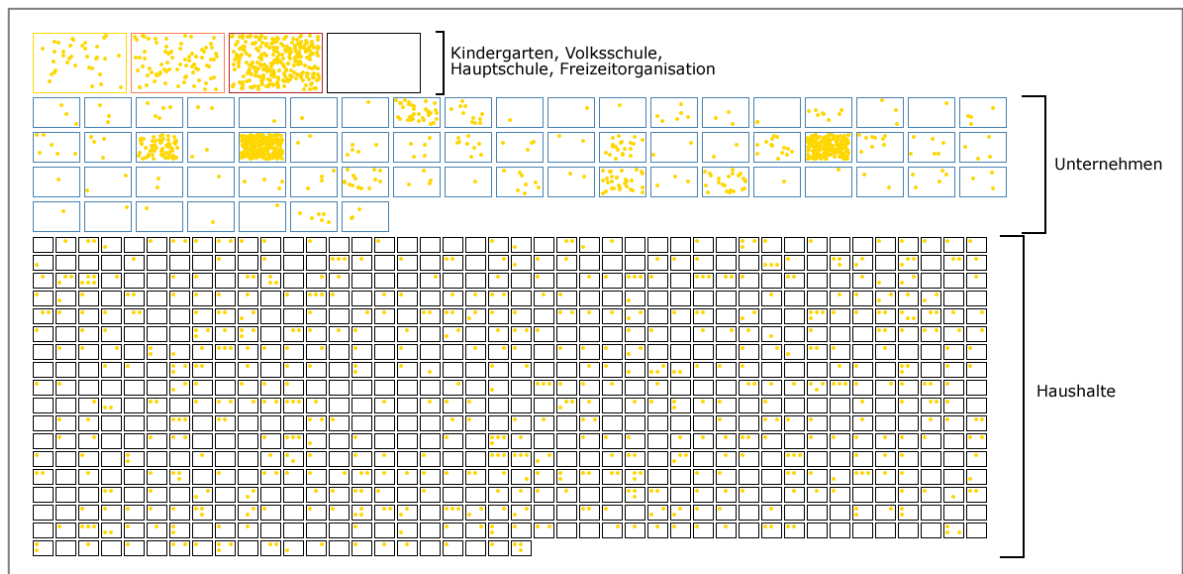
Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin auf Basis von Screenshots aus AnyLogic

8.4.2 Gemeinde

Eine Gemeinde hält sich Referenzen auf alle Organisationen und Haushalte, die sich in ihr befinden. Wo genau sich eine Person oder ein Gebäude innerhalb der Gemeinde bezüglich der x- und y-Koordinaten befindet, spielt wie bereits erwähnt für das Modell keine Rolle, sondern ist nur für die grafische Darstellung von Bedeutung. Die Entfernung zwischen zwei Gemeinden wird immer vom Mittelpunkt der Gemeinde aus gemessen.

Zusätzlich zu den in Kapitel 6.2.2 genannten Eigenschaften enthält eine Gemeinde noch Variablen, die zur grafischen Darstellung benötigt werden, zB `nrOfOrganisationsInOneRow` und Hilfsvariablen und -funktionen, die während der Initialisierung benötigt werden.

Darstellung 31 zeigt, wie eine Gemeinde in der Simulation grafisch dargestellt wird. Die größten Rechtecke repräsentieren Kindergärten, Schulen und Freizeitorganisationen, die mittelgroßen Rechtecke die Unternehmen und die kleinen Rechtecke die Haushalte. Personen werden durch einen Punkt dargestellt, wobei dieser je nach Krankheitszustand eine andere Farbe hat.



Darstellung 31: Grafische Darstellung einer Gemeinde

Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin auf Basis von Screenshots aus AnyLogic

8.4.3 Bus

Ein Bus kennt die Personen, die normalerweise mit ihm fahren, und stellt eine Methode zur Verfügung, mit denen eine dieser Personen zufällig ermittelt wird (wird zum zufälligen Austauschen von Kontakten aus der Kontaktliste einer Person benötigt). Wo der Bus grafisch dargestellt wird, sagt nichts über die Zugehörigkeit zu bestimmten Gemeinden aus.

8.4.4 Organisation

Neben den im Modell beschriebenen Zustandsgrößen enthält eine Organisation noch Variablen, die für die grafische Darstellung benötigt werden. Diese Darstellung ist zudem vom Typ abhängig. Kindergärten, Schulen und Freizeitorganisationen werden größer dargestellt, weil sie tendenziell mehr Personen enthalten. Kindergärten haben die Rahmenfarbe Gelb, Volksschulen Orange, Hauptschulen Rot, Unternehmen Blau und Freizeitorganisationen Schwarz.

Das Active Object `Organisation` implementiert zusätzlich noch das Interface `FreetimeBuilding`.

8.4.5 Haushalt

Haushalte implementieren das Interface `FreetimeBuilding`, sonst haben sie keine Besonderheiten in ihrer Umsetzung.

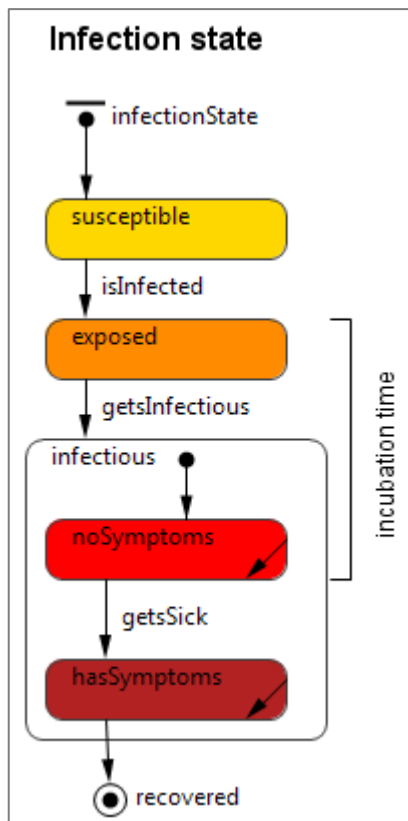
8.4.6 Person

Neben normalen Eigenschaften wie Alter oder Geschlecht haben Personen auch Status, die sich am besten mit Statusdiagrammen umsetzen lassen.

Infektionsstatus

Darstellung 32 zeigt das Statusdiagramm für den Infektionsstatus. Wie in Kapitel 6.7.2 beschrieben, durchläuft die Person verschiedene Krankheitsphasen. Zu Beginn befinden sich alle Personen im Zustand `susceptible`. Der Übergang zum Status `exposed` wird durch eine Nachricht („CONTACT“) ausgelöst, die die ansteckende Person quasi an das Statusdiagramm des Kontaktes, den sie für eine Infektion ausgewählt hat, schickt (das Statusdiagramm kann über den Namen des Statechart Entry Points, in diesem Fall `infectionState`, angesprochen werden). Der Übergang enthält aber noch einen sogenannten Guard. Dieser kann verwendet werden, um, vor der Übergang wirklich ausgelöst wird, noch eine Bedingung abzuprüfen. Ist die Bedingung – in diesem Fall die Abfrage, ob eine Person geimpft oder natürlich immun ist – erfüllt, wird der Übergang nicht ausgelöst.

Befindet sich eine Person dann im Status `exposed`, wird nach einem bestimmten, zufälligen Timeout der nächste Übergang ausgelöst. Der Übergang führt zu einem sogenannten Composite State, einem Status, der mehrere andere Status zusammenfasst. Innerhalb dieses Status wird der Krankheitsstatus zuerst auf `noSymptoms` und dann nach einem bestimmten Timeout auf `hasSymptoms` gesetzt. Bei diesen beiden Status gibt es jeweils Übergänge zu sich selbst, diese werden verwendet, um die Kontaktraten zu simulieren. Nach einem bestimmten Timeout wird der Status auf `recovered` geändert.



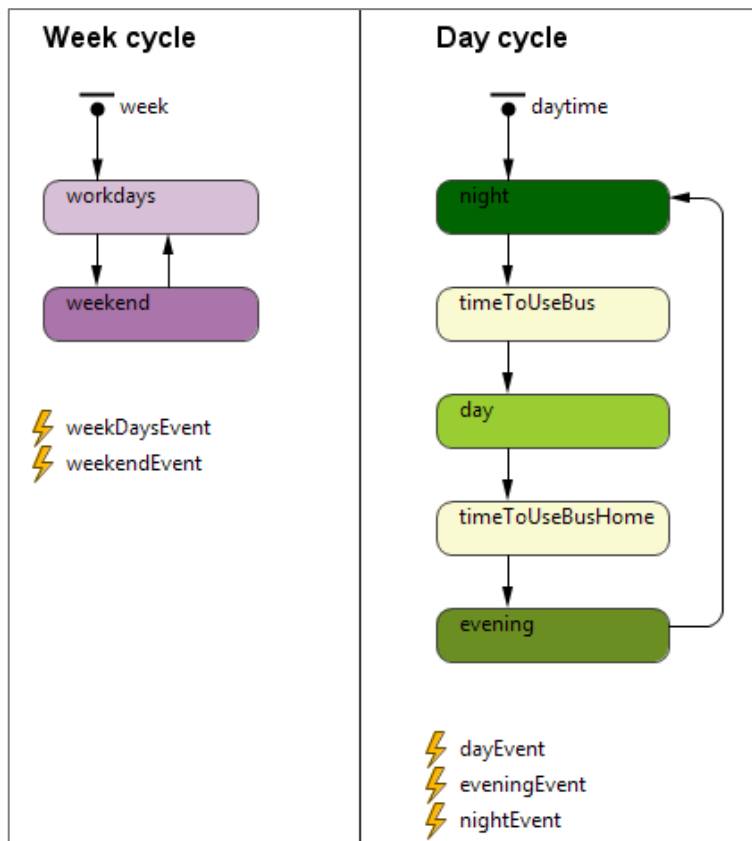
Darstellung 32: Statusdiagramm für den Infektionsstatus

Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin auf Basis von Screenshots aus AnyLogic

Wochen- und Tageszyklus

Darstellung 33 zeigt die Statusdiagramme für Wochen- und Tagesabläufe. Beim Wochenzyklus werden die Übergänge durch die Events `weekDaysEvent` und `weekendEvent` ausgelöst. Diese finden wiederkehrend nach je sieben Tagen statt, wobei das `weekDaysEvent` das erste Mal zum Zeitpunkt 0 und das `weekendEvent` zum ersten Mal zum Zeitpunkt 5 stattfindet. Der Tageszyklus wird durch drei Events für Tag, Abend und Nacht bestimmt, wobei dadurch die Übergänge auf `timeToUseBus`, `timeToUseBusHome` und `night` ausgelöst werden. Die Übergänge auf `day` und `evening` werden nach einem Timeout von jeweils 0,1 ausgelöst.

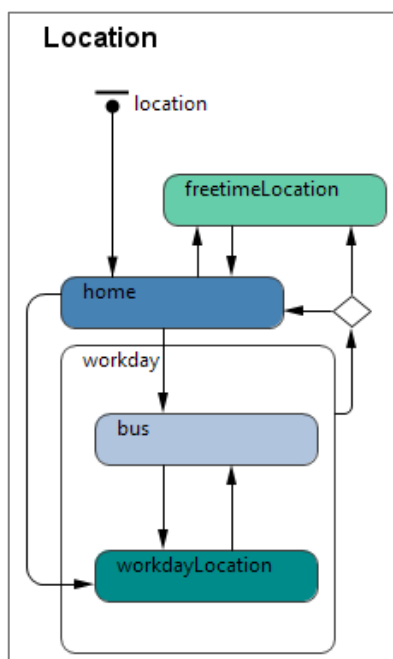
Das Auslösen von Übergängen durch Events funktioniert wieder über Nachrichten, d.h. wenn ein Event ausgelöst wird, wird eine Nachricht an das entsprechende Statusdiagramm (bzw. den entsprechenden Statechart Entry Point) geschickt.



Darstellung 33: Statusdiagramme für Wochenablauf und Tagesablauf
 Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin auf Basis von Screenshots aus AnyLogic

Aufenthaltsort

Darstellung 34 zeigt das Statusdiagramm für den aktuellen Aufenthaltsort einer Person. Wie und wann welche Übergänge ausgelöst werden, wird in Darstellung 35 beschrieben.



Darstellung 34: Statusdiagramm für den Aufenthaltsort
 Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin auf Basis von Screenshots aus AnyLogic

<code>home → bus</code>	Auslöser: Nachricht, die gesendet wird, wenn beim Statusdiagramm für den Tageszyklus in den Status <code>timeToUseBus</code> gewechselt wird (nur an Arbeitstagen). Guard: <code>dayLocation</code> und <code>busToDayLocation</code> dürfen nicht <code>null</code> sein.
<code>bus → workdayLocation</code>	Auslöser: Nachricht, die gesendet wird, wenn beim Statusdiagramm für den Tageszyklus in den Status <code>day</code> gewechselt wird (nur an Arbeitstagen).
<code>home → workdayLocation</code>	Auslöser: Nachricht, die gesendet wird, wenn beim Statusdiagramm für den Tageszyklus in den Status <code>day</code> gewechselt wird (nur an Arbeitstagen). Guard: <code>dayLocation</code> darf nicht <code>null</code> sein.
<code>workdayLocation → bus</code>	Auslöser: Nachricht, die gesendet wird, wenn beim Statusdiagramm für den Tageszyklus in den Status <code>timeToUseBusHome</code> gewechselt wird (nur an Arbeitstagen). Guard: <code>busToDayLocation</code> darf nicht <code>null</code> sein.
<code>workday → freetimeLocation</code> <code>workday → home</code>	Auslöser: Nachricht, die gesendet wird, wenn beim Statusdiagramm für den Tageszyklus in den Status <code>evening</code> gewechselt wird (nur an Arbeitstagen). Der Übergang führt in eine Abzweigung, bei der – je nachdem ob <code>freeTimeLocationForToday</code> gesetzt ist oder nicht – zu <code>freetimeLocation</code> oder <code>home</code> gewechselt wird.
<code>freetimeLocation → home</code>	Auslöser: Nachricht, die gesendet wird, wenn beim Statusdiagramm für den Tageszyklus in den Status <code>day</code> gewechselt wird.
<code>home → freetimeLocation</code>	Auslöser: Nachricht, die gesendet wird, wenn beim Statusdiagramm für den Tageszyklus in den Status <code>day</code> gewechselt wird (nur an Wochenendtagen) Guard: <code>freeTimeLocationForToday</code> darf nicht <code>null</code> sein.

Darstellung 35: Übersicht über die Auslösung von Übergängen

im Statusdiagramm für den Aufenthaltsort

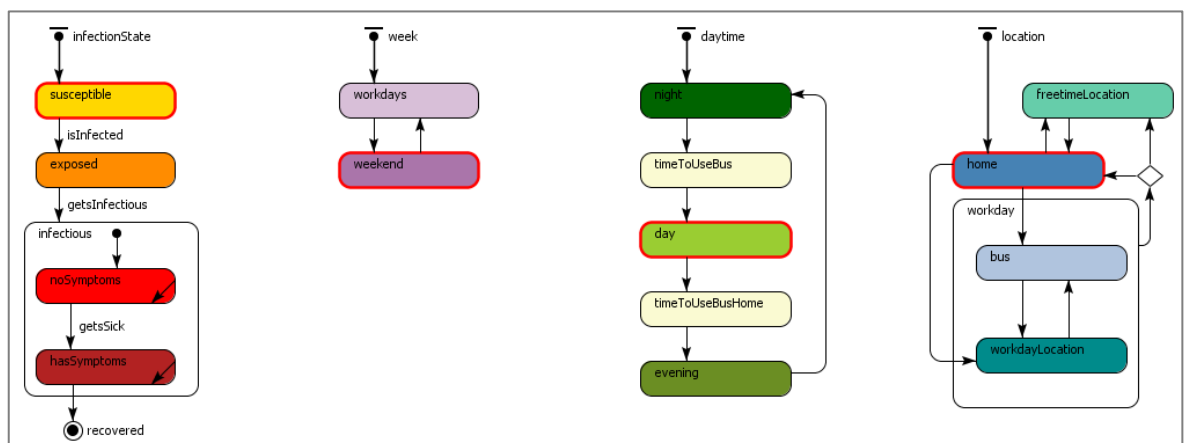
Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin

Für alle Übergänge, die von `home` wegführen, gibt es einen zusätzlichen Guard, der die Rückgabe der Funktion `staysAtHomeBecHavingSymptoms()` auswertet. Diese Funktion überprüft, ob die Person gerade Symptome zeigt und liefert dann mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit `true` zurück, d.h. die Person bleibt zu Hause.

Der Parameter `freeTimeLocationForToday`, der entscheidet, ob und wohin in der Freizeit gewechselt wird, wird jeweils bereits zu Beginn des Tages (beim Verlassen des Status `night`) gesetzt.

Überblick

Darstellung 36 zeigt den Überblick über alle Statusdiagramme. Diese sind ersichtlich, wenn man während der Simulation in die Detailansicht einer Person wechselt. In jedem Diagramm ist der Status, in dem sich die Person gerade befindet, rot markiert. Die Person in dem Beispiel ist also noch gesund, es ist gerade Tag an einem Wochenende und die Person befindet sich zu Hause.



Darstellung 36: Überblick über die Statusdiagramme

Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin auf Basis von Screenshots aus AnyLogic

8.5 Initialisierung

Die Initialisierung des Modells, d.h. alle Gemeinden, Organisationen, Personen usw., wird im Startup-Code der Klasse `Main` durchgeführt. Der Startup-Code wird ausgeführt, nachdem alle Elemente, die sich im grafischen Editor befinden, erzeugt wurden, aber noch bevor die Simulation gestartet wird. (AnyLogic o.J.e, Suchwort: „Active Object“)

8.6 Test der Umsetzung

8.6.1 Statistische Daten

Um zu überprüfen, ob die während der Initialisierung erzeugte Umgebung den statistischen Daten aus Kapitel 7 entspricht, wurden Histogramme über die erzeugte Umgebung erstellt und diese mit den originalen Daten verglichen.

8.6.2 Beobachtung

Auch durch Beobachtung der Simulation wurde die Umsetzung getestet. Dabei wurden sowohl das Gesamtsystem (Sind Agenten prinzipiell an Orten, an denen sie zu bestimmten Zeitpunkten sein sollten?) als auch einzelne Agenten beobachtet (Stimmt der Tagesablauf einer Person?).

8.6.3 Debugging

Die Initialisierung wurde für eine relativ kleine Simulationsumgebung (vier Gemeinden, zwei Busse, 30 Personen pro Gemeinde) mit dem Debugger untersucht.

9 Experimente

9.1 Kalibrierung

9.1.1 Grundlagen

Die Kalibrierung eines Modells ist eine Art der Parametrisierung, bei der untersucht wird, welche Werte bestimmte Parameter annehmen müssen, um ein in der Realität bereits beobachtetes Muster für einen Simulationsverlauf nachzubilden. Ein weiterer Zweck der Kalibrierung ist es, passende Werte für Parameter zu finden, die nicht direkt abgeleitet werden können. (Railsback 2012, S. 255-256)

Bei der Kalibrierung ist zu beachten, dass das Ergebnis für einzelne Parameter mit steigender Anzahl der zu kalibrierenden Parametern immer weniger vertrauenswürdig wird. Indem an vielen Parametern gedreht wird, um ein ganz bestimmtes Ergebnis zu erreichen, wird eventuell die generelle Gültigkeit des Modells verringert. Es liegt dann eine Überanpassung vor. (Railsback 2012, S. 258)

9.1.2 Parameterauswahl und Zielgrößen

Wie vorher beschrieben, sollen für die Kalibrierung Parameter gewählt werden, deren Wert nicht oder nur ungenau bekannt ist. Dafür wurden in diesem Modell zwei Größen ausgewählt:

- Anzahl an Infektionen zu Beginn der Simulation, d.h. wie viele Personen werden beim Start zufällig infiziert.
- Wahrscheinlichkeit für eine natürliche Immunität. Dieser Parameter wurde gewählt, da dazu kein Wert bekannt ist (hängt vom Veränderungsgrad des Virus seit der letzten Saison, vom Impfverhalten der Bevölkerung usw. ab [Bundesamt für Gesundheit 2010]).

Wie in Kapitel 7.4.1 beschrieben, können die beobachteten Epidemieverläufe in Vorarlberg – umgerechnet auf die Anzahl an Agenten im Modell – im Durchschnitt mit folgenden Größen beschrieben werden:

- Epidemiedauer bzw. Länge des relevanten Teils bei den Neuzugängen: 14 Wochen (ab 232 Neuzugängen und bis unter 246 Neuzugängen pro Woche).
- Höhepunkt an Neuzugängen: In der 7. Woche.
- Höhepunkt an Neuzugängen: 557 Personen.

Auf diese Werte soll das Modell kalibriert werden.

9.1.3 Durchführung

AnyLogic Professional bietet Experimente vom Typ Kalibrierung an. Es können dabei die Parameter, die variiert werden sollen, und die Ziele der Kalibrierung – also welche Outputs der Simulation welche Werte erreichen sollen – angegeben werden.

Da diese Experimente viel Zeit benötigen, wurden zuerst einige einfachere Kalibrierungen durchgeführt, um ungefähre Werte für die zu variiierenden Parameter zu erhalten. Dann wurde ein Kalibrierungsexperiment mit folgenden Einstellungen erstellt.

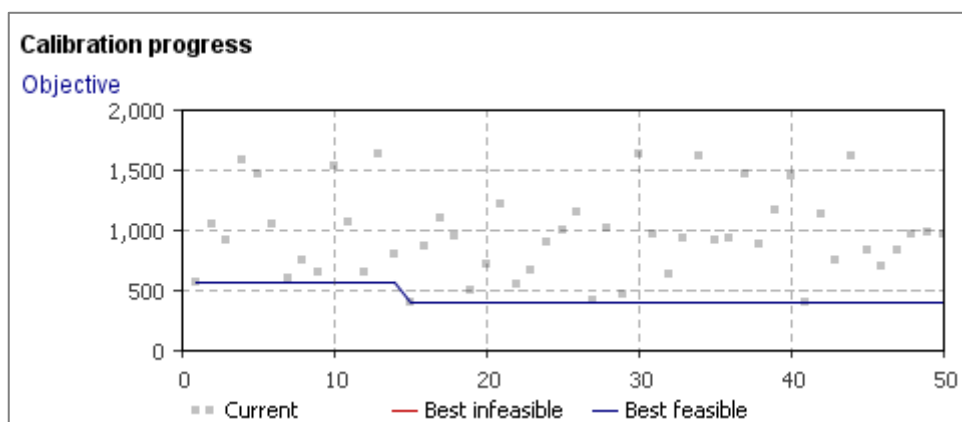
Zu variiierende Parameter:

- `nrOfInitialInfections`: Variation zwischen 20 und 25; Schrittgröße 1; empfohlener Wert 24
- `probabilityForNaturalImmunity`: Variation zwischen 0,01 und 0,15; Schrittgröße 0,01; empfohlener Wert 0,06

Als Ziel wurde die Minimierung des folgenden Ausdrucks angegeben:

```
abs(lengthOfImportantSection - 14) * 40 + abs(peak - 557) + abs(peakAfter - 7) * 80
```

In diesem Ausdruck werden Unterschiede zwischen wirklichen und gewünschten Ergebnissen von der Länge des relevanten Teils der Epidemie, dem Höhepunkt an Neuinfektionen und dem Zeitpunkt des Höhepunkts der Neuinfektionen summiert. Um die Fehler in den Werten gleichzusetzen, wurden die Länge des relevanten Teils und der Zeitpunkt des Höhepunkts mit 40 bzw. 80 multipliziert. Da die Simulationsdurchläufe vom Zufall abhängen, wurden zusätzlich fünf Replikationen pro Iteration eingestellt.



Darstellung 37: Verlauf der Kalibrierung

Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin auf Basis von Screenshots aus AnyLogic








Die Kalibrierung dauerte über 40 Stunden, es gab in diesem Zeitraum aber nur eine einzige Verbesserung des zu optimierenden Wertes. Darstellung 37 zeigt den Verlauf der Kalibrierung. Das Ergebnis der Kalibrierung sind die Werte 23 für die Anzahl an Infizierten zu Beginn der Simulation und 0,08 für die Wahrscheinlichkeit für eine natürliche Immunität.

9.2 Test der Kalibrierung

Um zu ermitteln, wie gut die in der Kalibrierung ermittelten Werte den Verlauf an einen realen Verlauf annähern, wurde ein Monte-Carlo-Experiment durchgeführt. Monte-Carlo-Experimente können verwendet werden, um ein vom Zufall abhängiges Modell mehrere Male laufen zu lassen und Ergebnisse aus den einzelnen Durchläufen zu vergleichen bzw. als Histogramm darzustellen. Zusätzlich können zwischen den Durchläufen einzelne Parameter variiert werden. (AnyLogic o.J.f)

Das Monte-Carlo-Experiment wurde ohne Parametervariation mit 30 erfolgreichen Iterationen durchgeführt. Eine Iteration ist dann erfolgreich, wenn sie den Grenzwert an Neuzugängen bei den Infektionen von 232 überschreitet. Das ist nicht immer der Fall, da die Epidemie unter bestimmten Umständen gar nicht richtig ausbricht, d.h. sie stirbt gleich zu Beginn wieder aus. Das kann passieren, da zu Beginn nur ganz wenige Personen infiziert werden und diese vielleicht zufällig zu wenig Kontakt mit anderen Personen haben, um die Epidemie zu verbreiten. Natürlich könnten auch gleich zu Beginn mehr Personen infiziert werden, dann ist die Verteilung der Infektionen aber nicht mehr so realistisch (zB gibt es dann keine Häufungen in Familien oder bestimmten Organisationen).

Nach jeder erfolgreichen Iteration werden die Länge des relevanten Teils der Epidemie, der Höhepunkt an Neuzugängen und der Zeitpunkt des Höhepunkts zu den bisherigen Werten addiert und dann durch die Anzahl an erfolgreichen Iterationen dividiert, d.h. man sieht zum Schluss den Mittelwert aller Iterationen. Darstellung 38 zeigt das Ergebnis.

 nrOfSuccessfulIterations 30	 sumLengthOfImportantSection 403	 meanLengthOfImportantSection 13.433
	 sumPeakAfter 226	 meanPeakAfter 7.533
	 sumPeak 16,160	 meanPeak 538.667

Darstellung 38: Ergebnis des Monte-Carlo-Experiments nach 30 erfolgreichen Durchläufen
Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin auf Basis von Screenshots aus AnyLogic

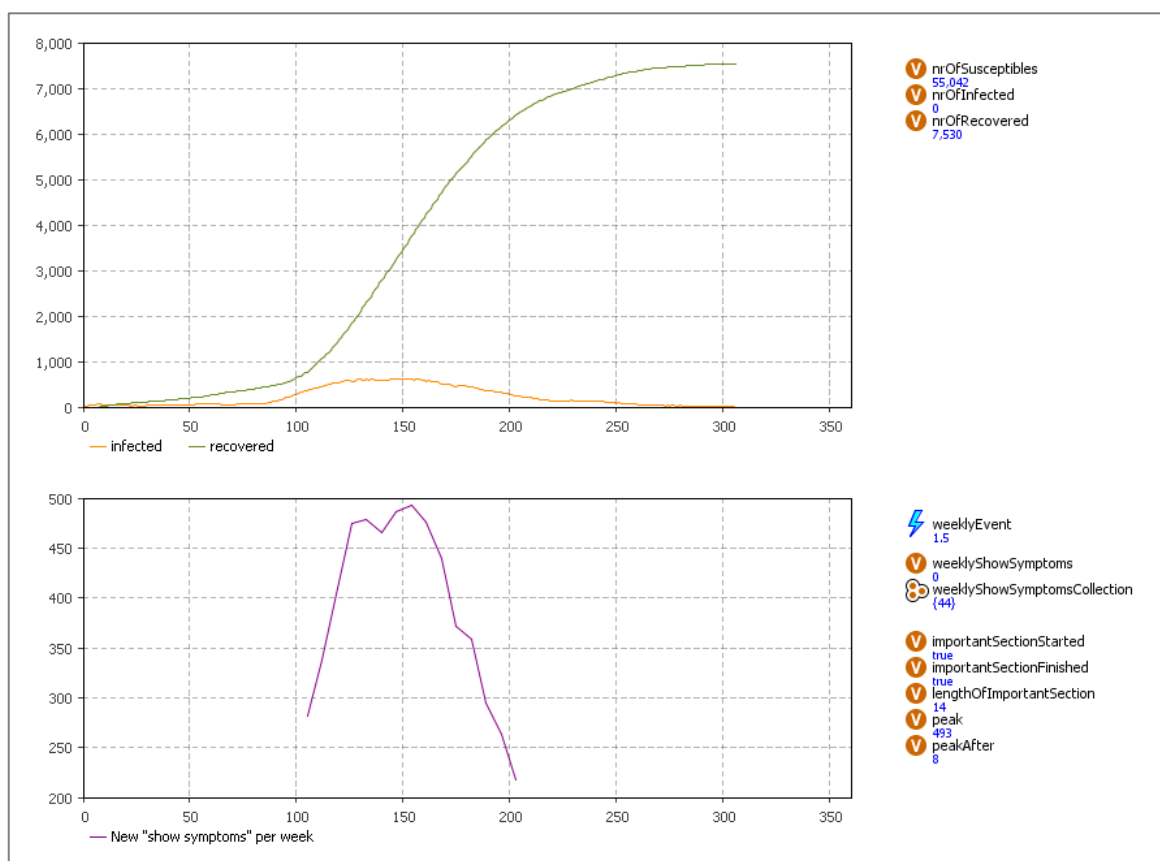
Nach 30 Iterationen liegt der Wert für die Länge des relevanten Teils bei 13,433 (Sollwert: 14), der Höhepunkt an Neuzugängen bei 538,667 (Sollwert: 557) und der Zeitpunkt des Höhepunkts bei 7,533 (Sollwert: 7). Die Ergebnisse der Kalibrierung sind also brauchbar und können so verwendet werden.

9.3 Simulation

Um die Auswirkung von Veränderungen im Modell auf den Verlauf der Epidemie zu untersuchen, ist es wichtig, dass die Ergebnisse vergleichbar sind. Darum werden diese Experimente alle mit dem gleichen Random Seed durchgeführt, d.h. es wird immer der gleiche Zufallszahlenstrom verwendet.

Darstellung 39 zeigt den Epidemieverlauf, wie ihn das Modell erzeugt. Der obere Teil zeigt dabei die Anzahl an Infizierten (orange Linie) und die Anzahl an wieder Genesenen (grüne Linie). Die untere Grafik zeigt die Neuzugänge pro Woche, aber nur den relevanten Teil (ab 232 Neuzugängen bis wieder unter 246 Neuzugängen). Dieser Teil ist mit den tatsächlichen Epidemieverläufen aus Vorarlberg vergleichbar (siehe Kapitel 7.4.1). Die x-Achse zeigt bei beiden Grafiken die vergangenen Zeiteinheiten (also Tage) und die y-Achse die jeweilige Anzahl an.

Eine wichtige Eigenschaft des Epidemieverlaufs ist zudem die Gesamtanzahl an erkrankten Personen, in diesem Fall sind es 7.530.



Darstellung 39: Epidemieverlauf in Vorarlberg

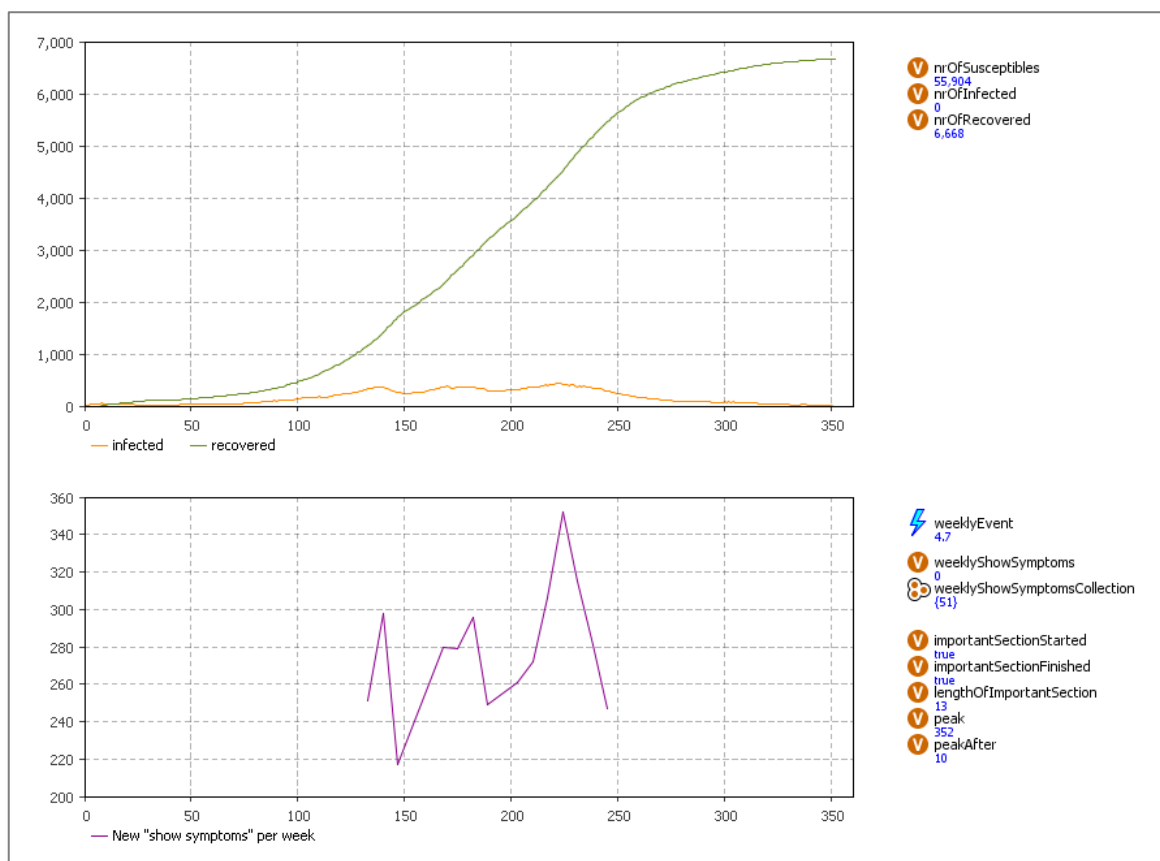
Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin auf Basis von Screenshots aus AnyLogic

9.4 Einführung von Gegenmaßnahmen

Für diese Experimente wurde wieder derselbe Random Seed wie vorher verwendet.

9.4.1 Impfraten

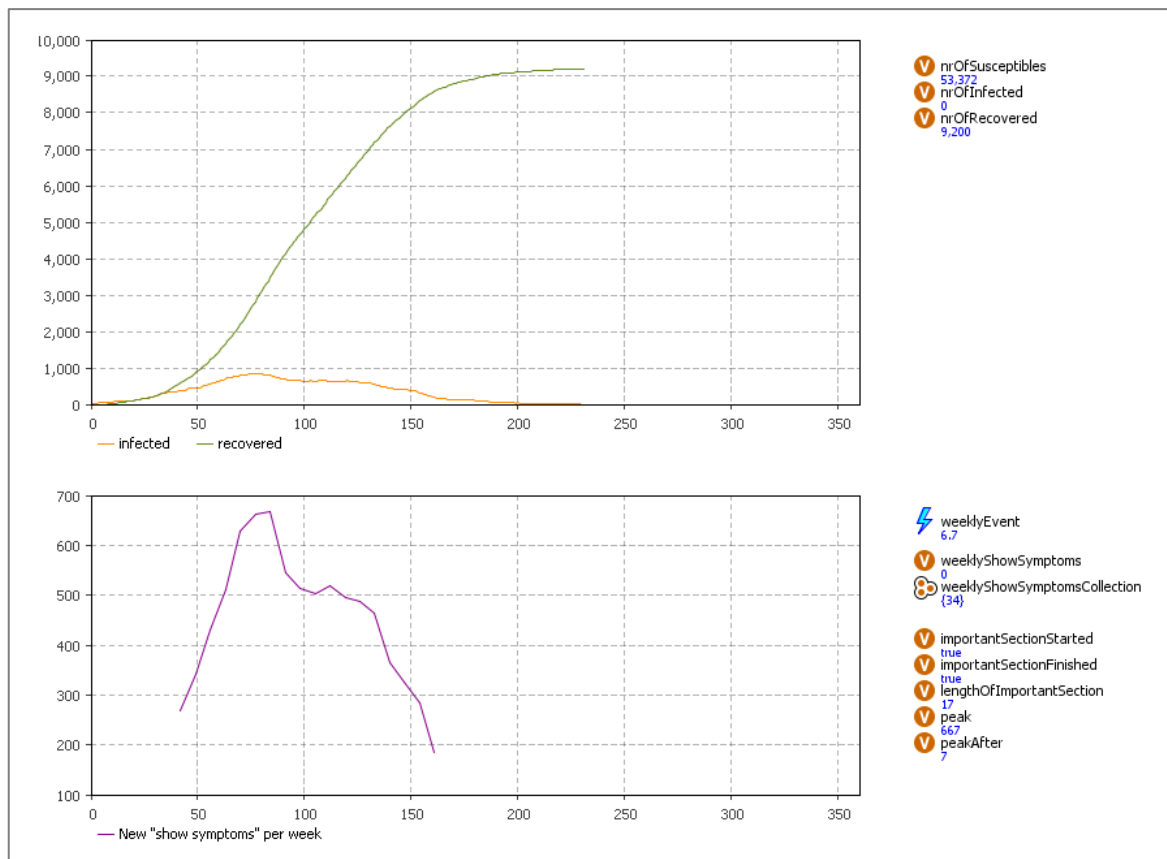
Als erstes soll überprüft werden, wie sich eine höhere Impfrate auf den Verlauf auswirkt. Dabei wird angenommen, dass die Impfungen zu Beginn der Grippezeit durchgeführt werden. Die Impfrate wird im ersten Experiment um 1% auf gesamt 17% erhöht. Darstellung 40 zeigt den Verlauf mit dieser Änderung. Die Epidemie dauert prinzipiell länger bzw. der Höhepunkt an Neuerkrankungen pro Woche wird erst später erreicht, wobei dieser Höhepunkt aber niedriger ist als im Ausgangsverlauf. Die Gesamtanzahl an Infizierten liegt bei 6.668, also um 862 weniger als bei einer Impfrate von 16%.



Darstellung 40: Epidemieverlauf mit einer Impfrate von 17%

Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin auf Basis von Screenshots aus AnyLogic

Im nächsten Experiment wird überprüft, wie sich eine geringere Impfrate auf den Verlauf auswirken würde. Die Impfrate wird dabei um 1% auf 15% gesenkt. Wie in Darstellung 41 ersichtlich wird die Dauer der Epidemie dadurch kürzer und der Höhepunkt an Neuerkrankungen wird deutlich früher erreicht, jedoch ist er auch um einiges höher als zuvor. Insgesamt gibt es 9.200 Infizierte, d.h. 1.670 mehr als bei einer Impfrate von 16%.



Darstellung 41: Epidemieverlauf mit einer Impfrate von 15%

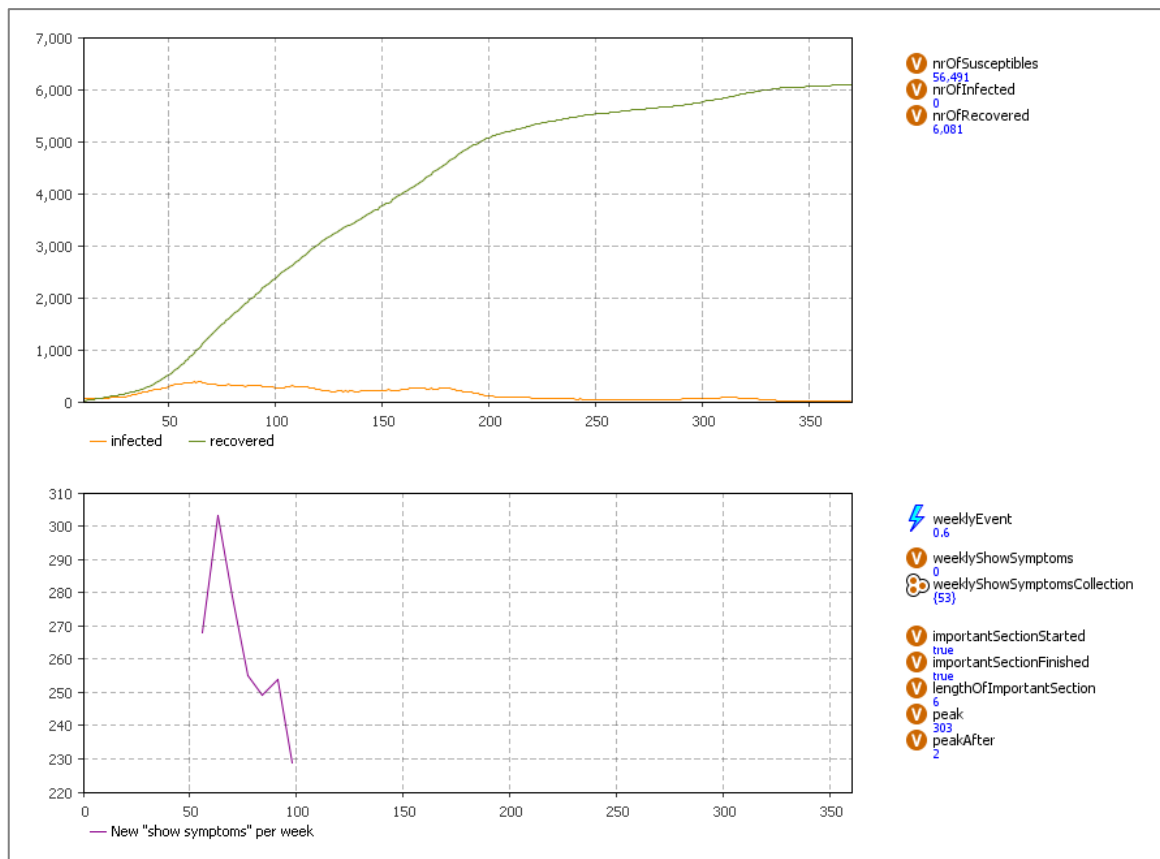
Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin auf Basis von Screenshots aus AnyLogic

9.4.2 Krankenstand

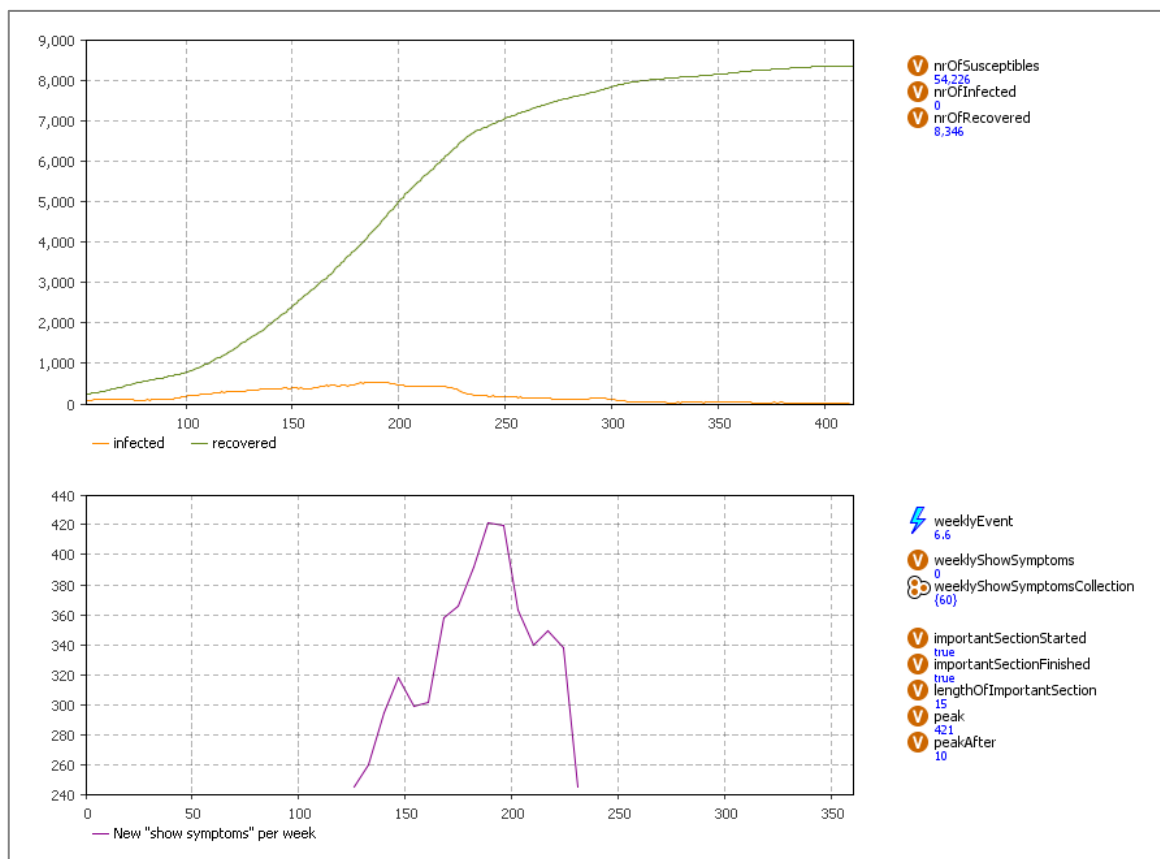
Als zweite Gegenmaßnahme wird eine Veränderung der Krankenstandsrate durchgeführt, d.h. mit welcher Wahrscheinlichkeit eine Person mit Symptomen das Haus nicht verlässt. Standardmäßig liegt diese Wahrscheinlichkeit bei 0,669.

Im ersten Experiment wurde die Krankenstandswahrscheinlichkeit auf 0,689 erhöht. Darstellung 42 zeigt den Verlauf der Epidemie. Die Epidemie dauert sehr lange, der Höhepunkt ist aber nicht sehr hoch. Gesamt gibt es 6.081 Infizierte, 1.449 weniger als beim ursprünglichen Verlauf.

Dann wird noch analysiert, wie sich eine Verringerung der Krankenstandswahrscheinlichkeit auf 0,649 auswirkt. Wie in Darstellung 43 ersichtlich dauert die Epidemie länger, der Höhepunkt fällt aber niedriger aus. Die Gesamtanzahl an Infizierten liegt bei 8.346, das sind um 810 mehr als beim ursprünglichen Verlauf.



Darstellung 42: Epidemieverlauf mit einer Krankenstandswahrscheinlichkeit von 0,689
Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin auf Basis von Screenshots aus AnyLogic



Darstellung 43: Epidemieverlauf mit einer Krankenstandswahrscheinlichkeit von 0,649
Quelle: Ausarbeitung durch die Verfasserin auf Basis von Screenshots aus AnyLogic

10 Zusammenfassung und Bewertung

In dieser Arbeit wurde versucht, ein agentenbasiertes Modell zur Simulation einer Influenzaepidemie in Vorarlberg zu erstellen. Nach Literaturrecherchen und der Befassung mit den Themen agentenbasierte Modellierung und ODD Protocol wurde ein Konzept für ein Modell erstellt. Dieses basiert auf zahlreichen statistischen Daten, welche von der Autorin zusammengetragen werden mussten. Es folgten die Umsetzung mit AnyLogic und die Durchführung verschiedener Experimente.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es eindeutig möglich ist, ein wie in der Einleitung beschriebenes Modell zu erstellen. Technisch gibt es keine Grenzen, es ist ein beliebiger Detaillierungsgrad umsetzbar. Dennoch gibt es einige Probleme in der Modellierung.

10.1 Stabilität

Ein Problem liegt darin, dass das Modell durch die Vielzahl an stochastischen Prozessen sehr instabil geworden ist. Die Simulationsverläufe mit verschiedenen Zufallszahlen können sich sehr voneinander unterscheiden. Die einzelnen Teile des Systems sind einfach zu verstehen, das daraus resultierende Gesamtsystem ist aber sehr komplex und Auswirkungen von einzelnen Teilen sind nur schwer zu ermitteln.

Daraus ergibt sich auch das Problem, das nicht mit Sicherheit gesagt werden kann, ob zB die Einführung von Gegenmaßnahmen, wie zB Impfungen, erfolgreich sind. Es sind deutliche Veränderungen im Epidemieverlauf ersichtlich, es ist aber nicht klar, ob diese wirklich zu 100% auf die veränderten Impfraten zurückzuführen sind oder einfach aus dem Zufall entstanden sind.

10.2 Detaillierungsgrad

Ein weiteres Problem ist die Feststellung eines geeigneten Detaillierungsgrads. Dazu könnten zB noch detaillierte Sensitivitätsanalysen durchgeführt werden, um zu ermitteln, was großen Einfluss hat und was weggelassen werden kann.

10.3 Statistische Daten und Fachwissen

Für das Modell werden viele statistische Daten benötigt, die von Vorarlberg nur unzureichend oder gar nicht vorhanden sind (zB Intensität und Anzahl sozialer Kontakte). Es müssten umfangreiche und genau für diesen Zweck ausgelegte Studien durchgeführt werden, um passende Daten zu

erhalten. Zum jetzigen Zeitpunkt müssen viele nicht zufriedenstellende Daten verwendet bzw. auch Annahmen getroffen werden, deren Auswirkung auf die Gesamtverläufe schwer einzuschätzen sind.

Ein Beispiel hierfür ist die Krankenstandswahrscheinlichkeit. Hierzu gibt es keine verlässlichen Daten, man sieht aber in den Experimenten, wie großen Einfluss diese Größe auf den Epidemieverlauf hat.

Zusätzlich müssten Spezialisten aus verschiedenen Gebieten herangezogen werden, die Unterstützung für Fachbereiche, wie zB medizinische Fakten zur Influenza, bieten.

10.4 Zeitlicher Rahmen

In dieser Arbeit wurde sehr viel Zeit in die Recherche von passenden statistischen Daten und der realistischen Abbildung der Influenza mit verschiedenen Kontaktintensitäten usw. investiert. Auch die Umsetzung des Modells nahm viel Zeit in Anspruch, sodass am Schluss zu wenig Zeit für einen Fokus auf verschiedene Experimente und deren genaue Analyse blieb.

10.5 Fazit

Dennoch kann das Modell prinzipiell verwendet werden. Dazu müssten aber noch genauere statistische Daten verfügbar sein oder durch Befragungen erfasst werden. Die Ergebnisse der Experimente müssen auf jeden Fall mit Vorsicht betrachtet und immer hinterfragt werden.

Literaturverzeichnis

Amouroux, Edouard u.a. (2010): O.D.D.: a Promising but Incomplete Formalism For Individual-Based Model Specification. Online im Internet:

http://www.researchgate.net/publication/230777873_Odd_A_promising_but_incomplete_formalism_for_individual-based_model_specification (Zugriff am: 02.08.2013).

Amt der Vorarlberger Landesregierung – Landesstelle für Statistik (2013): Schulstatistik 2011/12.

Online im Internet: http://www.vorarlberg.at/pdf/schulstatistik2011_12.pdf (Zugriff am: 03.07.2013).

Amt der Vorarlberger Landesregierung – Landesstelle für Statistik (o.J.): Bevölkerungsstatistik.

Online im Internet: <http://apps.vorarlberg.at/bevoelkerungsstatistik/Default.aspx> (Zugriff am: 03.07.2013).

AnyLogic (o.J.a): About The AnyLogic Company. Online im Internet:

<http://www.anylogic.com/about-us> (Zugriff am 04.07.2013).

AnyLogic (o.J.b): Using AnyLogic Help System. Online im Internet:

<http://www.anylogic.com/anylogic/help/> (Zugriff am 04.07.2013).

AnyLogic (o.J.c): Editions Comparison. Online im Internet: <http://www.anylogic.com/editions-comparison> (Zugriff am 04.07.2013).

AnyLogic (o.J.d): Agent Based Modeling. Online im Internet: <http://www.anylogic.com/agent-based-modeling> (Zugriff am 05.07.2013).

AnyLogic (o.J.e): AnyLogic Help System. Online im Internet:

<http://www.anylogic.com/anylogic/help/index.jsp> (Zugriff am 05.06.2013).

AnyLogic (o.J.f): Experiment Framework. Monte Carlo. Online im Internet:

<http://www.anylogic.com/experiment-framework#montecarlo> (Zugriff am 27.07.2013).

Bian, Ling; David Liebner (2007): A Network Model for Dispersion of Communicable Diseases. In: Transactions in GIS, 2007, 11(2), S. 155-173.

Bibliographisches Institut GmbH (2013a): Pandemie. Online im Internet:

<http://www.duden.de/rechtschreibung/Pandemie> (Zugriff am 01.07.2013).

Bibliographisches Institut GmbH (2013b): Epidemie. Online im Internet:
<http://www.duden.de/rechtschreibung/Epidemie> (Zugriff am 01.07.2013).

Bibliographisches Institut GmbH (2013c): Inkubationszeit. Online im Internet:
<http://www.duden.de/rechtschreibung/Inkubationszeit> (Zugriff am 25.06.2013).

Bonabeau, Eric (2002): Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. Online im Internet: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC128598/> (Zugriff am 12.07.2013).

Bundesamt für Gesundheit (2010): Die Grippe. Online im Internet:
http://www.bag.admin.ch/influenza/01118/01123/13391/index.html?lang=de&download=NHZLpZeq7t,Inp6I0NTU042I2Z6In1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCHeH18g2ym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A--
(Zugriff am: 03.07.2013).

Carrat, Fabrice u.a. (2008): Time Lines of Infection and Disease in Human Influenza: A Review of Volunteer Challenge Studies. In: American Journal of Epidemiology, 167 (2008), 7, S. 775-785.
Zugleich online im Internet: <http://aje.oxfordjournals.org/content/167/7/775.full> (Zugriff am: 12.07.2013).

Centers for Disease Control and Prevention (2013a): Clinical Signs and Symptoms of Influenza.
Online im Internet: <http://www.cdc.gov/flu/professionals/acip/clinical.htm> (Zugriff am: 02.05.2013).

Centers for Disease Control and Prevention (2013b): Key Facts about Influenza (Flu) & Flu Vaccine.
Online im Internet: <http://www.cdc.gov/flu/keyfacts.htm> (Zugriff am 02.05.2013).

Gasser, Michaela (2013): 112.502 Vorarlberger pendeln täglich zu ihrem Arbeitsplatz. In: Vorarlberger Nachrichten, 18. April 2013.

Gilbert, Nigel (2007): Agent-Based Models. Online im Internet:
<http://epubs.surrey.ac.uk/1580/1/fulltext.pdf> (Zugriff am: 26.03.2013).

Grimm, Volker u.a. (2006): A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. In: Ecological Modelling, 198 (2006), S. 115-126.

Grimm, Volker u.a. (2010a): The ODD protocol: A review and first update. Preprint of [Grimm 2010b]. Online im Internet: http://www.railsback-grimm-abm-book.com/Chapter03/GrimmEtAl2010_ODD-Update-1.pdf (Zugriff am: 11.04.2013).

Grimm, Volker u.a. (2010b): The ODD protocol: A review and first update. In: Ecological Modelling, 221 (2010), S. 2760-2768.

Haber, Michael J. u.a. (2007): Effectiveness of Interventions to Reduce Contact Rates during a Simulated Influenza Pandemic. Online im Internet: http://wwwnc.cdc.gov/eid/article/13/4/06-0828_article.htm (Zugriff am 04.07.2013).

Kammer für Arbeiter und Angestellte für Oberösterreich (Hrsg.) (2012): Der Österreichische Arbeitsgesundheitsmonitor. Grundlagen, Ziele und Ergebnisse. Online im Internet: http://media.arbeiterkammer.at/ooe/publikationen/arbeitsklimaindex/AKI_Schriftenreihe_Band_2.pdf (Zugriff am 24.06.2013).

Khalil, Khaled M. u.a. (2010): An Agent-Based Modeling for Pandemic Influenza in Egypt. In: The 7th International Conference on Information Systems (INFO 2010), S. 1-7.

Lim, Kim-Huat (2004): The SEIR Epidemic Model. Online im Internet: [http://www.stats.ox.ac.uk/~lim/SEIR\(KimHuat%20LIM\).pdf](http://www.stats.ox.ac.uk/~lim/SEIR(KimHuat%20LIM).pdf) (Zugriff am 25.06.2013).

Mönch, Lars (2012): Multiagentensysteme. Online im Internet: <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-enzyklopaedie/lexikon/technologien-methoden/KI-und-Softcomputing/Multiagentensystem/index.html> (Zugriff am: 09.07.2013).

Mossong, Joël u.a. (2008): Social Contacts and Mixing Patterns Relevant to the Spread of Infectious Diseases. Online im Internet: <http://www.plosmedicine.org/article/info:doi/10.1371/journal.pmed.0050074> (Zugriff am: 04.07.2013).

Railsback, Steven F.; Volker Grimm (2012): Agent-Based and Individual-Based Modeling. A practical introduction. New Jersey: Princeton University Press.

SimPlan AG (2013): AnyLogic. Online im Internet: http://www.simplan.de/index.php?option=com_content&view=article&id=200&Itemid=142&lang=de (Zugriff am 04.07.2013).

Statistik Austria (2008): Impfschutz. Online im Internet: www.statistik.at/web_de/static/impfschutz_200607_032172.pdf (Zugriff am: 12.07.2013).

Statistik Austria (2010a): Durchschnittliche Zeitverwendung pro Tag (Montag – Freitag) aller Personen ab 10 Jahren nach ausgewählter Haupttätigkeit. Online im Internet:

[www.statistik.at/web_de/static/durchschnittliche_zeitverwendung_pro_tag_montag - freitag aller personen a 052099.pdf](http://www.statistik.at/web_de/static/durchschnittliche_zeitverwendung_pro_tag_montag_-_freitag_aller_personen_a_052099.pdf) (Zugriff am 25.05.2013).

Statistik Austria (2010b): Durchschnittliche Zeitverwendung pro Tag (Samstag – Sonntag) aller Personen ab 10 Jahren nach ausgewählter Haupttätigkeit. Online im Internet:

[www.statistik.at/web_de/static/durchschnittliche_zeitverwendung_pro_tag_samstag - sonntag aller personen 052100.pdf](http://www.statistik.at/web_de/static/durchschnittliche_zeitverwendung_pro_tag_samstag_-_sonntag_aller_personen_052100.pdf) (Zugriff am 25.05.2013).

Statistik Austria (2012a): Jahresdurchschnittsbevölkerung 2011 nach Alter und Bundesland – Insgesamt. Online im Internet:

http://www.statistik.at/web_de/statistiken/bevoelkerung/bevoelkerungsstruktur/bevoelkerung_nach_alter_geschlecht/023428.html (Zugriff am: 10.05.2013).

Statistik Austria (2012b): Jahresdurchschnittsbevölkerung 2011 nach Alter und Bundesland – Männer. Online im Internet:

http://www.statistik.at/web_de/statistiken/bevoelkerung/bevoelkerungsstruktur/bevoelkerung_nach_alter_geschlecht/023429.html (Zugriff am: 10.05.2013).

Statistik Austria (2012c): Jahresdurchschnittsbevölkerung 2011 nach Alter und Bundesland – Frauen. Online im Internet:

http://www.statistik.at/web_de/statistiken/bevoelkerung/bevoelkerungsstruktur/bevoelkerung_nach_alter_geschlecht/023430.html (Zugriff am: 10.05.2013).

Statistik Austria (2013a): Impressum. Online im Internet:

http://www.statistik.at/web_de/impressum/index.html (Zugriff am: 01.06.2013).

Statistik Austria (2013b): STATcube – Statistische Datenbank. Online im Internet:

http://www.statistik.at/web_de/services/datenbank_superstar/index.html (Zugriff am 03.06.2013).

Statistik Austria (2013c): Zeitverwendungserhebung 2008/09. Online im Internet:

http://www.statistik.at/web_de/statistiken/soziales/zeitverwendung/zeitverwendungserhebung/index.html (Zugriff am 25.05.2013).

Statistik Austria (o.J.a): STATcube – Statistische Datenbank von Statistik Austria. Privathaushalte (Mikrozensus-Arbeitskräfteerhebung). Online im Internet:

<http://statcube.at/superwebguest/autoLoad.do?db=def1824> (Zugriff am 03.06.2013).

Statistik Austria (o.J.b): STATcube – Statistische Datenbank von Statistik Austria. Mikrozensus-Arbeitskräfteerhebung Jahresdaten. Online im Internet:

<http://statcube.at/superwebguest/login.do?guest=guest&db=deake001j> (Zugriff am 27.05.2013).

Van den Dool, Carline u.a. (2009): A Model-based Assessment of Oseltamivir Prophylaxis Strategies to prevent Influenza in Nursing Homes. In: Emerging Infectious Diseases, 15 (10), S. 1547-1555.

Zugleich online im Internet: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2866379/> (Zugriff am 04.07.2013).

Verkehrsverbund Vorarlberg (2012): Geschäftsbericht 2011. Online im Internet:

http://www.vmobil.at/fileadmin/downloads/_news/_VVV/VVV_GB_2011.pdf (Zugriff am 15.06.2013).

Vorarlberger Bildungsservice (2013): Hauptschulen/Mittelschulen in Vorarlberg. Online im Internet:

<http://www.vobs.at/index.php?id=139> (Zugriff am: 02.08.2013)

Wirtschaftskammer Österreich (o.J.): Arbeitgeberbetriebe 2009 - 2012 – Vorarlberg. Online im

Internet: <http://wko.at/statistik/bundesland/Arbeitgeber%20Vbg.pdf> (Zugriff am: 03.07.2013).