



DIPLOMARBEIT

Finanzierung der Gebietskrankenkassen in Österreich: Entwicklung eines qualitativen Kostenmodells mittels System Dynamics

Ausgeführt am Institut für
Analysis und Scientific Computing
der Technischen Universität Wien

unter der Anleitung von Ao.Univ.Prof. Dr. Felix Breitenecker

durch

Patrick Einzinger
Engelmansbrunn 122
3470 Kirchberg am Wagram
Österreich

Datum

Unterschrift (Student)

Danksagung

Zuerst möchte ich mich bei meinem Betreuer, Prof. Felix Breitenecker, bedanken. In seiner Arbeitsgruppe mitwirken zu dürfen bietet nicht nur fachliche, sondern auch menschliche Erfahrungen, von denen ich immer profitieren werde.

Günther Zauner und Niki Popper von der „Drahtwarenhandlung“ haben mir viel ihrer Zeit geopfert und halfen mit ihrer Modellbildungserfahrung bei allen möglichen Problemen. Ihnen gilt besonderer Dank, außerdem allen anderen Mitgliedern der ARGESIM (Arbeitsgemeinschaft Simulation) für die gemeinsamen Erlebnisse, speziell auf der jährlichen Toskanareise.

Meine Familie und meine Freundin haben mich über all die Jahre meines Studiums unterstützt. Sie haben großen Anteil an dessen erfolgreichem Abschluss und nehmen einen wichtigen Platz in meinem Leben ein.

Diese Diplomarbeit wurde in Kooperation mit dem Hauptverband der österreichischen Sozialversicherungsträger geschrieben. Für die Zusammenarbeit und die zur Verfügungsstellung der Daten über Versicherungsleistungen möchte ich mich bei allen daran beteiligten Personen herzlich bedanken.

Zusammenfassung

Das österreichische System der sozialen Krankenversicherung hat seit einigen Jahren große finanzielle Probleme. Speziell bei manchen Gebietskrankenkassen steigt die Inanspruchnahme von Gesundheitsleistungen und insbesondere von Heilmitteln stärker an als die Beiträge der Versicherten. Da das Gesundheitssystem verschiedene Arten von Rückkopplungen und Steuerungsmöglichkeiten besitzt, welche von der Information und den Interessen der einzelnen Akteure (Leistungserbringer, Versicherte, Krankenkassen) abhängen, wird in dieser Diplomarbeit ein System Dynamics Kostenmodell einer Gebietskrankenkasse entwickelt, welches speziell die Finanzierungsströme betrachtet. Die Beiträge der Versicherten und die Versicherungsleistungen hängen dabei von der Versichertenstruktur und damit von der Bevölkerungsentwicklung ab. Ein großer Teil der Einwohner eines Bundeslandes ist in der jeweiligen Gebietskrankenkasse versichert. Dies wird durch ein in das Kostenmodell integriertes, dynamisches Bevölkerungsmodell abgebildet. Zudem werden basierend auf der Versichertenstruktur Krankheiten generiert, die in akute und chronische unterteilt sind, um dem unterschiedlichen Verlauf und Bedarf an Versicherungsleistungen verschiedener Krankheitsarten im Modell Rechnung zu tragen.

Exemplarisch wird basierend auf dem gleichen Bevölkerungsmodell auch ein eigenes Modell für eine bestimmte chronische Erkrankung, die COPD (Chronic Obstructive Pulmonary Disease), entwickelt, um zu zeigen, wie das Auftreten von einzelnen Krankheiten über den Zeitverlauf und deren Inanspruchnahme von Gesundheitsleistungen (und damit ihre Auswirkungen auf die Finanzierung) genauer abgebildet und in das Gesamtmodell integriert werden können. Die iterative Modellverfeinerung sowie der Aufbau und die

Umsetzung unterschiedlicher Modellbildungstiefen wird anhand der Einbindung des genau formulierten Modells zu COPD in das Modell des Globalverhaltens gezeigt.

Das Kostenmodell wird mit standardmäßigen Parametern im Basislauf sowie zwei unterschiedlichen Szenarien - gleichen Neuerkrankungswahrscheinlichkeiten für alle Altersgruppen und einer Strategie zur Anpassung der Beitragssätze - getestet, während mit dem COPD-Modell die zeitlich verzögerte Anpassung der Prävalenz (und damit der Kosten) aufgrund einer plötzlichen Senkung des Raucheranteils untersucht wird.

Die Empfindlichkeit einzelner Parameter wird mit den Sensitivitätsanalyse- Werkzeugen der verwendeten Software Vensim getestet. Dies führt zu verbessertem Wissen darüber, welche Art von Daten in größerer Genauigkeit von empirischen Studien benötigt werden, um qualitatives und quantitatives Verhalten vorherzusagen.

Abstract

During the last few years the Austrian Health Insurance System has had severe financial problems. The use of health services and costs for drugs rise stronger, especially for some of the nine regional health insurances. The health system contains various types of feedback loops and control possibilities, which depend on information and interests of the different players (health care providers, insured persons, health insurances). Therefore a System Dynamics cost model of a regional health insurance is constructed, with special regard to its cash flows. Contributions of the insured persons depend on their number and demographic structure and thus on the population development. A major part of the inhabitants of a federal country is insured by the particular regional health insurance. This is represented by a dynamic population model which is integrated into the cost model. Additionally, the insured persons develop (according to their demographic structure) illnesses which are separated into chronic and acute ones to allow for different progress and demand for health care of distinct classes of diseases.

Exemplarily, a separate model for one particular disease, namely COPD (Chronic Obstructive Pulmonary Disease), is developed based on the same population model to show how the incidence of certain illnesses and their demand for health services (and therefore their influence on financing) can be modeled in more detail and how it can be integrated into the general model. Thus the possibility of iterative refinement is shown.

The cost model is tested in a base run with standard parameters and in two different scenarios: equal probabilities of new illnesses and an adaption policy for contribution fractions. With the COPD-model, the time-delayed adjustment of prevalence (and thus of expenses) due to a sudden decrease of

the ratio of smokers is investigated.

The sensitivity of several parameters is tested with the sensitivity analysis tools of used software Vensim. This leads to better knowledge about data that are needed by empirical studies with higher accuracy to predict qualitative and quantitative behaviour.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	i
Zusammenfassung	i
Abstract	iii
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.1.1 Beitrag eines dynamischen Modells zur Bewältigung des Finanzierungsproblems der Krankenkassen	3
1.1.2 Bisherige Versuche, ein Gesundheitssystem oder Kran- kenversicherungen zu modellieren	4
1.1.3 Ziel der Arbeit	5
1.2 Grundlegendes über das österreichische Krankenversicherungssystem	5
1.3 Das Modell von Andersen - ein Verhaltensmodell zur Inan- spruchnahme von medizinischen Leistungen	7
1.4 COPD	9
2 System Dynamics	10
2.1 Begriffe System und Modell	10
2.2 Die Methode System Dynamics	11
2.2.1 Wirkungsdiagramme	13
2.2.2 Zustandsgrößen und Strukturdiagramm	14
2.2.3 Gleichungen des Modells	16

2.3	Begründung von System Dynamics als Methode der Wahl	17
3	Entwurf des Modells	21
3.1	Verwendete Software	21
3.2	Grundstruktur des Modells	22
3.3	Beschreibung des Bevölkerungsmodells	24
3.4	Generierung der Versicherten	28
3.4.1	Modellierung der einzelnen Ausgaben- und Einnahmen- positionen	29
3.5	Versicherungsleistungen	30
3.5.1	Erkrankungen - Arzthilfe - Heilmittel	32
3.6	Ein Modell der Entwicklung von COPD-Erkrankungen	40
4	Ergebnisse	47
4.1	Ergebnisse des Kostenmodells	47
4.1.1	Bevölkerungsmodell	47
4.1.2	Basislauf	48
4.1.3	Sensitivitätsanalysen	53
4.1.4	Szenario: Anpassung der Beitragssätze	55
4.2	Ergebnisse COPD-Modell	57
4.2.1	Sensitivitätsanalysen	59
4.2.2	Szenario: keine neuen Raucher	60
5	Fazit und Ausblick	62
	Literaturverzeichnis	65
	Abbildungsverzeichnis	71
	Tabellenverzeichnis	74

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Motivation

Im Jahr 2006 wurden in Österreich insgesamt 26,057 Mrd. Euro für Gesundheit ausgegeben, davon entfallen 19,856 Mrd. Euro auf Ausgaben des Staates und der Sozialversicherungsträger sowie 6,201 Mrd. Euro auf Ausgaben der privaten Haushalte und privaten Versicherungsunternehmen. Betrug der Anteil der Gesundheitsausgaben am Bruttoinlandsprodukt im Jahr 1990 noch 8,4 Prozent, waren es 2005 schon 10,3 Prozent (2006 sank der Anteil wieder auf 10,1 Prozent des BIP) [1].

Der Gesundheitszustand der Österreicher und Österreicherinnen ab 15 Jahren wurde in einer von der Statistik Austria von März 2006 bis Februar 2007 durchgeführten Gesundheitsbefragung untersucht. Dabei schätzen etwa 76 Prozent der Befragten ihren eigenen Gesundheitszustand als zumindest „gut“ (1991: 71 Prozent), aber nur 6 Prozent als „schlecht“ oder „sehr schlecht“ (1991: 7 Prozent) ein [2]. Die Erwartung der in zumindest guter Gesundheit verbrachten Lebensjahre stieg zwischen 1991 und 2006 um 6,3 Jahre bei den Frauen beziehungsweise 6,1 Jahre bei den Männern.

Diesen positiven Ergebnissen standen in den letzten Jahren allerdings massive Probleme bei der Finanzierung gegenüber, speziell im Fall der Krankenversicherungen. Die österreichischen öffentlichen Krankenkassen erzielten im Jahr 2006 insgesamt Einnahmen von 11,057 Mrd. Euro, hatten aber Aus-

gaben von 11,150 Mrd. Euro [3], was vor allem an der negativen Gebarung der Gebietskrankenkassen lag, die um etwa 167 Mio. Euro mehr ausgaben, als sie einnahmen. Von 2006 auf das Jahr 2007 verschlechterte sich die Situation nochmals, denn während die Ausgaben der öffentlichen Krankenversicherung um 6,4 Prozent auf etwa 13,178 Mrd. Euro stiegen, erhöhten sich die Einnahmen nur um 4,2 Prozent auf 12,839 Mrd. Euro, wodurch sich eine Differenz von nunmehr 339 Mio. Euro ergab [4].

Am Beispiel der Wiener Gebietskrankenkasse ist ersichtlich, dass die Beiträge der Versicherten im Zeitraum von 1997 bis 2006 um durchschnittlich 2,38 Prozent pro Jahr stiegen, während sich die Kosten für Arzthilfe um durchschnittlich 3,32 Prozent und für Heilmittel um 6,37 Prozent pro Jahr erhöhten. Vergleicht man diese Zahlen mit dem Bruttoinlandsprodukt pro Erwerbstätigem, welches im gleichen Zeitraum um durchschnittlich 3,26 Prozent pro Jahr wuchs, wird deutlich, dass ein Hauptproblem der Krankenkassen die sogenannte Beitragserosion ist (siehe dazu etwa [5]). Im Jahr 1997 wurden die Ausgaben für Arzthilfe, Heilmittel, Zahnbehandlung und Zahnersatz sowie Anstaltspflege (insgesamt 1,328 Mrd. Euro) noch leicht von den Beiträgen (1,454 Mrd. Euro) abgedeckt, im Jahr 2006 dagegen musste die Wiener Gebietskrankenkasse für diese Bereiche Ausgaben von 1,878 Mrd. Euro aufwenden, denen nur 1,853 Mrd. Euro an Beiträgen gegenüberstanden.

Auf der Ausgabenseite sind es vor allem die Heilmittel, die in den letzten Jahren einen überdimensionalen Kostenanstieg verursacht haben. In der 2008 nach einem Vorschlag der Sozialpartner von der österreichischen Bundesregierung entworfenen Gesundheitsreform - die aufgrund der vorgezogenen Neuwahlen bisher nicht umgesetzt wurde - waren daher zwei Maßnahmen dagegen geplant, die „aut idem“-Regelung und die Einführung einer Patientenquittung [6]. Nach ersterer hätten Ärzte im Normalfall - wenn medizinische Gründe nicht dagegen gesprochen hätten - nur mehr Wirkstoffe verordnet, ein konkretes Präparat wäre vom Apotheker oder der Apothekerin unter denjenigen ausgesucht worden, deren Preis unter einem Referenzpreis gelegen hätte. Damit wollte man den verstärkten Einsatz von Generika erreichen. Bei der Patientenquittung wiederum hätten die Ärzte ihre Patienten nach jeder Inanspruchnahme über die erbrachten Leistungen schriftlich informiert.

1.1.1 Beitrag eines dynamischen Modells zur Bewältigung des Finanzierungsproblems der Krankenkassen

Maßnahmen wie die in Abschnitt 1.1 genannten haben eine Ausgabensenkung zum Ziel. Alternativ dazu gab es in der Vergangenheit immer wieder Erhöhungen der Beitragssätze, etwa jüngst von 2007 auf 2008 um 0,15 Prozent [7, 8]. Einzelne Änderungen haben aber oft nicht nur die gewünschten Auswirkungen auf das Gesamtsystem. Erstens können kurzfristige Einsparungen beziehungsweise Mehrausgaben durchaus langfristig zu höheren beziehungsweise niedrigeren Kosten führen, was etwa anhand von Vorsorgeprogrammen deutlich wird. Zweitens muss man sich die Frage stellen, ob eingespartes Geld aufgrund der Struktur des Systems nicht ohnehin wieder anderswo ausgegeben wird, etwa weil der Druck zur Kostenminimierung auf Krankenkassen und Leistungserbringer sinkt. Somit erscheint eine nur isolierte Betrachtung der Wirksamkeit von Eingriffen ins Gesundheitswesen ohne Blick auf das Gesamtsystem wenig sinnvoll.

Für eine Beschreibung des Systems „Gesundheitswesen“ - es gehört zur Klasse der sozialen Systeme (im Gegensatz zu mechanischen oder organischen Systemen), siehe [9] - kann dynamische Modellbildung und Simulation einen entscheidenden Beitrag zum Systemverständnis dieses hochkomplexen Systems mit einer Vielzahl von Rückkopplungen und unterschiedlichen Verzögerungsgliedern leisten. Mit dem System selbst können nur sehr beschränkt Experimente durchgeführt werden, mit welchen Verhaltensänderungen es auf Eingriffe reagiert. Einerseits lässt sich damit höchstens ein „Versuchsaufbau“ gleichzeitig realisieren, und es muss sehr lange auf Ergebnisse gewartet werden. Andererseits wäre eine große Anzahl von Menschen von den Auswirkungen - welche oft negativ sein können - betroffen. Damit bietet sich die Erstellung eines Modells an, welches die Struktur des Systems möglichst umfassend abbildet. Experimente mit einem solchen Modell sollen dann ein tieferes Systemverständnis ermöglichen.

1.1.2 Bisherige Versuche, ein Gesundheitssystem oder Krankenversicherungen zu modellieren

Bisher wurden für die Modellierung von Gesundheits- und Krankenversicherungssystemen oder der Gesundheitsausgaben vor allem Regressionsmodelle verwendet, so etwa von Riedel et al. in einem Nachfragemodell für die gesamten und die öffentlichen Gesundheitsausgaben in Österreich [10]. Dieses benutzt als unabhängige Variablen den Anteil der über 65-Jährigen an der Gesamtbevölkerung, die Anzahl der Fachärzte für Radiologie pro 100.000 Einwohner, die Anzahl der Akutbetten pro 100.000 Einwohner, die Lebenserwartung mit 65 Jahren, den relativen Gesundheitspreisindex (Inflation im Gesundheitswesen im Vergleich zur gesamtwirtschaftlichen Inflation), die Anzahl der Verstorbenen pro 100.000 und Jahr, den Anteil der Pflichtschulabsolventen der 25-60-Jährigen und das Bruttoinlandsprodukt pro Kopf zu Preisen von 1995. Eine Vorausschätzung mit diesem Modell prognostiziert eine Verdreifachung der gesamten Gesundheitsausgaben bis zum Jahr 2050. Ein Regressionsmodell kann jedoch keine rückgekoppelten dynamischen Effekte abbilden. Die Einflüsse der einzelnen Variablen müssen über den gesamten Zeitverlauf als konstant angenommen werden. Zudem bildet ein derartiges Modell die Struktur und Komplexität des Systems nicht ab.

Ein System Dynamics Modell des deutschen Krankenversicherungssystems wurde 2005 von Grösser veröffentlicht [11]. Er konzentriert sich dabei auf die Maßnahmen Anpassung des Beitragssatzes, Einführung eines Selbstbehaltes in der Krankenversicherung und Druck auf die Regierung, die Gesundheitsausgaben zu senken, und versucht, die Frage zu beantworten, weshalb die Krankenversicherung es bisher nicht geschafft hat, ausgeglichen zu bilanzieren und welche politischen Strategien zum Erfolg führen könnten.

Dabei werden auch Einflüsse von Arbeitslosigkeit und Lohnnebenkosten berücksichtigt. Allerdings werden in diesem Modell für die Berechnung der Gesundheitsausgaben nur die Zahl der Inanspruchnahmen des Gesundheitssystems und durchschnittliche Kosten pro Inanspruchnahme verwendet, also keine detaillierte Aufschlüsselung nach der Art der entstandenen Kosten vorgenommen.

Dennoch wurde dieses Modell als Basis herangezogen, um in einem ersten Schritt für österreichische Krankenkassen eine Modellierung in ähnlicher Detailtiefe zu erstellen. Diese wurde dann im Sinne einer iterativen Modellbildung sukzessive genauer an die Struktur des Systems angepasst.

1.1.3 Ziel der Arbeit

In dieser Arbeit werden die Finanzierungsströme von österreichischen Gebietskrankenkassen betrachtet und daraus ein System Dynamics Kostenmodell erstellt. Dabei wird versucht, die vorhandenen Daten bestmöglich einzubinden, aber auch aufgezeigt, in welchen Bereichen zusätzliche Daten und Erkenntnisse nötig sind, um einerseits die tatsächliche Struktur des Systems und andererseits die nötigen Parameter sicher bestimmen zu können. Im nächsten Abschnitt wird eine kurze Einführung in das österreichische Krankenversicherungssystem gegeben.

Der wichtigste Faktor für die Inanspruchnahme von Gesundheitsleistungen (und damit der Krankenversicherung) ist das Auftreten von Erkrankungen. Im allgemeinen Kostenmodell werden Krankheiten nur abstrakt in chronische und akute eingeteilt, zudem noch in jene, welche einer stationären Behandlung bedürfen. Eine Aufteilung nach Art der Diagnose (beispielsweise durch die ICD 10 Codierung) ist offensichtlich nicht mit vertretbarer Komplexität des Modells möglich, allerdings können durchaus einzelne Erkrankungen mit großer ökonomischer Bedeutung detaillierter abgebildet werden. Um diese Modellverfeinerungen und die Einbindung unterschiedlicher Modellbildungstiefen aufzuzeigen, wird exemplarisch für eine chronische Erkrankung, die COPD (Chronic Obstructive Pulmonary Disease), ein eigenes System Dynamics Modell erstellt und in das Gesamtmodell eingebunden.

1.2 Grundlegendes über das österreichische Krankenversicherungssystem

In Österreich wurden im Jahr 2004 laut Statistik Austria etwas über 46 Prozent der gesamten Gesundheitsausgaben von der sozialen Krankenversi-

cherung finanziert [12]. Es herrscht - mit Ausnahmen einiger weniger Bevölkerungsgruppen, für welche die Möglichkeit eines „opting out“ besteht - Versicherungspflicht bei einem der 21 Krankenversicherungsträger, denen man je nach Berufsgruppe zugeteilt wird. Unselbstständig Erwerbstätige sind zu einem großen Teil (Ausnahmen bilden öffentlich Bedienstete und die bei einer der acht Betriebskrankenkassen beziehungsweise der Versicherungsanstalt für Eisenbahnen und Bergbau Versicherten) in der Gebietskrankenkasse des Bundeslandes des Arbeitgebers krankenversichert. Im Jahr 2007 waren im Jahresdurchschnitt 76,8 Prozent der Krankenversicherten (ohne mitversicherte Angehörige) in Gebietskrankenkassen versichert [13].

Die Krankenversicherungsanstalten finanzieren sich überwiegend aus den Pflichtbeiträgen der Versicherten. Im Jahr 2007 kamen beispielsweise 83,5 Prozent der Einnahmen der sozialen Krankenversicherung aus den Beiträgen [4]. Deren Höhe richtet sich nach dem Bruttoeinkommen (bis zu einer festgelegten Höchstbeitragsgrundlage). Seit 1. Jänner 2008 gilt ein einheitlicher Krankenversicherungsbeitragssatz für Arbeiter und Angestellte von 7,65 Prozent der Beitragsgrundlage; je etwa die Hälfte ist von Dienstgeber und Dienstnehmer zu bezahlen. Davor waren die Beiträge um 0,15 Prozent niedriger.

Die Versicherten haben einen Anspruch auf kostenlose Behandlung (bei manchen Krankenkassen gibt es allerdings einen Selbstbehalt) bei allen Vertragspartnern ihrer Krankenkasse. Die Leistungserbringer (vor allem Ärzte) sind dabei nicht bei den Kassen beschäftigt oder gar Angestellte eines nationalen Gesundheitsdienstes wie in Großbritannien, sondern großteils selbstständig (Ausnahmen stellen etwa Kassenambulanzen dar). Es besteht auch die Möglichkeit, Wahlärzte zu konsultieren, die nicht Vertragspartner der eigenen Kasse sind. Hierbei muss die Rechnung selbst bezahlt werden, die Kasse refundiert dann 80 Prozent der Kosten, die bei einem ihrer Vertragspartner angefallen wären.

Da - abgesehen von Selbstbehalten - der Konsument der Leistungen (der oder die Versicherte) also im Normalfall diese nicht selbst bezahlt, kann es zum Auftreten von „Moral Hazard“ kommen, d.h. zu opportunistischem Verhalten des Versicherten [14, p. 37]. Dieser Moral Hazard kann *ex ante* sein,

wenn auf Krankheitsvorbeugung und einen gesunden Lebenswandel verzichtet wird, weil man die durch Inanspruchnahme des Gesundheitswesens entstehenden Folgekosten nicht zu tragen hat, oder *ex post*, wenn der Erkrankungsfall schon eingetreten ist, aber für die Schwere der Erkrankung zu hohe oder unnötige Behandlungskosten verursacht werden. Voraussetzung dafür ist, dass die Versicherung dieses Verhalten nicht beobachten kann (und normalerweise kann sie das auch tatsächlich nicht, etwa beim Lebenswandel) [15].

1.3 Das Modell von Andersen - ein Verhaltensmodell zur Inanspruchnahme von medizinischen Leistungen

Eine wichtige Fragestellung bei der Konstruktion eines dynamischen Kostenmodells ist die Inanspruchnahme von Gesundheitsleistungen und deren Einflussfaktoren. Ende der 1960er Jahre entwickelte Ronald M. Andersen in den USA ein Verhaltensmodell, dessen Aufgabe es war, die Inanspruchnahme medizinischer Leistungen durch Familien zu erklären [16]. Es ist in den letzten Jahrzehnten wiederholt überarbeitet [17] und für empirische Studien als Grundlage herangezogen worden, im deutschen Sprachraum zum Beispiel in [18]. Die Familie ist nicht mehr wie ursprünglich die Basiseinheit des Modells, sondern der einzelne Patient.

Andersen teilt die auf die Inanspruchnahme wirkenden Faktoren in drei Kategorien ein:

1. Predisposing Characteristics
2. Enabling Resources
3. Need

„Predisposing Characteristics“ sind jene Faktoren, die insofern nur einen indirekten Einfluss auf die Inanspruchnahme ausüben, als sie die Prädisposition dafür verändern. Andersen nennt als Beispiele demographische Ei-

genschaften, also Alter und Geschlecht, soziale Struktur und Bildungsstand, aber auch die persönlichen Einstellungen des möglichen Patienten gegenüber Gesundheitsversorgung.

„Enabling Resources“ dagegen ermöglichen oder erleichtern die Inanspruchnahme. Im persönlichen Bereich können dies Einkommen, eine abgeschlossene Krankenversicherung oder auch frei verfügbare Zeit sein, im öffentlichen Bereich etwa die Infrastruktur der Gesundheitsversorgung.

„Need“ drückt das tatsächliche Bedürfnis nach Gesundheitsleistungen aus, wobei hier unterschieden wird, ob dieses Bedürfnis einem professionellen Urteil nach oder aus der Sicht des Patienten vorliegt.

Aus der Sicht der dynamischen Modellbildung ist wichtig, dass zuletzt auch eine Rückkopplungsstruktur zu dem Verhaltensmodell hinzugefügt wurde. Die Inanspruchnahme von Gesundheitsleistungen ändert sowohl den tatsächlichen und den subjektiven Gesundheitsstatus als auch die Zufriedenheit des Patienten, genau wie es im tatsächlichen Leben zu erwarten ist. Dies beeinflusst die Faktoren und somit wiederum die Inanspruchnahme.

Nicht alle Einflussfaktoren konnten im Rahmen dieser Arbeit berücksichtigt werden; trotzdem sind Komponenten aus jeder der drei Kategorien im Modell integriert, etwa die Demographie („Predisposing Characteristics“), die Ärztedichte als Maßstab für die Versorgung („Enabling Resources“) und das Auftreten von Krankheiten als wichtigstes Kriterium für „Need“.

Ein Merkmal, welches über einen sehr langen Zeitraum den Bedarf an medizinischen Leistungen erhöht, ist das Vorhandensein von chronischen Erkrankungen. Diese können in der Modellbildung zuerst allgemein behandelt werden; es ist aber auch möglich, einzelne chronische Krankheiten genauer zu modellieren, wenn man Informationen über ihren Verlauf, ihre Prävalenz und Inzidenz sowie die von ihnen verursachten Kosten hat. Als Beispiel, wie die Modellstruktur auf diese Weise verfeinert werden kann, wird im nächsten Abschnitt eine ausgewählte chronische Erkrankung kurz vorgestellt, die COPD (Chronic Obstructive Pulmonary Disease).

1.4 COPD

Die COPD ist eine chronische obstruktive Ventilationsstörung, die dann diagnostiziert wird, wenn bei einem Patienten bei einer Lungenfunktionsüberprüfung der Quotient FEV1/FVC kleiner als 0,7 ist - wobei FEV1 die Ausatemkapazität in einer Sekunde und FVC das gesamte ausgeatmete Luftvolumen bezeichnet - und zudem eine zumindest mehrjährige Schadstoffbelastung vorliegt [19].

Sie ist irreversibel, es ist höchstens möglich, das Fortschreiten der Erkrankung und damit die Verschlechterung der Lungenfunktion zu verzögern. Dies hat wichtige Konsequenzen für die Modellbildung, wie aus Abschnitt 3.6 ersichtlich wird. Die Stadien der COPD (medizinisch eingeteilt in Grad I bis IV) wurden durch die GOLD-Richtlinien (**G**lobal initiative for chronic **O**bstructive **L**ung **D**isease) festgelegt. Speziell bei fortgeschrittenem Krankheitsbild sind die Symptome (etwa chronischer Husten, Atemnot speziell unter Belastung und Auswurf) für den Patienten sehr belastend und verursachen Kosten für das Gesundheitssystem, da in der Regel mit inhalativen Corticosteroiden (ähnlich wie bei Asthma) behandelt wird [20].

In Österreich wurde die Prävalenz der COPD bei Personen, die älter sind als 40 Jahre, im Rahmen der repräsentativen BOLD-Studie (**B**urden of **O**bstructive **L**ung **D**isease) gemessen, wobei 26,1 Prozent der Stichproben mindestens COPD Stadium I und 10,7 Prozent mindestens COPD Stadium II aufwiesen [21]. Bis zum Jahr 2020 wird mit einem Anstieg von COPD von etwa einem Viertel gerechnet und vorausgesagt, dass COPD weltweit die dritthäufigste Todesursache sein könnte [22]. Daher rechtfertigt die gesundheitsökonomische Bedeutung der COPD die Auswahl als repräsentative chronische Erkrankung, von der im Rahmen dieser Arbeit ein eigenes dynamisches Modell erstellt wird.

Da das Rauchen der wichtigste verhinderbare Faktor für die Entstehung und Verschlechterung einer COPD ist, werden dabei auch die Anteile der Raucher an den einzelnen Altersgruppen der Bevölkerung und deren Auswirkungen auf die Prävalenz berücksichtigt.

Kapitel 2

System Dynamics

2.1 Begriffe System und Modell

Der Mensch ist umgeben (und Teil) von unzähligen Systemen, denn die allgemeinste Definition eines Systems ist die eines Objektes, das aus mehreren zueinander in Beziehung stehenden Elementen aufgebaut ist. Dabei muss nicht jedes Element mit allen anderen direkt in Beziehung stehen. Dieser Systembegriff wird allerdings nicht einheitlich verwendet, manche Autoren halten etwa noch einen bestimmten Zweck des Systems für notwendig [9]. Auch die Existenz von Elementen oder Relationen, deren Herauslösung die Systemidentität zerstört, wird unter Umständen gefordert [23].

Jedenfalls existieren so unterschiedliche Systeme wie physikalische und mechanische, man denke etwa an Autos, ökonomische (zum Beispiel die Weltwirtschaft), soziale (das in dieser Arbeit betrachtete System, nämlich das Gesundheitssystem und spezieller, die Gebietskrankenkassen als soziale und gleichzeitig ökonomische Systeme), biologische (Organismen), ökologische (Ökosysteme) und noch einige mehr. Viele dieser Systeme sind dynamisch, das heißt, sie verändern sich im Zeitverlauf (streng genommen machen das fast alle Systeme, aber beispielsweise können die Veränderungen eines Tisches über den betrachteten Zeitverlauf praktisch ignoriert werden).

Um verschiedene Aussagen über die Struktur oder das Verhalten eines Systems zu gewinnen, ist es zum einen möglich, dieses direkt zu beobachten.

Allerdings ist das oft nur eingeschränkt möglich, und wenn die Reaktion des Systems auf verschiedene externe Einflüsse untersucht werden soll, kann es problematisch sein, diese Experimente am System selbst durchzuführen, etwa weil eine lange Zeitspanne benötigt werden würde, um brauchbare Ergebnisse zu erhalten, weil das System selbst nicht abgeschlossen ist, sondern viele externe Einflüsse hat oder weil Eingriffe nicht reversibel wären. Beispielsweise würde man keine Pandemie auslösen wollen, um die Auswirkungen auf das Gesundheitssystem eines Landes zu studieren.

Die im Prinzip einzige Alternative dazu ist, sich eines geeigneten Modells zu bedienen, wobei ein Modell laut Definition ein Abbild der zu betrachtenden Wirklichkeit darstellt. Selbst das bloße Nachdenken über ein System setzt schon ein gedankliches Modell im Geist des Systemanalytikers voraus. Dieses ist bereits durch das subjektive Empfinden des Betrachters beeinflusst und damit nicht mehr gänzlich objektiv. Es gibt daher kein exaktes universelles Abbild der Wirklichkeit. Teilt man dieses Modell jemand anderem mit, erhält man ein Wortmodell. Werden alle Informationen weiter strukturiert und wird das Modell exakt und präzise dargestellt, führt das zu einem formalen Modell, wobei hier insbesondere mathematische Modelle zu nennen sind.

2.2 Die Methode System Dynamics

Da für mathematische Modelle, die ausschließlich auf dem Papier existieren, die zeitliche Entwicklung nur sehr mühsam berechnet werden kann, ging man vor allem mit der Entwicklung des digitalen Computers (teilweise aber auch schon mit analogen) dazu über, Computermodelle zu implementieren, die mit zunehmender Rechenkapazität immer schneller simuliert werden konnten.

Dies und die Erkenntnisse über das Verhalten von Regelsystemen sind die Grundlage für die Ende der 50er Jahre am Massachusetts Institute of Technology, Sloan School of Management, von Jay Wright Forrester entwickelte Methode System Dynamics (die er zuerst „Industrial Dynamics“ nannte [24]), welche sich mit der Modellbildung und Simulation komplexer dynamischer Systeme befasst.

Forrester sah System Dynamics zu Beginn vor allem als Werkzeug für

Manager an, um industrielle Prozesse (also speziell Unternehmen und die verschiedenen Abläufe, die sich in ihnen abspielen) besser zu verstehen, Entscheidungen zu treffen und sogar die Struktur von Unternehmen anhand der gewonnenen Erkenntnissen zu planen und iterativ anzupassen. Seiner Ansicht nach war die Managementwissenschaft seiner Zeit nicht auf praktische Probleme anwendbar - weil viel zu sehr nur auf mathematische Eleganz und das Finden einer optimalen Lösung stark vereinfachter Probleme beschränkt - und andererseits würden die Manager konkreter Unternehmen Entscheidungen auf der Basis ihrer Intuition und Erfahrung treffen, aber nicht aufgrund wissenschaftlicher Erkenntnisse. System Dynamics setzt es sich deshalb zum Ziel, mittels computergestützter Modellbildung und Simulation (und nicht analytisch) das Gesamtsystem zu untersuchen, welches wegen des Zusammenspiels seiner Elemente mehr ist als die Summe seiner Teile, und dabei spezielles Augenmerk auf im System auftretende Rückkopplungsschleifen zu legen. Eine Rückkopplungsschleife ist dann gegeben, wenn ein Element A ein Element B beeinflusst, und dieses (auch indirekt über andere Elemente des Systems) wiederum auf A wirkt.

Gerade die sich dadurch ergebenden Kreisläufe machen es für den Menschen schwer, Systemverhalten zu verstehen, welches oft kontraintuitiv ist, denn wir sind gewohnt, linear in geradlinigen Ursache-Wirkungsbeziehungen (die nicht auch in die Gegenrichtung ablaufen) zu denken. Stellt sich ein Problem, so wird versucht eine davon unabhängige Ursache zu finden. Da sich aber das Verhalten vieler Systeme eher aus deren Struktur und den vorhandenen Rückkopplungsschleifen als rein aus deren Elemente ergibt, muss dieses Denken scheitern [9].

System Dynamics geht daher einen anderen Weg. Zuerst muss eine klare Fragestellung vorliegen, damit die Erstellung eines Modells überhaupt Sinn macht, denn gerade die Fragen, die beantwortet werden sollen, bestimmen, wie komplex und umfassend ein Modell sein muss. Anschließend müssen diejenigen Größen, die für das Problem wichtig sein könnten, und deren Wirkungszusammenhänge - vorerst nur qualitativ, nämlich, ob eine positive, verstärkende oder negative, abschwächende Beeinflussung vorliegt - bestimmt werden. Geschlossene Kreisläufe von solchen Wirkungszusammenhängen er-

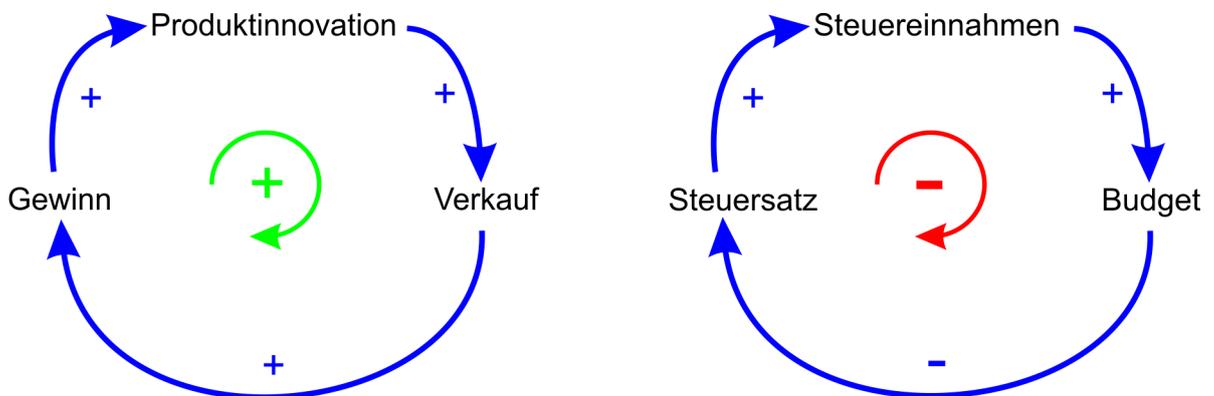


Abbildung 2.1: Positiver (links) und negativer (rechts) Regelkreis

geben dann genau die genannten Rückkopplungsschleifen.

Anschließend an das Aufstellen der Wirkungszusammenhänge werden die Zustandsgrößen des Systems identifiziert und deren Wechselwirkungen in einem Strukturdiagramm dargestellt. Erst dann werden die einzelnen Beziehungen mit mathematischen Gleichungen spezifiziert.

2.2.1 Wirkungsdiagramme

Es ist sinnvoll, sich die Wirkungszusammenhänge in einem Wirkungsdiagramm aufzuzeichnen; hier kennzeichnet man positive Beeinflussung durch ein Plus, negative Beeinflussung durch ein Minus. Es gibt zwei grundlegende Typen von Rückkopplungsschleifen, denn sie können ebenso wie einzelne Wirkungen insgesamt positiv oder negativ sein, nämlich genau dann, wenn sie eine gerade oder ungerade Anzahl negativer Wirkungen enthalten. Das Erstellen des Wirkungsdiagramms ist nach der Festlegung einer konkreten Problemstellung und dem Bilden eines Wortmodells der dritte Schritt im Modellierungsprozess.

In Abbildung 2.1 ist jeweils ein Beispiel für beide Arten von Regelkreisen dargestellt. Zum linken (einer positiven Rückkopplungsschleife) stelle man sich zum Beispiel ein Unternehmen vor, welches einen bestimmten Teil seines Gewinnes investiert, um neue Produktinnovationen zu erzeugen. Diese sollten dann im Normalfall zu besseren Verkaufszahlen führen, was wieder-

um den Gewinn steigert, damit kann mehr investiert werden und so weiter. Es sei angemerkt, dass in diesem Beispiel sicher auch noch andere Rückkopplungsschleifen existieren, etwa könnte sich das Unternehmen auf seinem Erfolg ausruhen, oder neue Innovationen könnten zu höheren Produktionskosten führen. Deshalb ist es entscheidend, möglichst alle Rückkopplungen einzubeziehen, die für die gestellte Aufgabe entscheidend sein könnten. Dies wird nicht immer schon im ersten Versuch möglich sein. Man versucht daher, das fertige Modell zu verifizieren und zu validieren, um es anschließend zu verändern, wenn es für die Problemstellung nicht angemessen ist. Dadurch ergibt sich ein Kreislauf des Modellbildens und Verifizierens/Validierens, der so lange durchlaufen wird, bis das Resultat die Anforderungen erfüllt.

Im zweiten Beispiel, einer negativen Rückkopplungsschleife, geht es um die Steuereinnahmen eines Staates. Ein höherer Steuersatz führt zu größeren Steuereinnahmen, was sich wiederum positiv auf das Budget auswirkt. Ein Budgetüberschuss wird aber eine Senkung des Steuersatzes bewirken (Stichwort Steuerreform), und damit ergibt sich insgesamt eine negative Rückkopplung. Auch in diesem Beispiel kann man einfach noch andere Rückkopplungsschleifen finden, denn hohe Steuern bewirken zum Beispiel auch höhere Lohnnebenkosten und führen zur Abwanderung von Unternehmen, worauf vom Staat weniger Steuern eingenommen werden.

Im Allgemeinen führen negative Rückkopplungsschleifen meistens zu einer Stabilisierung des Systems, da Störungen bald wieder kompensiert werden, positive Rückkopplungsschleifen lassen jedoch das System instabil werden, denn sie verstärken Störungen zusätzlich. Bei mehreren verschiedenenartigen Rückkopplungen ist entscheidend, welche davon die anderen dominieren.

2.2.2 Zustandsgrößen und Strukturdiagramm

Im Wirkungsdiagramm wird noch nicht zwischen verschiedenen Arten von Größen unterschieden, denn das ist die Aufgabe des nächsten Schrittes der Modellerstellung, dem Konstruieren des Strukturdiagramms. Es gibt drei verschiedene Typen von Größen, nämlich [23]:

1. Zustandsgrößen

2. Vorgabegrößen

3. Hilfsgrößen

Zuerst muss versucht werden, die Zustandsgrößen des Systems zu ermitteln. Das sind jene Größen, welche zum Anfangszeitpunkt bekannt sein müssen, um das Modell überhaupt simulieren zu können, denn sie stellen das „Gedächtnis“ des Systems dar (man nennt sie daher auch Speichergrößen, im Englischen „levels“) und können nicht aus den anderen Größen berechnet werden. Dadurch erhält man ein Rezept zum Ermitteln der Zustandsgrößen, indem man sich vorstellt, das System würde zu einem bestimmten Zeitpunkt angehalten, und sich überlegt, welche Größen bekannt sein müssten, um das Modell weiterlaufen zu lassen.

Vorgabegrößen sind externe Variablen, sie werden daher von außen vorgegeben und hängen nicht von den anderen Größen des Systems ab. Sie können jedoch zu Zustandsgrößen oder Hilfsgrößen werden, wenn man die Systemgrenzen verschiebt.

Die dritte Art von Größen sind die Hilfsgrößen (auch Zwischengrößen genannt). Diese können alle aus den Zustands- und den Vorgabegrößen durch algebraische oder logische Operationen berechnet werden. Auch die Veränderungsraten der Zustandsgrößen sind Hilfsgrößen.

Ein oftmals in der Literatur und von Jay W. Forrester benütztes triviales Beispiel zur Veranschaulichung dieser Typen ist das Anfüllen einer Badewanne. Hier wäre der momentane Wasserstand die Zustandsgröße, der Zufluss an Wasser (ausgedrückt in Liter pro Sekunde) die Hilfsgröße und der Öffnungszustand des Ventils könnte fest vorgegeben sein, wäre demnach also eine Vorgabegröße. Es ist klar, dass sich der Zufluss durch den Öffnungszustand berechnen lässt. Der Wasserstand muss bekannt sein, um das System im angehaltenen Zustand wieder starten zu können; er lässt sich nur aus den anderen Größen berechnen, wenn der Anfangszustand vorgegeben ist.

Der Zufluss als Funktion der Zeit stellt die Ableitung des Wasserstandes dar. Mathematisch ergibt sich für diesen somit eine Differentialgleichung, deren rechte Seite in diesem Fall von einem Term aus Öffnungszustand des Ventils und ein oder mehreren Parametern gebildet wird.

2.2.3 Gleichungen des Modells

Nach der Erstellung des Zustandsdiagramms müssen die Beziehungen zwischen den Variablen quantifiziert und die Anfangswerte der Zustandsgrößen eingetragen werden. Mathematisch stellt das Modell dann ein explizites gewöhnliches Differentialgleichungssystem dar, dessen gesuchte Funktionen genau die Zustandsgrößen sind. Daher ergibt sich

$$\dot{\mathbf{z}} = \mathbf{f}[\mathbf{z}(t), \mathbf{u}(t), t]$$

wobei \mathbf{z} den Zustandsvektor der Zustandsgrößen, \mathbf{u} den Vektor der Vorgabegrößen und t die Zeit bezeichnet. Die Form der Funktion \mathbf{f} ergibt sich durch die Gleichungen der jeweiligen Hilfsvariablen.

Lässt man im Modell auch Verzögerungsglieder (sogenannte Delays) zu, so erhält man noch allgemeiner ein Delay-Differentialgleichungssystem, da dann zu einem Zeitpunkt t auch die Werte von Zustands- und Vorgabegrößen (klarerweise auch von Hilfsgrößen, aber diese lassen sich immer aus den Zustands- und Vorgabegrößen berechnen) in der Vergangenheit berücksichtigt werden.

Für das in Abschnitt 2.2.2 angeführte Badewannenbeispiel erhält man also die Differentialgleichung

$$\frac{d(\text{Wasserstand}(t))}{dt} = \text{Zufluss} = (\text{Fluss pro Millimeter}) \cdot (\text{Öffnung des Ventils})$$

wobei für den Wasserstand ein Anfangswert zum Anfangszeitpunkt t_0 vorgegeben werden muss. Mit „Fluss pro Millimeter“ wird ein zusätzlicher Parameter eingeführt, der je nach Öffnungsdurchmesser des Ventils den Zufluss vorgibt. Äquivalent dazu kann man dies als Integralgleichung

$$\text{Wasserstand}(t) = \int_{t_0}^t (\text{Fluss pro Millimeter}) \cdot (\text{Öffnung des Ventils}(\tau)) d\tau$$

anschreiben. In dieser Darstellung erkennt man deutlich, dass die Zustandsgröße einem Speicherelement und daher im mathematischen Sinne einem Integral entspricht.

Im Beispiel ist die eindeutige Lösbarkeit klar ersichtlich. Auch wenn die Öffnung des Ventils von der Zeit abhängt, würde etwa die Stetigkeit der Funktion ausreichen, um das zu garantieren, da dann die rechte Seite der Differentialgleichung integrierbar ist. Kommt der Wasserstand in der rechten Seite vor und ist diese Lipschitz-stetig sowie das Paar aus Anfangszeitpunkt und Anfangswert aus ihrem Definitionsbereich, kann man nach dem globalen Existenz- und Eindeutigkeitssatz (siehe etwa [25]) ebenfalls auf Existenz und Eindeutigkeit einer Lösung auf einem geeigneten Intervall um t_0 schließen.

2.3 Begründung von System Dynamics als Methode der Wahl

In der Diplomarbeit wird wie in der Einleitung definiert ein Kostenmodell einer österreichischen Gebietskrankenkasse erstellt. Damit lässt sich die finanzielle Entwicklung jeder der neun Gebietskrankenkassen simulieren, wenn man die jeweiligen Daten verwendet.

Obwohl es auch andere Methoden der dynamischen Modellierung gibt - etwa agentenbasierte Systeme - bietet sich in diesem Fall System Dynamics besonders an, da es zu den „top-down“ Methoden gehört und man im Allgemeinen mit aggregierten Größen arbeitet. Wendet man die in Abschnitt 2.2 definierten einzelnen Lösungsschritte iterativ an, erhält man relativ schnell einen globalen Überblick über die finanzielle Struktur einer Krankenkasse, wenn man ihren Rechnungsabschluss betrachtet [26]. In diesem sind alle Einnahmen und Ausgaben eines Jahres aufgeschlüsselt, und es zeigt sich insbesondere, welche Bereiche einen großen Teil ausmachen und daher detailliert betrachtet werden sollten. Ein Auszug aus dem Rechnungsabschluss mit den wichtigsten Positionen ist in Tabelle 2.1 dargestellt. Die grundlegende Struktur dieser Finanzflüsse kann praktisch direkt in das System Dynamics Modell übernommen werden. Mit dem Geldvermögen der Krankenkasse als zentraler Zustandsgröße und den Einnahmen und Ausgaben als diese Zustandsgröße verändernde Flüsse.

Anschließend werden einzelne Bereiche des Teiles der Versicherungsleis-

Tabelle 2.1: Rechnungsabschluss der Oberösterreichischen Gebietskrankenkasse 2007, Auszug.

Positionen	Ergebnis 2007	Ergebnis 2006
	in Euro Cent	
Beiträge für		
a) plichtversicherte Erwerbstätige	977.903.709,03	928.728.027,10
b) freiwillig Versicherte	13.422.719,89	13.142.535,66
c) Arbeitslose	26.085.295,74	28.777.702,82
d) Pensionisten	295.694.362,92	281.670.344,47
Zusatzbeitrag in der KV	72.957.911,18	69.630.965,08
Summe der Beiträge	1.392.341.845,46	1.328.332.448,22
Ersätze für Leistungsaufwendungen	159.456.536,39	157.579.840,01
Rezeptgebühren	45.041.604,68	42.188.581,51
Service Entgelt	6.204.707,49	5.975.841,90
Summe der Erträge	1.609.645.364,22	1.537.847.560,04
Ärztliche Hilfe u. gleichg. Leistungen	347.758.790,98	328.656.098,10
Heilmittel (Arzneien)	312.572.672,89	285.719.077,11
Heilbehelfe und Hilfsmittel	38.692.616,38	37.272.874,20
Zahnbehandlung und Zahnersatz		
a) Zahnbehandlung	80.938.032,35	77.620.340,64
b) Zahnersatz	22.067.903,79	20.350.200,89
Anstaltspflege und med. Hauskrankenpflege		
a) Verpflegskosten u. sonstige Leistungen	18.267.404,64	19.591.045,36
b) Überweisung a. d. Krankenanstaltenfonds	477.398.574,92	452.421.005,36
Krankengeld	64.649.565,29	60.362.045,75
Mutterschaftsleistungen		
a) Arzt(Hebammen)hilfe	5.408.826,10	5.357.015,28
b) Anstalts(Entbindungsheim)pflege	21.982.554,99	20.883.969,63
c) Wochengeld	52.057.630,33	51.723.609,59
Medizinische Rehabilitation	31.898.992,21	30.062.728,27
Transportkosten	23.939.881,31	22.728.298,71
Versicherungsleistungen insgesamt	1.532.019.040,48	1.445.989.024,03
Verwaltungs- und Verrechnungsaufwand	36.916.758,49	34.778.773,09
Summe der Aufwendungen	1.592.866.141,79	1.500.956.916,86
Finanzergebnis	13.384.567,92	11.226.116,58
Ergebnis gewönl. Geschäftstätigkeit	30.163.790,35	48.113.759,76
außerordentliches Ergebnis	-22.775.726,36	-21.205.820,06
Jahresüberschuss/Jahresfehlbetrag	7.388.063,99	26.907.939,70
Zuweisung an Rücklagen	7.169.168,03	11.877.767,50
Bilanzgewinn/Bilanzverlust	218.895,96	15.030.172,20

tungen der Krankenkasse wesentlich detaillierter modelliert. Die offensichtlichen Rückkopplungen im System der sozialen Krankenversicherung sind ein weiterer Grund für die Sinnhaftigkeit von System Dynamics - wo Rückkopplungsschleifen ein Basiselement sind - als Methode der Wahl. Dies folgt aus den Wechselwirkungen von eingesetzten Geldmitteln (und damit Gesundheitsleistungen) einerseits und der Gesundheit der Krankenversicherten andererseits. Da diese von den eingesetzten Leistungen beeinflusst wird, und Krankheiten der Hauptfaktor für die Inanspruchnahme des Gesundheitssystems sind, ergibt sich die zentrale Rückkopplung.

Ein wesentlicher Bereich, der zum einen direkten Einfluss auf das Beitragsvolumen, zum anderen aber auch auf Fallzahlen und bei gleichbleibender Ärzteanzahl auf die anfangs gegebene Dichte hat, ist die Demographie der Versicherten. Um dem Rechnung zu tragen, wird in das Krankenkassenmodell ein dynamisches Bevölkerungsmodell mit 5-Jahres-Alterskompartments jeweils für Männer und Frauen integriert, welches als Parameter die Anfangsbevölkerung zum Startzeitpunkt der Simulation und Prognosen für die Entwicklung der Gesamtfertilität und Lebenserwartung der Bevölkerung enthält. Letztere kann nach Wahl auch durch die Gesundheit der Bevölkerung verändert werden, wodurch sich eine weitere Rückkopplung ergibt. Ein weiterer Ansatz sind Fallstudien, die eine Variation der Fertilität über den Simulationszeitraum betrachten.

Im § 120 ASVG wird der Versicherungsfall der Krankheit „mit dem Beginn der Krankheit, das ist des regelwidrigen Körper- oder Geisteszustandes, der die Krankenbehandlung notwendig macht“ als eingetreten definiert. Da der Begriff „Krankheit“ somit der zentrale in der Krankenversicherung ist, erscheint es als zweckmäßig, den im Zeitverlauf auftretenden Krankheiten - aus ihnen wird schließlich auch ein Großteil der anfallenden Versicherungsleistungen generiert - eine eigene Zustandsgröße zuzuordnen. Ein auffälliger Unterschied zwischen verschiedenen Krankheiten ist durch das Merkmal „akut oder chronisch“ gegeben, daher wird diese Trennung auch im Modell vorgenommen. Während akute Erkrankungen im Zeitverlauf schnell wieder aus der sie zählenden Zustandsgröße abfließen, bleiben chronische Erkrankungen wesentlich länger bestehen. Zudem werden akute Erkrankungen weiter un-

terteilt, je nachdem, ob sie eine stationäre Behandlung nötig machen oder nicht.

Wichtig ist hier auch die Tatsache, dass chronische Erkrankungen, die ungenügend behandelt werden (dies spart kurzfristig Geld) oder nicht als solche erkannt werden, mit einer höheren Wahrscheinlichkeit Akuterkrankungen erzeugen. Auch können von Akuterkrankungen chronische Erkrankungen zurückbleiben. Mathematisch gesehen wird also aus der Speichergröße der Akuterkrankungen zu jedem Zeitpunkt eine feste Anzahl an chronischen Krankheiten errechnet, die dann über die Änderung einer Reglervariable zu der summierten Größe dazuaddiert wird. Dies zeigt wieder die Rückkopplungsstruktur des Modells, die sich mit System Dynamics gut abbilden lässt.

Werden Erkrankungen behandelt, führen sie zu Arzthilfekosten und verordneten Heilmitteln. Die aggregierten Arzthilfe- und Heilmittelkosten der letzten Jahre stehen als Daten des Hauptverbandes der Sozialversicherungsträger zur Verfügung, was eine Identifizierung von unbekanntem Parametern des Modells ermöglicht.

Kapitel 3

Entwurf des Modells

3.1 Verwendete Software

Zur Implementierung des Modells wurde die Software Vensim des Unternehmens Ventana Systems, Inc. in der Version PLE (Personal Learning Edition) Plus 5.6d verwendet. Sie unterstützt alle wichtigen Eigenschaften und Symbole von System Dynamics. Nach dem Erstellen eines Strukturdiagramms können die einzelnen Variablen mit Gleichungen hinterlegt werden. Das Modell kann in mehrere Ansichten, sogenannte „Views“, aufgeteilt werden, wodurch speziell bei größeren und komplexeren Modellen - wie in dieser Arbeit der Fall - eine bessere Übersichtlichkeit gewährleistet wird. In der PLE Plus Version werden zusätzlich zur PLE Version Sensitivitätsanalysen auf Basis der Monte-Carlo-Simulation unterstützt. Dazu werden ein (univariate Sensitivitätsanalyse) oder mehrere (multivariate Sensitivitätsanalyse) Parameter über jeweils individuell festgelegte Wertebereiche basierend auf einer Wahrscheinlichkeitsverteilung variiert und mit jedem so erhaltenen Parametersatz ein Simulationslauf durchgeführt. Anschließend können die Ergebnisse von ausgewählten Variablen mit in Vensim implementierten Werkzeugen ausgewertet werden.

Die grundlegenden Elemente von System Dynamics, wie sie in Vensim dargestellt werden, zeigt Abbildung 3.1. Blaue Pfeile zeigen die Zusammenhänge der Variablen an. Zustandsgrößen werden als Boxvariable dargestellt,

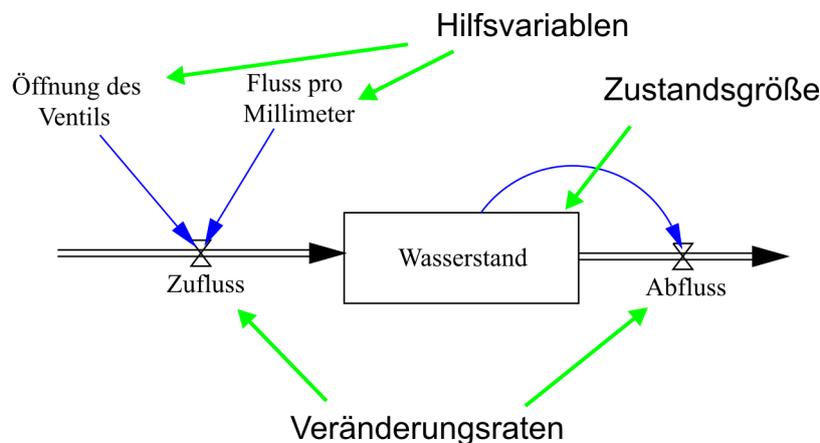


Abbildung 3.1: Ein Zustandsdiagramm, wie es in Vensim dargestellt wird. Grüne Pfeile zeigen die Art der einzelnen Elemente an und sind nachträglich eingefügt.

Veränderungsraten als „Ventile“ und Hilfsvariablen nur mit ihrem Namen ohne Symbol. Grüne Pfeile und Bezeichnungen in großer Schrift wurden nachträglich eingefügt, um die Art der Elemente anzugeben.

3.2 Grundstruktur des Modells

Wie schon erwähnt, wurde die grundlegende Struktur des Modells - die der Finanzflüsse - an den Rechnungsabschluss angepasst. In Abbildung 3.2 ist die Hauptansicht des Vensim-Modells dargestellt. Die wichtigste globale Zustandsgröße stellt das Reinvermögen der Gebietskrankenkasse dar, es wird durch Einnahmen erhöht und durch Ausgaben verringert. Die Differenz von Einnahmen und Ausgaben ergibt die Jahresbilanz, welche angibt, wie viel Kapital die Krankenkasse momentan auf ein Jahr hochgerechnet erwirtschaften würde.

Sowohl Einnahmen als auch Ausgaben werden in jeweils drei Bereiche aufgeteilt:

1. Vermögenserträge und Finanzaufwendungen

Die Krankenkasse kann durch Anlage in Wertpapiere, Geldeinlagen,

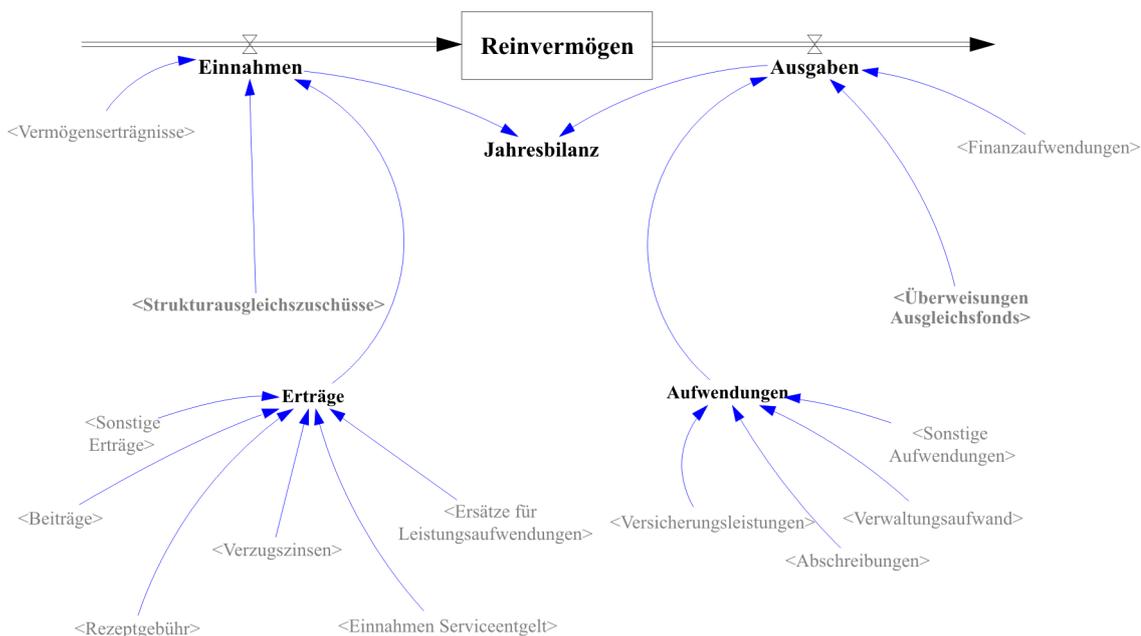


Abbildung 3.2: Die Hauptansicht des Modells. Variablen in der Form „<Variable>“ wurden an anderer Stelle im Modell definiert (sogenannte „Schattenvariablen“).

Haus- und Grundbesitz Kapital erwirtschaften. Gleichzeitig muss sie für den Ankauf von Finanzvermögen und für Zinsen Kapital aufwenden. Auf diese Weise erwirtschaftete etwa die Oberösterreichische Gebietskrankenkasse im Jahr 2007 ein positives Finanzergebnis von 13,385 Mio. Euro.

2. Strukturausgleichszuschüsse und Überweisungen an den Ausgleichsfonds

Beim Hauptverband der österreichischen Sozialversicherungsträger wurde ein Ausgleichsfond für die Krankenkassen errichtet. Laut § 447a Abs. 1 Allgemeines Sozialversicherungsgesetz (ASVG) hat dieser „eine ausgeglichene Gebarung bzw. eine ausreichende Liquidität der Gebietskrankenkassen zu gewährleisten und nach Maßgabe der vorhandenen Mittel entsprechend den nachfolgend angeführten Bestimmungen Zahlungen an die Gebietskrankenkassen zu leisten.“ Die Zahlungen erfolgen als Struktur- und Liquiditätsausgleich und werden zu einem großen Teil

durch die Beiträge der Gebietskrankenkassen selbst aufgebracht.

3. Erträge und Aufwendungen

Darunter fallen die wichtigsten Einnahmen, etwa die Beiträge sowie Einnahmen durch die Rezeptgebühr, und Ausgaben, etwa die Versicherungsleistungen und der Verwaltungsaufwand.

Auf die Modellierung der einzelnen Punkte wird - abgesehen von den Versicherungsleistungen und Beiträgen - im Abschnitt 3.4.1 näher eingegangen. Da diese aber von der Struktur der Versicherten abhängen, welche wiederum zum Großteil von der Bevölkerungsentwicklung beeinflusst wird, enthalten die nächsten beiden Abschnitte eine Beschreibung des integrierten Bevölkerungsmodells sowie der Berechnung der Versichertenstruktur.

3.3 Beschreibung des Bevölkerungsmodells

Um die demographische Struktur der Bevölkerung des jeweiligen Bundeslandes, dessen Gebietskrankenkasse betrachtet wird, über den Zeitverlauf dynamisch zu simulieren und überdies Auswirkungen des Gesundheitssystems auf die Lebenserwartung und die Überlebenswahrscheinlichkeiten für ein Jahr in einem bestimmten Alter in die Bevölkerungsentwicklung einfließen lassen zu können, wird ein Bevölkerungsmodell in das gesamte Modell einer Gebietskrankenkasse integriert. Dazu wird die männliche und weibliche Bevölkerung jeweils in fünfjährige Altersklassen eingeteilt, wobei die Kinder im ersten Lebensjahr beider Geschlechter je ein eigenes Kompartiment bilden, denn die Sterbewahrscheinlichkeit bei Neugeborenen ist deutlich höher als jene in den darauffolgenden Lebensjahren (dies ist etwa aus [27] ersichtlich).

Von der Statistik Austria wird jährlich eine Bevölkerungsprognose bis 2075 für Österreich und die einzelnen Bundesländer erstellt [28]. Zwar hätten die Ergebnisse übernommen werden können, allerdings wären dann keine Parameteränderungen oder dynamische Anpassungen möglich gewesen. Nur die angenommene zeitliche Entwicklung von Fertilität, Migration und Lebenserwartung wurde von der Prognose der Statistik Austria übernommen.

Jedes dieser Kompartments wird durch insgesamt vier Flüsse verändert. Bezeichnet man drei aufeinanderfolgende Kompartments mit A, B und C (etwa A = „Frauen 20-25“, B = „Frauen 25-30“, C = „Frauen 30-35“), so sind diese Flüsse:

1. Von A fließen die Personen nach B, welche die untere Altersgrenze von B überschreiten (also im Beispiel 25 Jahre alt werden).
2. Analog zu Punkt 1 fließen Personen von B nach C, wenn sie die untere Altersgrenze von C überschreiten.
3. Personen, die während ihrem Aufenthalt im Kompartment B sterben, bilden den Fluss „Sterbefälle“.
4. Zuletzt wird das Kompartment noch um die zu- und abgewanderten Personen (Fluss „Migranten“) verändert. Dies ist notwendig, da die Wanderungsbilanz von der Größenordnung her (mehrere tausend Personen jährlich) vergleichbar mit den Geburten ist und Migration die Altersstruktur verändert.

Um die Flüsse auf Grund verschiedener Lebensalter zu berechnen, wird in den ersten fünf Jahren der Simulation die Startbevölkerung im Jahr 2002 benötigt; diese wurde als Lookup (also als Tabellenfunktion, in welcher für verschiedene Inputwerte - zwischen denen linear interpoliert wird - Ausgabewerte eingetragen sind) in das Modell eingegeben. Nach den ersten fünf Jahren bilden genau jene Personen den Fluss aus dem Kompartment B, welche fünf Jahre zuvor hineingeflossen sind, abzüglich der in diesem Zeitraum Gestorbenen und zuzüglich der Veränderung durch Migration. Ist t die Zeit nach Simulationsbeginn, O die obere Altersgrenze des Kompartments, p die Überlebenswahrscheinlichkeit für dieses Kompartment, $S(x)$ die (im Beispiel weibliche) Startbevölkerung mit Alter x , $M(x)$ die gesamte Migration zur Zeit x , N der Anteil der Migranten, die in das Kompartment B zuwandern und $F(t)$ der Fluss von A nach B zum Zeitpunkt $t - 5$, so berechnet sich der

Fluss von B nach C zu:

$$F(t) = p^{\frac{t}{5}} \cdot S(O - t) + \frac{1}{5} \cdot N \cdot (p^{\frac{1}{5}} \cdot M(t + 2001) + p^{\frac{2}{5}} \cdot M(t + 2000) + p^{\frac{3}{5}} \cdot M(t + 1999) + p^{\frac{4}{5}} \cdot M(t + 1998) + p \cdot M(t + 1997))$$

für $t < 5$ und

$$F(t) = p \cdot G(t - 5) + \frac{1}{5} \cdot N \cdot (p^{\frac{1}{5}} \cdot M(t + 2001) + p^{\frac{2}{5}} \cdot M(t + 2000) + p^{\frac{3}{5}} \cdot M(t + 1999) + p^{\frac{4}{5}} \cdot M(t + 1998) + p \cdot M(t + 1997))$$

für $t \geq 5$ Analog erhält man den Fluss von A nach B.

Die gesamte Migration aus und in das Bundesland (zugehörig zu der betrachteten Gebietskrankenkasse) wird für jedes Jahr analog den Annahmen der Statistik Austria vorgegeben. Weiters werden die Anteile, die davon in die jeweiligen Kompartments fließen, mit den jetzigen Werten konstant angenommen - die Altersverteilung der Migration bleibt demnach gleich.

Aus den Kompartments müssen zudem noch die Sterbefälle abfließen. Die Lebenserwartung - jeweils für Frauen und Männer - wird ähnlich wie die Migration für jedes Jahr des Simulationszeitraums vorgegeben. Anhand der aktuellen Sterbetafeln ist die heutige Altersverteilung der Sterblichkeit bekannt. An den von einer Geburtskohorte jeweils nach t Jahren gestorbenen Anteil wurde die Verteilungsfunktion einer Weibullverteilung

$$F(t) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right)$$

mit Parametern a und b angepasst. Die Ausfallrate $h(t)$ dieser Verteilung berechnet sich zu:

$$h(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{b}{a^b} \cdot t^{b-1}$$

Auf Grund der erhöhten Sterblichkeit im ersten Lebensjahr (Säuglingssterblichkeit), die als Ausreißer von der Weibullverteilung nicht erfasst worden wäre, wurde schließlich nur die Restlebenserwartung nach diesem ersten Jahr mit der Weibullverteilung modelliert. Ziel war es, dass die vorgegebenen Lebenserwartungen auch tatsächlich den simulierten Lebenserwartungen ent-

sprechen. Betrachtet man einen einzelnen Menschen, so berechnet sich seine erwartete Lebenszeit zu

$$E(X + Y) = E(X) + E(Y)$$

wobei X die im ersten Lebensjahr, Y die nach dem ersten Lebensjahr erlebte Zeit ist. X und Y sind nicht unabhängig, da Y nur ungleich 0 sein kann, wenn X gleich 1 ist.

Sei p die Wahrscheinlichkeit, im ersten Lebensjahr zu sterben. Wäre die Sterbewahrscheinlichkeit über das erste Lebensjahr gleichverteilt, so hätten diejenigen Säuglinge, die in diesem Zeitraum sterben, eine Lebenserwartung von einem halben Jahr. Allerdings ist die Sterblichkeit stark auf die ersten Tage und Wochen nach der Geburt komprimiert, daher wurde die Lebenserwartung von im ersten Jahr Gestorbenen auf $\frac{1}{8}$ korrigiert. Nennt man nun X_1 die Lebenszeit, die jemand erreicht, der im ersten Jahr stirbt, und Y_1 die Lebenszeit, die jemand, der das erste Lebensjahr überlebt, nach diesem Jahr verbringt, so erhält man:

$$E(X+Y) = (p \cdot E(X_1) + (1-p) \cdot 0) + (0 + (1-p) \cdot E(Y_1)) = \frac{p}{8} + (1-p) + (1-p) \cdot E(Y_1)$$

Wird die Gesamtlebenserwartung $E(X+Y)$ vorgegeben, berechnet sich die benötigte Restlebenserwartung (die gleich dem Erwartungswert der Weibullverteilung ist) zu

$$E(Y_1) = \frac{E(X + Y) - \frac{p}{8} - (1 - p)}{1 - p}$$

Da der Erwartungswert einer weibullverteilten Zufallsgröße durch $E(Y_1) = a \cdot \Gamma(\frac{1}{b} + 1)$ gegeben ist, bietet es sich an, den Parameter a für jede gegebene Gesamtlebenserwartung neu zu bestimmen, b jedoch konstant zu lassen, wodurch die Form der Verteilung gleich bleibt.

Um nun aus der errechneten Weibullverteilung die Überlebenswahrscheinlichkeit W eines bestimmten Kompartments - seine Altersgrenzen seien U und O - zu erhalten, benötigt man den Anteil der Gestorbenen einer Kohorte im

zum Kompartiment gehörigen Altersintervall an den noch lebenden Personen an dessen Anfang. Daraus ergibt sich:

$$W(U, O) = 1 - \frac{(1 - F(U)) - (1 - F(O))}{1 - F(U)} = \exp\left(\frac{U^b}{a} - \frac{O^b}{a}\right)$$

Zuletzt muss die Anzahl der Geburten bestimmt werden (das Verhältnis von männlichen zu weiblichen Neugeborenen wurde dabei konstant auf 1,045 zu 1 gesetzt). Dazu werden ähnlich wie bei der Migration die Gesamtfertilitätsraten über den Zeitverlauf vorgegeben, aber die altersspezifischen Fertilitätsraten (welche für jedes Kompartiment angeben, wie viele Kinder eine Frau aus diesem Kompartiment durchschnittlich innerhalb eines Jahres bekommt) im Verhältnis zueinander gleichgelassen. Mit der Anzahl der Frauen in den in Frage kommenden Kompartiments (es sind dies jene von 10 bis 50 Jahren) können so die Geburten - also der Fluss in die beiden Kompartiments des ersten Lebensjahres - berechnet werden.

3.4 Generierung der Versicherten

Von der Gesamtbevölkerung eines Bundeslandes sind nicht alle Personen bei der jeweiligen Gebietskrankenkasse versichert. Zusätzlich macht es einen großen Unterschied, ob jemand voll erwerbstätig, Pensionist, arbeitslos oder Ähnliches ist, vor allem für die Beitragsberechnung. Damit müssen diese Gruppen im Modell berechnet werden.

Die aktuellen Anteile an der Gesamtbevölkerung (aufgeteilt in Altersklassen sowie nach Geschlecht) sind bekannt [29]. Unter der Annahme, dass diese Verhältnisse in etwa gleich bleiben, werden daraus Erwerbstätige, Mitversicherte, freiwillig Versicherte (d.h. diejenigen Personen, welche nur geringfügig beschäftigt sind, sich aber freiwillig sozialversichern), Pensionisten, Arbeitslose und sonstige Versicherte (kleinere Gruppen wie etwa Asylwerber und Kriegshinterbliebene) berechnet. Personen unter 15 Jahren sind grundsätzlich immer mitversichert, werden allerdings nur mit einem geschätzten Anteil von 0,8 der Gebietskrankenkasse zugerechnet. Aus allen einzelnen Versicherungengruppen wird zusätzlich noch der Gesamtversichertenstand gebildet.

3.4.1 Modellierung der einzelnen Ausgaben- und Einnahmenpositionen

Die Modellierung der Beiträge und der Versicherungsleistungen wird in den nächsten zwei Abschnitten betrachtet. Bei den übrigen Einnahmen und Ausgaben kann auf eine so tiefgreifende Detailliertheit verzichtet werden, da sie keinen so bedeutenden Anteil an den Kostenflüssen der Gebietskrankenkassen haben, zum Teil stark von externen Faktoren abhängen (etwa das Finanzergebnis der Kasse) und auch in der aktuellen Debatte um eine Gesundheitsreform nicht im Blickpunkt stehen.

Beim Finanzergebnis und dem Strukturausgleich durch den Ausgleichsfonds werden die aktuellen Werte konstant gehalten, da sie vor allem von Einflüssen außerhalb des Systems abhängen und sich daher nicht als Wirkungen der Zustandsgrößen modellieren lassen. Sie bieten sich aber dafür an, Störungen (zum Beispiel Sinusschwingungen als einfaches periodisches Störsignal) anzulegen, um zu beobachten, wie das modellierte System der Krankenkasse darauf reagiert und ob möglicherweise sogar instabiles Verhalten auftritt.

Der Verwaltungsaufwand der Gebietskrankenkasse dagegen kann nicht sinnvoll über die Zeit konstant angenommen werden, da er realistischerweise von der Anzahl der Versicherten abhängt. Demnach wird ein „Verwaltungsaufwand pro Versichertem“ mit dem Gesamtversichertenstand multipliziert.

Einnahmenseitig wird beim Serviceentgelt (für die „e-card“, die den Krankenschein seit dem Jahr 2006 ersetzende Chipkarte) ähnlich vorgegangen, wobei hier nicht der Gesamtversichertenstand berücksichtigt wird, sondern nur einzelne Gruppen (denn Pensionisten etwa zahlen kein Serviceentgelt). Es beträgt seit der Einführung 10 Euro pro Jahr und wurde bisher noch nicht angepasst.

„Ersätze für Leistungsaufwendungen“ werden dagegen auch als konstant angenommen, die „Verzugszinsen“, die bei zu später Bezahlung der Beiträge anfallen, hängen wiederum linear von diesen ab. Auf die Berechnung der Rezeptgebühr wird im Abschnitt über Versicherungsleistungen näher eingegangen.

Diese besprochenen Teile werden bewusst in einer hohen Aggregationsstufe dargestellt, da es sich dabei um ein globales Flussmodell handelt und die Perspektive auf das Gesamtverhalten ausgerichtet ist. Sie werden aber trotzdem nicht in einer einzelnen Größe zusammengefasst, damit die Positionen des Rechnungsabschlusses der Gebietskrankenkassen richtig wiedergegeben werden. In weiteren Verfeinerungen könnte man sie detaillierter ausmodellieren, insofern auch mehr deskriptive Informationen zur Verfügung stehen, als im Rahmen dieser Arbeit beachtet werden konnten. Dabei kommt dem Modellbildner die derzeitige Struktur entgegen, weil sie anders als bei den meisten „Top-down“ Ansätzen (wie etwa Differentialgleichungsmodelle) die reale Struktur widerspiegelt und man daher bei der Verfeinerung nur die Einzelblöcke ersetzen und an die vorgegebenen „Schnittstellen“ anpassen muss. Einstweilen gilt die größte Aufmerksamkeit den Versicherungsleistungen und den Beitragseinnahmen.

3.5 Versicherungsleistungen

Bei der Abrechnung der Versicherungsleistungen mit den einzelnen Vertragspartnern gibt es Unterschiede zwischen den Krankenkassen. Die Preise für manche Leistungen differieren, ebenso die durchschnittlich pro Patient verschriebenen Heilmittel und andere Größen [30]. Da Daten über Kosten für Arzthilfe und Heilmittel in verschiedenen Altersgruppen zumindest für ein Jahr von der oberösterreichischen Gebietskrankenkasse verfügbar sind [31], wird diese als Grundlage für das Simulationsmodell verwendet.

Die oberösterreichische Gebietskrankenkasse wendete im Jahr 2007 insgesamt 1,532 Mrd. Euro für Versicherungsleistungen (d.h. Leistungen, die sich aus dem Anspruch der Versicherten ergeben) auf [26]. Gemessen an den gesamten Ausgaben von rund 1,620 Mrd. Euro im gleichen Jahr machen sie damit den Hauptteil der Aufwendungen aus. Bei den Versicherungsleistungen selbst wiederum entfielen rund 1,138 Mrd. Euro (das sind etwa 74 Prozent) auf die drei Bereiche „Ärztliche Hilfe und gleichgestellte Leistungen“, „Heilmittel (Arzneien)“ und „Überweisungen an den Krankenanstaltenfonds“. Letztere sind „Zahlungen, die im Ausmaß der Beitragseinnahmensteigerung

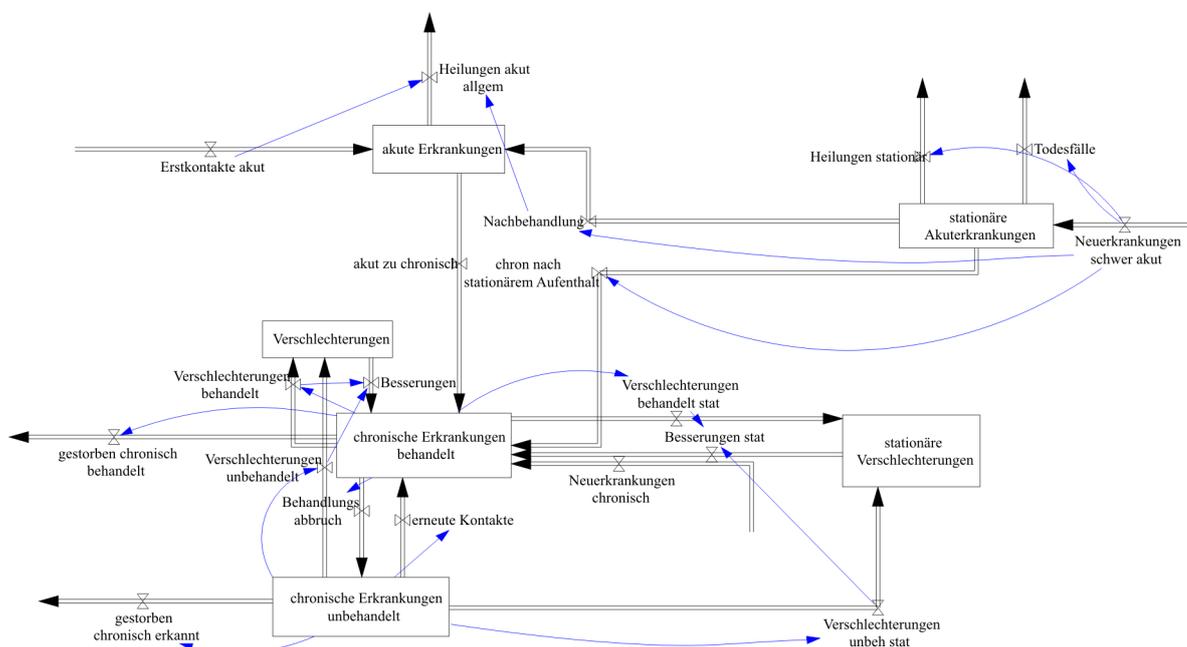


Abbildung 3.3: Flussdiagramm des Teiles des Kostenmodells, der Erkrankungen und damit den Konsum von Versicherungsleistungen modelliert.

gen jährlich valorisiert werden“ [12]. Die Krankenkassen haben daher keine direkte Möglichkeit, diese Kosten zu beeinflussen, und auch ansonsten keine Steuerungsfunktion im stationären Bereich. Es ergibt sich für das Kostenmodell eine einfache Berechnung dieses jährlichen Pauschalbetrags.

Für gehunfähige erkrankte Versicherte und Angehörige müssen die Krankenversicherungsträger die Transportkosten, die bei der Inanspruchnahme von Versicherungsleistungen (zum Beispiel Arzthilfe) entstehen, ersetzen. Im Modell werden zur Berechnung die aus den Daten des Hauptverbandes der Sozialversicherungsträger erhaltenen durchschnittlichen Transportkosten pro Versichertem genommen und mit der durchschnittlichen Steigerung aus den Jahren 2002 - 2006 angepasst. Eine andere Möglichkeit wäre, die durchschnittlichen Transportkosten pro Arzthilfefall zu betrachten, da mehr Fälle auch mehr Inanspruchnahmen von Transportkostenersatz bedeuten sollten.

3.5.1 Erkrankungen - Arzthilfe - Heilmittel

Ein Teil mit hoher Dynamik und großem Einfluss auf das Gesamtverhalten des dynamischen Modells, der aus diesem Grund detailliert betrachtet wird, ist der Bereich der Erkrankungen, der Arzthilfe und der Heilmittel. Hier werden die auftretenden Krankheiten modelliert, die wiederum Arzthilfe- und Heilmittelkosten verursachen, was die Krankenversicherungsträger und Leistungserbringer zu Steuerungseingriffen bewegt. Abbildung 3.3 zeigt das entsprechende Flussdiagramm.

Auf Seiten der Leistungserbringer hätte eine weitere Unterscheidung nach Fachgebiet - etwa in Allgemeinmediziner und Fachärzte - stattfinden können. Der durchschnittlich pro Fall abgerechnete Betrag ist nach Daten des Hauptverbandes der österreichischen Sozialversicherungsträger bei Fachärzten höher als bei praktischen Ärzten. Allerdings sind Patienten nicht verpflichtet, zuerst ihren Hausarzt aufzusuchen, wie es etwa beim Hausarztmodell der Fall wäre [14, p. 189-190]. Damit besteht kein grundsätzlicher Unterschied in der Art der Inanspruchnahme von praktischen Ärzten oder Fachärzten. Zwar dürften erstere häufiger Patienten an letztere überweisen als umgekehrt, jedoch standen bezüglich Überweisungen keine Daten zur Verfügung, und eine Trennung von praktischen Ärzten und Fachärzten sowie die notwendigen Flüsse zwischen Erkrankungen, die bei den jeweiligen Gruppen in Behandlung stehen, hätten das Modell wesentlich verkompliziert, was ohne die eben genannten Daten nicht gerechtfertigt erscheint. Da dieser Bereich aber großen Einfluss auf das Gesamtsystem hat, ist bei einer Erweiterung des Modells zu quantitativen Analysen eine Verfeinerung und damit eine modelltheoretische Trennung der beiden Ärztegruppen anzuraten.

In diesem Teil des Modells werden die auftretenden Erkrankungen gemessen. Patientenflüsse wären unzureichend gewesen, da einzelne Patienten durchaus mehrere Krankheiten gleichzeitig haben können (vor allem bei chronischen ist dies offensichtlich). Dadurch entsteht das Problem, dass nicht mehr exakt festgestellt werden kann, wie viele Erkrankungen „verschwinden“, wenn ein Mensch aus dem Bevölkerungsmodell stirbt. Dies wurde gelöst, indem die Erwartungswerte für chronische Erkrankungen aufgrund der mo-

mentanen Neuerkrankungswahrscheinlichkeiten für Leute in den verschiedenen Kompartments des Bevölkerungsmodells berechnet wurden.

Im Kompartiment der weiblichen 0-15-Jährigen ergibt sich dieser Erwartungswert etwa zu $7,5 \cdot$ „Anteil Neuerkrankungen chronisch w 0-15“, wobei also die Wahrscheinlichkeit, in einem Jahr eine chronische Erkrankung zu bekommen, mit der Hälfte der im Kompartiment verbrachten Jahre multipliziert wurde. Im altersmäßig darauffolgenden Kompartiment wird dann zweimal dieser Erwartungswert plus der Erwartungswert der im neuen Kompartiment bekommenen chronischen Krankheiten genommen, analog bei den weiteren Kompartments.

Die wichtigste Unterteilung ist die zwischen akut und chronisch, weil sich hier entweder die Zeitkonstanten wesentlich unterscheiden müssen oder überhaupt auf eine Möglichkeit der Heilung bei chronischen Erkrankungen verzichtet werden kann (bei vielen chronischen Krankheiten ist eine Heilung tatsächlich entweder sehr unwahrscheinlich oder es würde auch nach Abklingen der Symptome zumindest eine erhöhte Gefährdung zurückbleiben). Im Modell wurde letzterer Weg gewählt. Chronische Erkrankungen können zudem akute Episoden erzeugen, sogenannte „Verschlechterungen“ (englisch „exacerbations“). Diese hätten auch einfach zu den normalen Akuterkrankungen hinzugenommen werden können, allerdings erweist es sich als übersichtlicher und leichter zu handhaben, Verschlechterungen getrennt von den übrigen akuten Krankheiten als eigene Level zu modellieren. Überdies entspricht das dem realen Auftreten, d.h. chronisch erkrankte Personen erzeugen vermehrt Akutfälle, da von einer generellen Schwächung und Schädigung der Immunantwort ausgegangen werden kann. Diese real modellierte Trennung erhöht zudem die Anschaulichkeit und damit die interdisziplinäre Diskutierbarkeit hinsichtlich Parameterdefinition und Validierung des Modells.

Die akuten Erkrankungen (und Verschlechterungen) werden noch weiter unterteilt in jene, welche eine stationäre Behandlung erforderlich machen, und jene, welche gänzlich im niedergelassenen Bereich versorgt werden. Dies ist insbesondere wegen der gänzlich anderen Vergütung notwendig. Im stationären Bereich fallen großteils (zumindest in allen fondsfinanzierten Krankenanstalten) nur pauschale Kosten an, unabhängig von Anzahl, Dauer oder

Kosten der dort aufgenommenen Fälle. Bei niedergelassenen Ärzten wird dagegen eine gemischte Vergütung angewandt, die aus Grund- und Sonderleistungsvergütungen besteht. Die Grundleistungen setzen sich hier aus Fallpauschalen, Ordinationspositionen und Visiten zusammen [12]. Die genaue Aufschlüsselung der Vergütung ist je nach Krankenkasse unterschiedlich. Daher ist es sinnvoll, im Modell nur eine einzelne zu betrachten.

Zuletzt bleiben chronische Erkrankungen auch bestehen, wenn ein Patient die Behandlung gänzlich abbricht. Wenn man unterstellt, dass ärztliche Behandlung und Heilmittel grundsätzlich einen Nutzen haben, sollte die Wahrscheinlichkeit, Verschlechterungen zu erleiden, davon abhängen, ob man in Behandlung ist oder nicht. Daher werden die chronischen Erkrankungen in die Levels „chronische Erkrankungen behandelt“ und „chronische Erkrankungen ungehandelt“ aufgeteilt. Unbehandelte chronische Erkrankungen erzeugen in dem hier definierten Modell keine direkten Kosten, liefern aber aufgrund der Beeinträchtigung der erkrankten Person eine höhere Wahrscheinlichkeit akut zu erkranken und somit indirekt einen erhöhten Kostenbeitrag.

Eine Möglichkeit der Erweiterung hätte darin bestanden, auch Erkrankungen zu modellieren, die noch nicht im System registriert wurden, also bevor sie überhaupt zu einem Arztbesuch oder Krankenhausaufenthalt führen. Schließlich kann man davon ausgehen, dass Patienten erst krank werden, sich dann ihr „Need“ (nach dem Modell von Andersen), also ihr Bedarf an medizinischen Leistungen erhöht und sie deshalb zum Arzt gehen. Allerdings ist hier naturgemäß die Datenlage am schlechtesten; den Großteil an vorhandenen gesicherten Daten stellen Verrechnungsdaten der Krankenversicherungsträger dar, die erst entstehen, wenn ein Patient das System tatsächlich in Anspruch nimmt.

Beschreibung der einzelnen Flüsse zwischen den Erkankungs-Levels

- **Erstkontakte akut, Neuerkrankungen schwer akut, Neuerkrankungen chronisch**

Sowohl akute Erkrankungen, chronische Erkrankungen als auch statio-

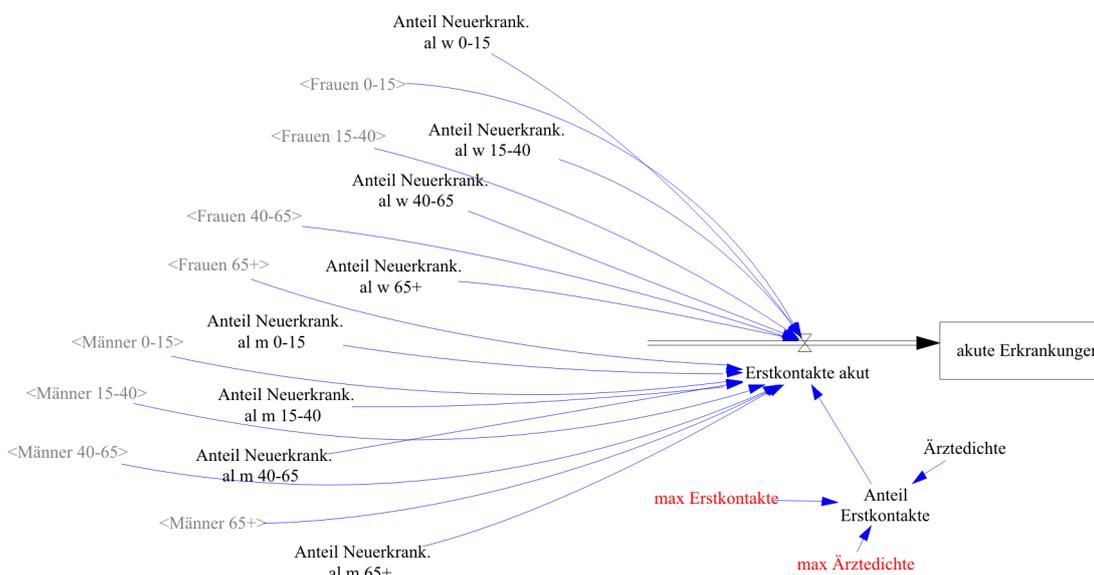


Abbildung 3.4: Fluss der neuen Erkrankungen (Erstkontakte bei Ärzten) in die akuten Erkrankungen nach der Demographie. Einfluss der Ärztedichte

när behandelte („schwere“) akute Erkrankungen treten aufgrund der Bevölkerungsstruktur spontan neu auf. Hier werden unterschiedliche Erkrankungswahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit der Demographie im Sinne der „predisposing characteristics“ des Verhaltensmodells nach Andersen angenommen. Die Daten legen nahe, dass diese Abhängigkeit tatsächlich besteht [31], wobei möglicherweise ein großer Teil der höheren Kosten, die mit steigendem Alter im Gesundheitssystem anfallen, vom letzten Jahr beziehungsweise der unmittelbaren Zeit vor dem Tod stammt [10, p. 11-12]. In Abbildung 3.4 wird exemplarisch der Fluss der Erstkontakte in die akuten Erkrankungen dargestellt. Dieser wird dabei durch Summierung des Produkts der Neuerkrankungswahrscheinlichkeit nach alters- und geschlechtsabhängigen Daten (generiert aus den Gesamtdaten des Hauptverbandes der österreichischen Sozialversicherungsträger über Kosten und Abgabemengen von Heilmitteln) mit der Bevölkerungsanzahl der jeweiligen Altersgruppe errechnet. Die beiden anderen Flüsse von Neuerkrankungen werden nach dem gleichen Prinzip berechnet, abgesehen vom Parameter „Ärztedichte“, der in diesem Fall insofern eine Rolle spielt, als mit steigender Ärztedichte

(Anzahl Ärzte pro 100.000 Einwohner) eine steigende Bereitschaft, zum Arzt zu gehen, postuliert wird, siehe dazu etwa [32]. Die Ärztedichte kann für weitere Szenarien, aber auch als entscheidender Parameter für Strategietests gewählt werden, um eine Unterversorgung oder ein Überangebot und somit veränderte Nachfrage darzustellen.

- **Heilungen stationär, Nachbehandlung, chronisch nach stationärem Aufenthalt, Todesfälle**

Es gibt prinzipiell vier verschiedene Möglichkeiten, aus dem Level stationäre Akuterkrankungen zu kommen. Im Falle einer Entlassung kann noch eine Nachbehandlung erforderlich sein (gleichbedeutend mit Akuterkrankung im niedergelassenen Bereich) oder eine chronische Erkrankung beziehungsweise Behinderung zurückbleiben. Weiters gibt es noch Fälle mit Heilung ohne Nachbehandlung und zuletzt auch Todesfälle. Die Anteile der jeweiligen Entlassungsarten werden über Parameter festgelegt. Die eigentlichen Flüsse werden dann über exponentielle Delays gebildet, wobei die Delayzeit gleich dem Parameter „Zeit bis Entlassung stationär“ beziehungsweise „Zeit bis Tod“ ist, welche die durchschnittliche Aufnahmedauer angeben. Ein diskreter Delay, bei dem also genau der Input zur Zeit t nach der Delayzeit (also zum Zeitpunkt $t + DT$, wenn DT die Delayzeit angibt) wieder als Output abfließt, ist hier - im Gegensatz zu den Alterungsflüssen im Kompartimentmodell - nicht angebracht, da die Patienten nach unterschiedlichen Zeitspannen entlassen werden.

Bei der Wahl der Ordnung der Delays wird berücksichtigt, dass Heilungen im Allgemeinen nicht sofort nach der Aufnahme in ein Krankenhaus stattfinden, Todesfälle aber durchaus. Deshalb wird bei den Todesfällen ein Delay erster Ordnung gewählt, bei den anderen Flüssen dagegen Delays dritter Ordnung. Der grundlegende Unterschied zwischen diesen beiden Arten ist, dass die Antwort eines Delays erster Ordnung auf eine Sprungfunktion sofort beim Sprung einen positiven Anstieg der Tangente hat, während bei einem Delay dritter Ordnung die Steigung der Tangente Null ist, siehe dazu [24, p. 90].

- **Heilungen akut, akut zu chronisch**

Bei den Akuterkrankungen, welche im niedergelassenen Bereich behandelt werden, gibt es die Möglichkeit der Heilung oder des Zurückbleibens einer chronischen Erkrankung. Todesfälle werden hier nicht getrennt berücksichtigt, da die Fallpauschale (die Auszahlung hängt nur davon ab, ob man in einem Quartal den Arzt besucht hat oder nicht) genau wie im Fall der Heilung bezahlt wird und auch die verrechneten Einzelleistungen jenen bei einer Heilung vergleichbar sein dürften.

- **Behandlungsabbruch und erneute Kontakte**

Alle chronischen Neuerkrankungen im System fließen in das Kompartiment „chronische Erkrankungen behandelt“. Von dort geht der Fluss „Behandlungsabbruch“ nach „chronische Erkrankungen unbehandelt“. Dort werden keine Kosten verursacht, es gibt aber ein deutlich höheres Risiko, Verschlechterungen zu erleiden.

Natürlich können sich Patienten mit chronischen Erkrankungen auch wieder in Behandlung begeben. Im Modell wird dies so realisiert, dass der Fluss „erneute Kontakte“ von der Größe des Kompartiments „chronische Erkrankungen unbehandelt“ sowie von der Variable „wahrgenommene Verschlechterungen“ abhängt. Letztere bildet die Erhöhung des „perceived need“ des Modells von Andersen ab, denn wenn ein Patient viele Verschlechterungen von anderen Menschen in seiner Umgebung beobachtet, wird er auch selbst darüber nachdenken, sich doch wieder behandeln zu lassen. Die Variable wird als Tabellenfunktion mit Input I ,

$$I = \text{FWvV} \cdot \frac{\text{Verschlechterungen} + \text{stationäre Verschlechterungen}}{\text{Gesamtbevölkerung}}$$

mit einer Konstanten $\text{FWvV} =$ „Faktor Wahrnehmung von Verschlechterungen“ angegeben.

- **Verschlechterungen unbehandelt, Verschlechterungen behan-**

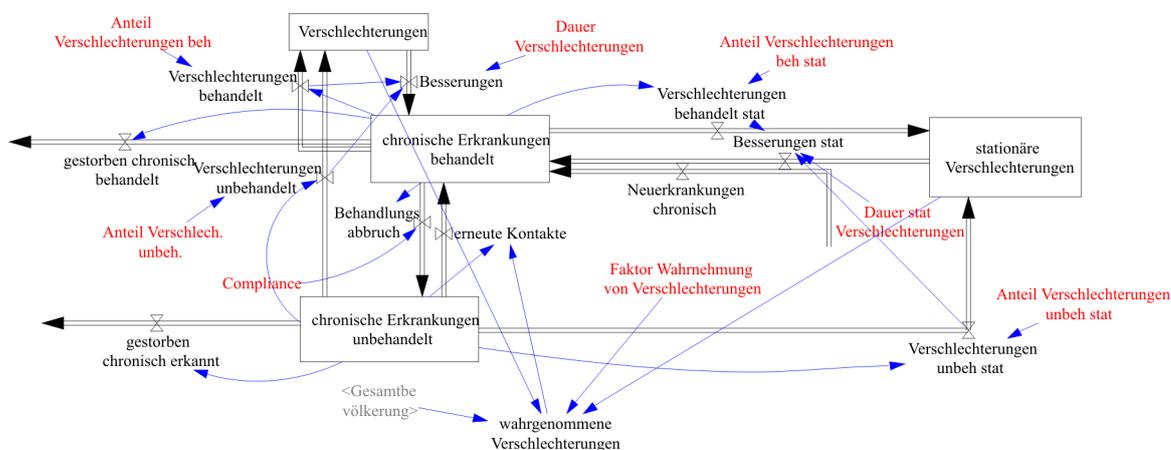


Abbildung 3.5: Der Teilbereich der chronischen Erkrankungen mit Verschlechterungen und den nötigen Parametern und Variablen.

delt, Verschlechterungen unbehandelt stationär, Verschlechterungen behandelt stationär, Besserungen und Besserungen stationär

Die Flüsse in die Verschlechterungen und die anschließenden „Besserungen“ beschreiben die Dynamik von ausreichend sowie ungenügend behandelten chronischen Erkrankungen. Wären die Wahrscheinlichkeiten für Verschlechterungen von behandelten chronischen Krankheiten höher gewählt als die von unbehandelten, so wäre es für die Krankenkasse offensichtlich sparsamer, wenn sich möglichst niemand behandeln lassen würde.

Die Versorgungsqualität hat im Modell allerdings keinen Einfluss auf die Lebenserwartung und damit auf die demographische Struktur. Diese weitere Rückkopplung könnte bei Modellverfeinerungen (und bei besserer Datenlage über die Auswirkungen der Versorgungsqualität auf die Gesundheit) hinzugefügt werden.

Zwar wird die Wahrscheinlichkeit für Verschlechterungen konstant angenommen, jedoch ließe sich über eine Tabellenfunktion ein Szenario realisieren, in dem sich jene für behandelte den unbehandelten annähern, um den Effekt des „cream skinning“ zu beschreiben (Ärzte be-

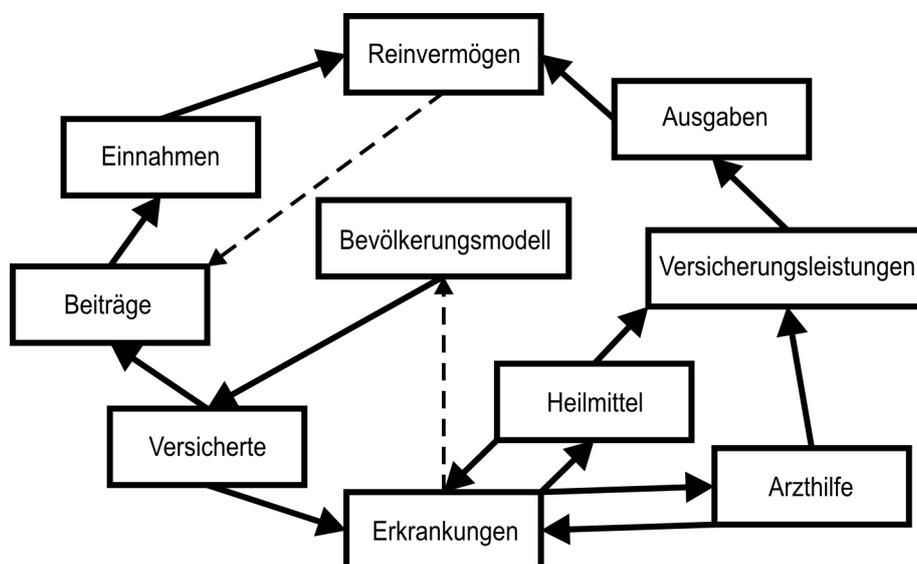


Abbildung 3.6: Die grundlegenden Teile des Modells und deren Interaktionen. Gestrichelte Pfeile bezeichnen mögliche Verbindungen.

handeln vorzugsweise Leute, bei denen sich eher ein Behandlungserfolg einstellen wird, und diese Leute lassen sich eher behandeln; je mehr insgesamt behandelt werden, desto mehr „schlechte Fälle“ hat man dabei).

Die Besserungen werden ähnlich wie Heilungen bei akuten Erkrankungen wieder über exponentielle Delays dritter Ordnung mit jeweiliger Delayzeit „Dauer Verschlechterungen“ und „Dauer stationäre Verschlechterungen“ beschrieben. In Abbildung 3.5 wird der gesamte Teilbereich der chronischen Erkrankungen mit den dafür nötigen Parametern und Variablen dargestellt. Zuletzt fließen noch aus beiden Levels Erkrankungen durch Todesfälle ab, wofür die Berechnung der Erwartungswerte der von Personen im jeweiligen Alter angesammelten chronischen Krankheiten - wie weiter oben beschrieben - dient.

Damit ist die strukturtreue Abbildung des Systems abgeschlossen. Abbildung 3.6 zeigt die grobe Struktur des Modells. Die Basis bildet das Bevölkerungsmodell, welches die Versichertenstruktur (inklusive Anspruchsbe-

rechtiger) generiert. Von den Versicherten einerseits Beiträge gezahlt, andererseits bekommen sie Erkrankungen, welche zur Inanspruchnahme von Arzthilfe und Heilmittel führen. Diese wirken im Gegenzug wieder auf die Erkrankungen und sind (zusammen mit der stationären Hilfe) der wichtigste Teil der Versicherungsleistungen, welche wiederum einen Großteil der Einnahmen ausmachen.

Obwohl im Modell keine spezifischen Krankheiten betrachtet werden, wird beispielhaft ein Modell der Entwicklung der Krankheit COPD (**C**hronic **O**bstructive **P**ulmonary **D**isease) unter Einbeziehung der zur Therapie eingesetzten Medikamente der ATC-Gruppe R entwickelt, um zu zeigen, wie man im Kostenmodell einzelne chronische Krankheiten genauer betrachten könnte. Durch diese Erweiterungen können Unschärfen in den Modellparametern mit hohem Einfluss verringert werden und so Modellqualität und Überprüfbarkeit gesteigert werden.

Die COPD wurde als Beispiel einer chronischen Erkrankung ausgewählt, da sie, wie schon in Abschnitt 1.4 bemerkt, einen großen gesundheitsökonomischen Einfluss hat und voraussichtlich in Zukunft noch einen größeren haben wird. Zudem ist sie eine eigenständige Erkrankung, deren Verlauf nicht oder nur relativ gering von anderen vorhandenen Krankheiten beeinflusst wird. Verschiedene Herz-Kreislauf-Erkrankungen etwa können miteinander interagieren und ihre Entwicklung hängt maßgeblich vom Lebensstil ab (die COPD tut dies nur in Bezug auf Rauchen und andere Schadstoffbelastungen, soweit bekannt ist [19]). Darüber hinaus ist die Verschlechterung der Lungenfunktion bei einer COPD irreversibel, daher müssen keine Zurückstufungen in ein leichteres Stadium betrachtet werden, was die Modellkomplexität geringer macht.

3.6 Ein Modell der Entwicklung von COPD-Erkrankungen

Durch das Bevölkerungsmodell im Kostenmodell der Gebietskrankenkasse wird die Entwicklung der Population des jeweiligen Bundeslandes berech-

net. Die Demographie ist oft ein wichtiger Faktor für die Entstehung von Krankheiten, aber nicht der einzige. Je nach Art der Erkrankung gibt es unterschiedliche Einflüsse, manche werden stärker durch einen ungesunden Lebensstil, manche durch Umweltfaktoren begünstigt und andere können durch rechtzeitige Früherkennung zumindest im Schweregrad gemildert werden.

Im Fall der COPD ist wie schon erwähnt das Rauchen ein Merkmal, das berücksichtigt werden muss. Laut [33] nahm der FEV1-Wert bei Männern, die zu Beginn der „Lung Health Study“ mit dem Rauchen aufgehört hatten, in elf Jahren um durchschnittlich 30,2 Milliliter pro Jahr ab, bei rauchenden Männern um 66,1 Milliliter pro Jahr (bei Frauen betrug die Abnahme durchschnittlich 21,5 beziehungsweise 54,2 Milliliter pro Jahr). Daher muss die Bevölkerung neben Alter und Geschlecht weiter in Nichtraucher-Raucher-Exraucher und in das jeweilige Krankheitsstadium, in dem sich die Personen befinden, unterteilt werden. Es werden dabei nur die Altersgruppen ab 40 Jahren berücksichtigt, da eine COPD gewöhnlich erst ab diesem Alter auftritt und messbar ist.

In Abbildung 3.7 wird das grundlegende Flussdiagramm für die Modellierung der COPD-Erkrankten und Raucher dargestellt. Auf eine Unterteilung nach Geschlecht wurde verzichtet, da noch nicht geklärt ist, ob Frauen bei gleicher Tabakrauchexposition ein gleich großes oder sogar höheres Risiko als Männer haben, an COPD zu erkranken [22]. Bei den Wahrscheinlichkeiten des Anfangens mit dem Rauchen wird ohnehin über die Bevölkerung in den Altersklassen gemittelt. Sollte sich für Frauen eine höhere Suszeptibilität als gesichert herausstellen, müsste im Modell für die beiden Geschlechter getrennt parametrisiert werden, die Struktur würde aber gleich bleiben.

Die Unterteilung in 10-jährige Altersklassen (und eine Altersklasse 70+) wurde vorgenommen, da in [21] die gleiche Aufteilung für die BOLD-Studie über die Prävalenzen in Österreich (die Stichprobe stammte aus dem Bundesland Salzburg) verwendet wurde. Abbildung 3.8 zeigt die Verteilung auf die einzelnen Altersgruppen (getrennt nach Frauen und Männern und normiert auf eine Gesamtzahl von 100.000 Personen über 40 Jahren) von der Stichprobe und der oberösterreichischen Bevölkerung. Oberösterreich und Salzburg sind im Allgemeinen gut vergleichbar, da sie ähnliche demographische und so-

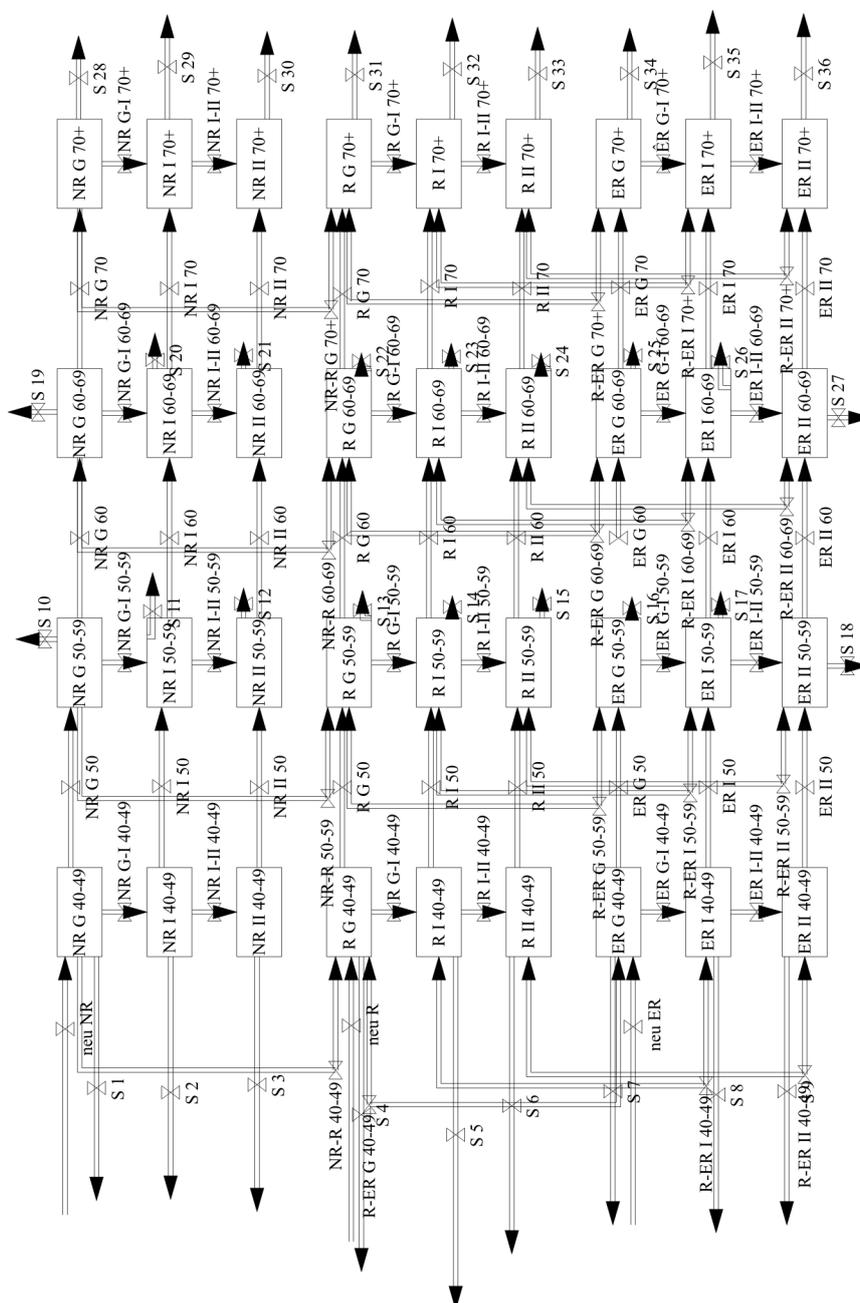


Abbildung 3.7: Das Flussdiagramm der Kompartments für Nichtraucher, Raucher und Exraucher sowie Gesunde und COPD-Erkrankte Stadium I und Stadium II+.

Abkürzungen: NR = Nichtraucher, R = Raucher, ER = Exraucher, G = Gesunde, I = COPD Stadium I, II = COPD Stadium II+.

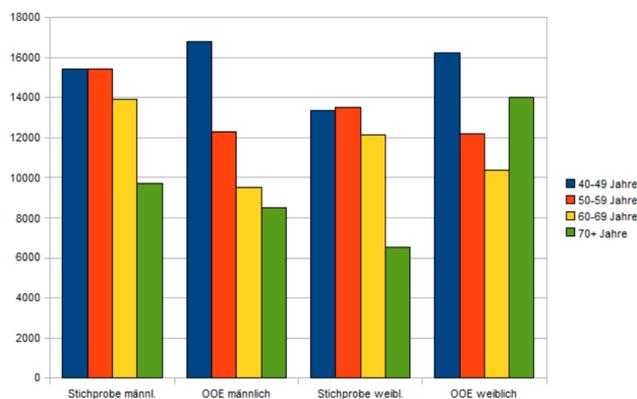


Abbildung 3.8: Die Altersverteilung in der Stichprobe der BOLD-Studie und in der oberösterreichischen Bevölkerung über 40 Jahren, normiert auf eine Gesamtzahl von jeweils 100.000 Personen.

ziale Struktur aufweisen. Die Altersgruppe der 40-49 Jährigen ist demnach in der Stichprobe weniger vertreten, die beiden mittleren Altersgruppen mehr und die Klasse 70+ bei Männern mehr und bei Frauen deutlich weniger.

Da unter der Population nur etwa 1 Prozent die Kriterien für COPD Stadium III oder IV erfüllte und damit die Parameter dieser Stadien sehr unsicher sind, werden sie mit dem Stadium II zum Stadium II+ zusammengefasst. In den Variablennamen wurde „I“ und „II“ verwendet, wobei letzteres, wenn nichts anderes gesagt wird, immer für II+ steht. Für jedes Alter werden Kompartments mit Gesunden, COPD I Kranken und COPD II+ Kranken, jeweils weiter zerlegt in (lebenslange) Nichtraucher, Raucher und Exraucher, gebildet. Damit ergeben sich insgesamt 36 Kompartments, also ein Differentialgleichungssystem mit 36 Zustandsgrößen, welches Input aus dem Bevölkerungsmodell erhält. Die Kompartments werden mit dem Kürzel für den Raucherstatus, gefolgt vom COPD-Stadium (oder G für Gesunde) und der Altersklasse bezeichnet.

Zwischen den Kompartments sowie aus und in diese gibt es fünf Arten von Flüssen (im Gegensatz zum Kostenmodell Personenflüsse, nicht Flüsse von Erkrankungen):

1. Neuzufüsse von Personen, die 40 Jahre alt werden
2. Alterungsflüsse von einer Altersklasse in die nächste
3. Flüsse von „Gesund“ in „COPD I“ oder von „COPD I“ in „COPD II“
4. Flüsse der Änderung des Raucherstatus
5. Sterbeflüsse - Zustrom von Migranten wird von diesen abgezogen, um das Flussdiagramm nicht zu unübersichtlich zu machen

Die **Neuzufüsse** - bezeichnet mit „neu R“, „neu NR“ und „neu ER“ - lassen Personen, die 40 Jahre alt werden, in die drei Kompartments der Altersgruppe „40-49“, welche gesunde Nichtraucher, Raucher oder Exraucher enthalten, eintreten. Da wenige Personen in jüngeren Jahren eine COPD entwickeln, erscheint dies in Übereinstimmung mit einer konsultierten Expertin gerechtfertigt. Die Gesamtmenge der Neuzufüsse ist durch die beiden Übertritte (bezeichnet mit „Wechsel Männer 40“ und „Wechsel Frauen 40“) von Männern und Frauen in die Kompartments „Männer 40-44“ und „Frauen 40-44“ gegeben. Die Aufteilung auf die drei Flüsse erfolgt nach den gemittelten Anteilen für Nichtraucher, Raucher und Exraucher im Alter 40-44 und 45-49 Jahre, die in Tabelle 3.1 dargestellt sind.

Die **Alterungsflüsse** führen von einem Kompartiment in das Kompartiment gleichen Typs, aber höheren Alters. Wieder ist die Gesamtanzahl des Übertritts aus dem Bevölkerungsmodell bekannt, und es wird angenommen, dass sich die wechselnden Personen anteilmäßig je nach Größe der 9 Typen von Kompartments auf diese aufteilen. Beispielsweise wird für den Wechsel

Tabelle 3.1: Anteile von Rauchern, Exrauchern und Nichtrauchern im Jahr 1997

Alter	Raucher (%)	Nichtraucher (%)	Exraucher (%)
40-44 Jahre	36,7	19,6	43,7
45-49 Jahre	33,5	19,6	46,9

mit 50 Jahren der Anteil der wechselnden Personen mit

$$\text{Anteil Wechsel 50} = \frac{\text{Wechsel Frauen 50} + \text{Wechsel Männer 50}}{\text{Frauen 40-49} + \text{Männer 40-49}}$$

berechnet. Der Übertritt von Kompartiment der 40-49-jährigen Raucher mit COPD I wird bezeichnet mit „R I 50“ und wird gebildet aus:

$$R I 50 = \text{Anteil Wechsel 50} \cdot R I 40-49$$

Die **Flüsse von Gesund in das Stadium COPD I und von COPD I in COPD II** werden mittels der Inzidenzen - welche vom Raucherstatus abhängen - für die jeweiligen Übergänge berechnet. Ebenso werden die **Flüsse der Änderung des Raucherstatus** aufgrund der Parameter „Anfangen“ (die Wahrscheinlichkeit, mit dem Rauchen zu beginnen, also für den Übertritt von Nichtraucher in Raucher) sowie „Aufhören“ und „Neuanfang“ (Wahrscheinlichkeiten, von Raucher zum Exraucher zu werden oder wieder anzufangen; sie werden für Gesunde und COPD-Kranke unterschiedlich angenommen). Dabei wird festgelegt, dass nur gesunde Personen vom Nichtraucher zum Raucher werden können, da es höchst unwahrscheinlich ist, dass ein lebenslanger Nichtraucher mit COPD mit dem Rauchen beginnt.

Zuletzt müssen sterbende Personen aus den Kompartiments abfließen. Die Migranten, die in die Altersgruppen hinzukommen, werden von den **Sterbeflüssen) direkt (ohne eigene Migrantenflüsse** abgezogen und nicht mit getrennten Flüssen modelliert, um die graphische Darstellung nicht zu unübersichtlich zu machen. Wie bei den Alterungsflüssen wird für jede Altersgruppe der Anteil der gestorbenen Personen (bezeichnet beispielsweise mit „Sterbeanteil 50-59“ für die 50-59-Jährigen), der sich aus dem Bevölkerungsmodell ergibt, gebildet. Für jedes der Merkmalsausprägungen „Raucher“, „Exraucher“, „COPD I“ und „COPD II“ wird ein Parameter „Sterbefaktor“ gesetzt, der die Wahrscheinlichkeit, zu sterben, im Vergleich zu einem gesunden Nichtraucher verändert. Wird beispielsweise der „Sterbefaktor COPD II“ auf 3 gesetzt, haben an COPD Stadium II erkrankte Personen ein dreimal so hohes Sterberisiko. Jedoch gibt hier der Sterbefaktor für Raucher nur das

erhöhte Risiko an, durch Krankheiten außer COPD zu sterben, beispielsweise Lungenkrebs. Damit ergibt sich die erhöhte Sterbewahrscheinlichkeit für einen an COPD Stadium II erkrankten Raucher durch Multiplikation von „Sterbefaktor Raucher“ und „Sterbefaktor COPD II“ (die beiden Faktoren sind voneinander unabhängig).

Um tatsächlich die richtige Gesamtanzahl von einer Altersgruppe durch die Sterbeflüsse abzuziehen, müssen die Faktoren noch für jede Altersgruppe normiert werden. Bezeichnet man die neun Kompartments mit A, B, \dots, H, I , die dazugehörigen Faktoren mit $F_A, F_B, \dots, F_H, F_I$, den Anteil der sterbenden Personen pro Jahr an der Gesamtanzahl der Leute des jeweiligen Alters mit k und den Normierungsfaktor mit N , so ergibt sich die Gleichung

$$N \cdot (F_A \cdot A \cdot k + F_B \cdot B \cdot k + \dots + F_H \cdot H \cdot k + F_I \cdot I \cdot k) = (A + B + \dots + H + I) \cdot k$$

und daraus:

$$N = \frac{A + B + \dots + H + I}{F_A \cdot A + F_B \cdot B + \dots + F_H \cdot H + F_I \cdot I}$$

Damit wurde ein globales Flussmodell und dessen Parametrisierung beschrieben. Im folgenden Kapitel werden mit beiden Modellen verschiedene Simulationen durchgeführt.

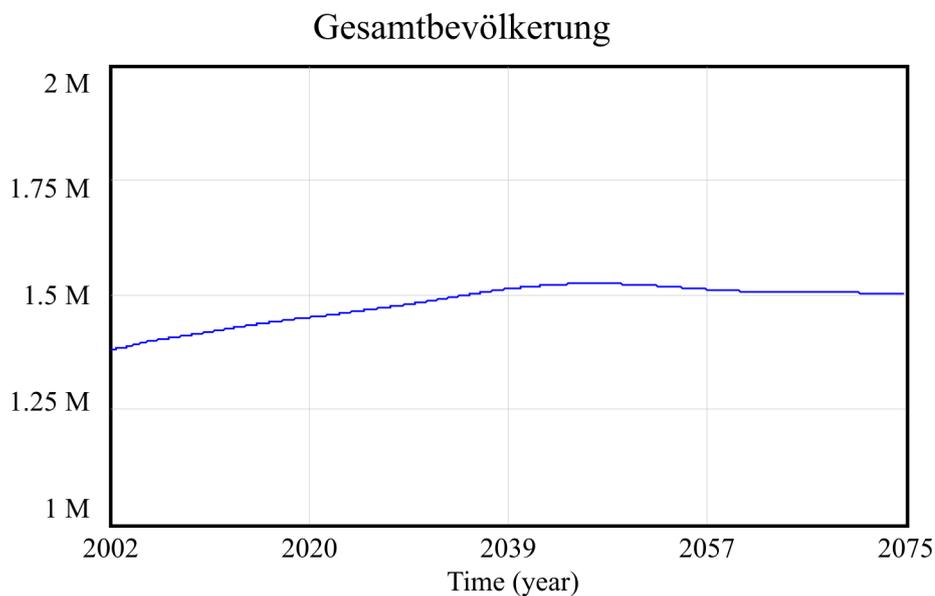
Kapitel 4

Ergebnisse

4.1 Ergebnisse des Kostenmodells

4.1.1 Bevölkerungsmodell

Abbildung 4.1 zeigt die Entwicklung des Bevölkerungsstandes in einem relativ langen Zeitraum. Er erreicht im Jahr 2046 seinen Höchststand mit über 1,5 Millionen Einwohnern Oberösterreichs und sinkt dann langsam. Das Ergebnis ist plausibel, da eine langsam auf 1,56 Prozent steigende Gesamtfertilität vorgegeben wurde, was zu wenig sein dürfte, um einen dauerhaften Bevölkerungszuwachs zu gewährleisten. In Abbildung 4.2 werden dagegen ausgewählte einzelne Kompartments dargestellt. Sie zeigen eine Wanderbewegung von besonders starken Jahrgängen, die in der Gegenwart im Alter zwischen 40 und 45 liegen und in 35 Jahren im Kompartiment der 75-80-Jährigen sind (hier wurden zwar abwechselnd Kompartments der Männer und Frauen genommen, beide Geschlechter zeigen jedoch ähnliches Verhalten, wie es bei konstantem Verhältnis von Jungen zu Mädchen bei den Neugeborenen auch zu erwarten ist). Allgemein zeigt sich eine deutliche Verschiebung der Demographie hin zu den älteren Jahrgängen.



Gesamtbevölkerung : Bevölkerung

Abbildung 4.1: Basislauf mit Gesamtfertilität und Lebenserwartung nach den Tabellen der Statistik Austria. Ergebnis für die Gesamtbevölkerung bis zum Jahr 2075.

4.1.2 Basislauf

Der Simulationszeitschritt muss relativ klein gewählt werden, denn ab einer Schrittweite von 0,006 (Jahren) bricht die Simulation schon nach kurzer Zeit ab. Dies ist auch wenig überraschend, da die Delayzeiten meist auf nur einige Tage (etwa für die Heilung von akuten Erkrankungen) festgelegt werden. Die Differentialgleichung für einen Delay erster Ordnung lautet, wenn LV das Level des Delays (also jene Speichergröße, welche den zu verzögernden Input integriert und aus welcher der durchschnittlich um die Delayzeit verzögerte Output abfließt) und DT die Delayzeit bezeichnet:

$$\frac{dLV(t)}{dt} = \text{Input}(t) - \frac{LV(t)}{DT}$$

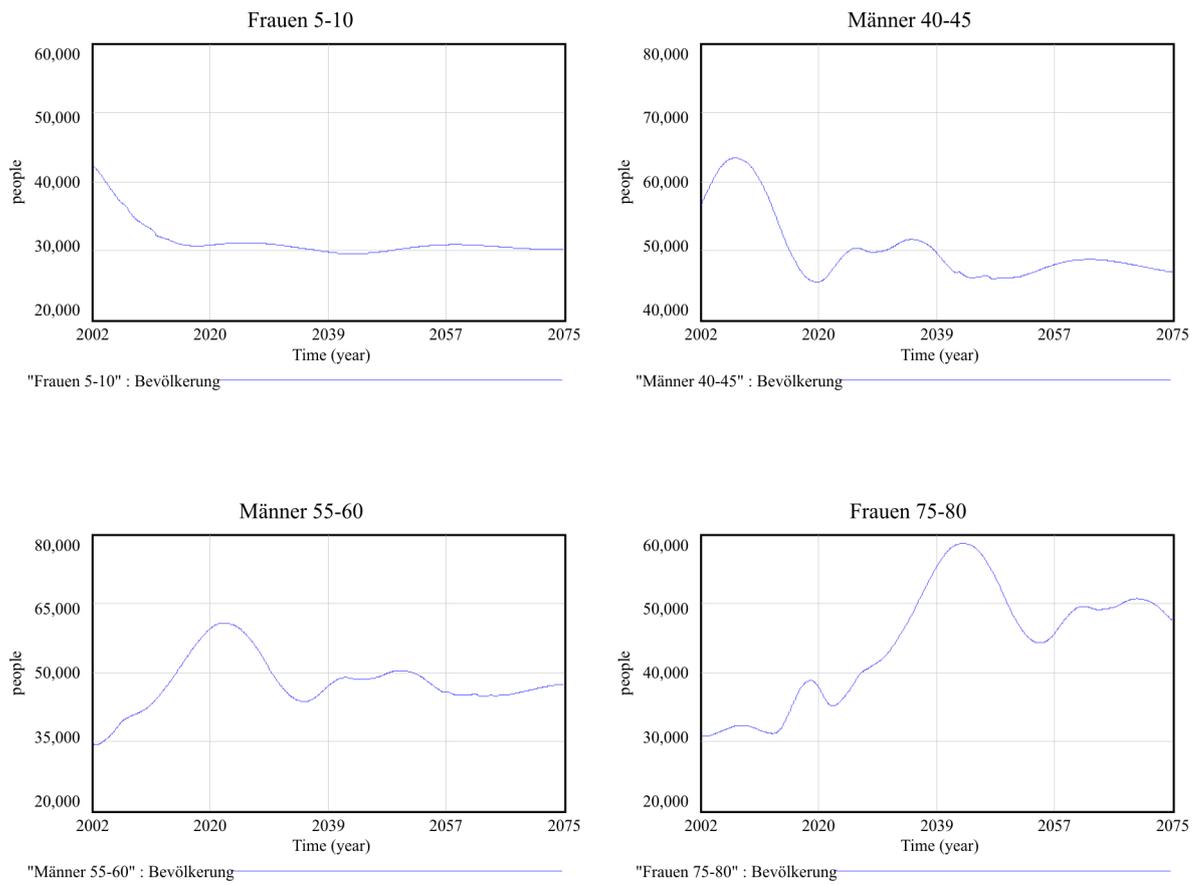


Abbildung 4.2: Ergebnis für ausgewählte Kompartments des Bevölkerungsmodells bis zum Jahr 2075.

Der Eigenwert dieser linearen Differentialgleichung erster Ordnung ist $-\frac{1}{DT}$. Ist der Input konstant, so erfüllt die Lösung $LV(t)$ der Differentialgleichung

$$\lim_{t \rightarrow \infty} LV(t) = \text{Input} \cdot DT$$

Vensim verwendet zum Lösen der Differentialgleichung das explizite Eulerverfahren. Bezeichnet LV_i den Wert der Näherungslösung nach dem i -ten Schritt des Verfahrens zum Zeitpunkt t_i und sei h die Schrittweite, so ist LV_{i+1} durch

$$LV_{i+1} = \left(1 - \frac{h}{DT}\right) \cdot LV_i$$

gegeben. Mit dem Anfangswert LV_0 berechnet sich LV_i zu:

$$LV_i = \left(1 - \frac{h}{DT}\right)^i = \left(1 - \frac{h}{DT}\right)^{\frac{t_i}{h}}$$

Ist nun die Schrittweite h größer als das Zweifache der Delayzeit, so gilt

$$1 - \frac{h}{DT} < -1$$

woraus folgt

$$\lim_{i \rightarrow \infty} |LV_i| = \infty$$

Dieses unterschiedliche qualitative Verhalten von Lösung und Näherungslösung ist inakzeptabel und führt zum genannten Problem. Die Differentialgleichung gehört zur Klasse der steifen Probleme, für die ein implizites Lösungsverfahren wesentlich bessere Ergebnisse liefern würde. In Vensim ist jedoch kein implizites Verfahren implementiert, daher muss für das zu Grunde liegende gekoppelte Differentialgleichungssystem die Schrittweite so gewählt werden, dass die Anforderungen für die steifste Einzelgleichung erfüllt sind. Dies führt im System zu einem signifikanten Anstieg der Berechnungszeit, ist aber unumgänglich um die Qualität der numerischen Lösung zu garantieren. Laut Forrester [24] ist die Hälfte des kleinsten im Modell verwendeten Zeitintervalls eine gute Obergrenze.

Zur Sicherheit wurde der Zeitschritt somit auf 0,001 Jahre gesetzt. Deshalb und aufgrund der Komplexität des Modells nimmt die Simulation be-

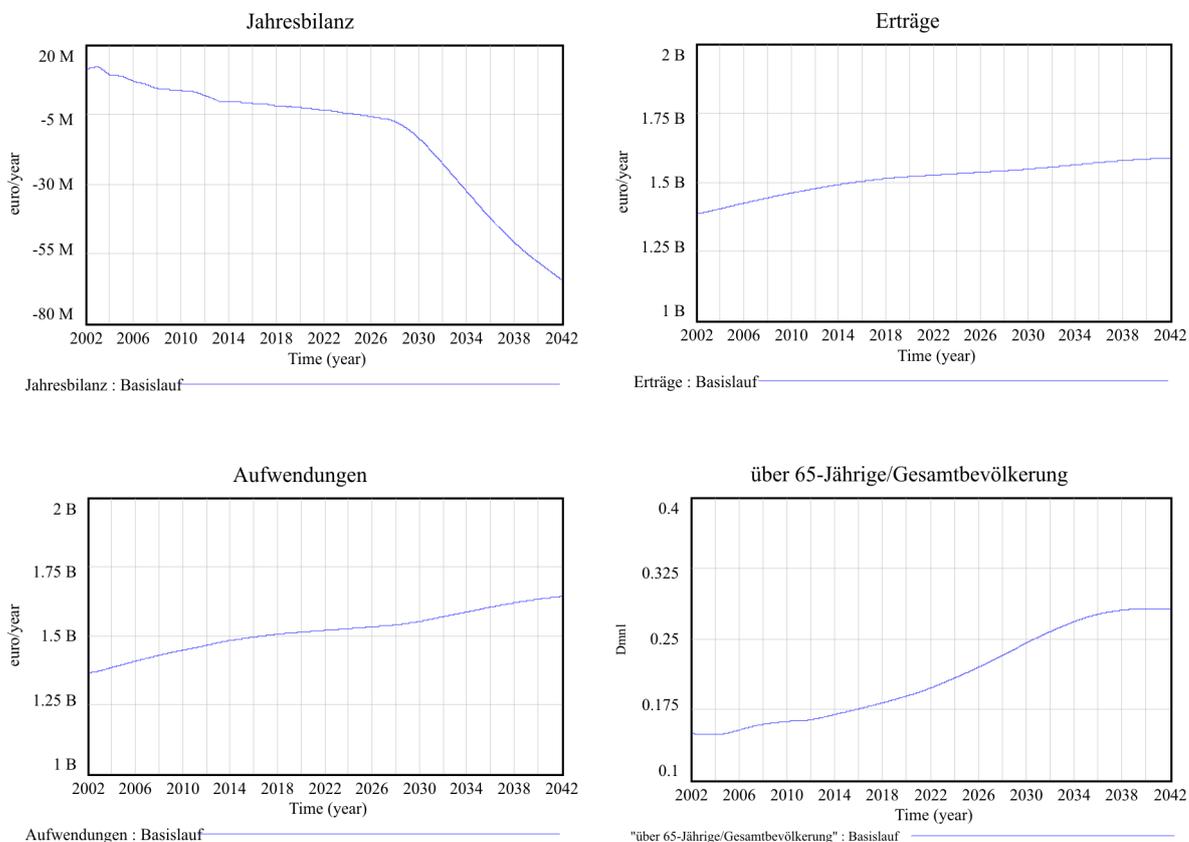


Abbildung 4.3: Ergebnisse des Basislaufs.

Oben links: Jahresbilanz der Krankenkasse, stark fallend ab etwa dem Jahr 2028.

Oben rechts: Erträge der Krankenkasse.

Unten links: Aufwendungen der Krankenkasse.

Unten rechts: Anteil der über 65-Jährigen an der Gesamtbevölkerung.

reits einige Minuten in Anspruch, daher wurde für die nachfolgenden Tests ein verkürzter Simulationszeitraum (bis 2042) gewählt.

Abbildung 4.3 zeigt die Jahresbilanz der Krankenkasse. Diese bleibt bis ins Jahr 2013 positiv, ist aber nahezu monoton fallend. Tatsächlich bilanzierte die Oberösterreichische Gebietskrankenkasse, an die das Modell angepasst wurde, bisher positiv. Ab dem Jahr 2028 sinkt die Jahresbilanz dann wesentlich schneller. Um die Ursache dafür zu finden, wird das „Causes Tree“-Werkzeug von Vensim verwendet. Es zeigt in Baumstruktur die Variablen an, von denen die betrachtete Größe abhängig ist, wie in Abbildung 4.3 für

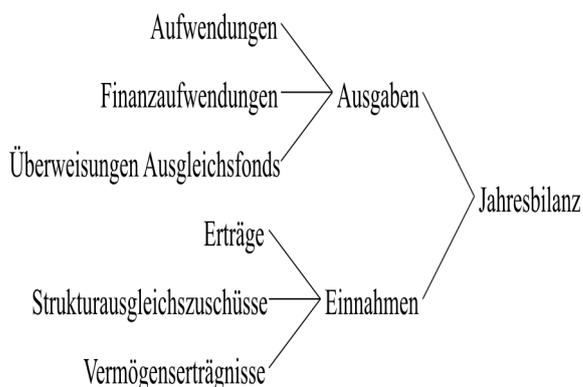


Abbildung 4.4: „Causes Tree“ der Variablen „Jahresbilanz“.

„Jahresbilanz“. Sowohl Einnahmen als auch Ausgaben der Krankenkasse erhöhen sich über die Zeit. Mit dem Causes Tree lässt sich das Verhalten der Jahresbilanz auf das Verhalten der akuten und chronischen Erkrankungen zurückführen; auch diese steigen etwa im selben Zeitraum am stärksten an, allerdings schon etwas früher, ab dem Jahr 2024. Dies lässt sich mit dem ebenfalls stark steigenden Anteil der über 65-Jährigen an der Gesamtbevölkerung erklären, wie ebenfalls aus Abbildung 4.3 ersichtlich. Für jene Bevölkerungsgruppe wurden höhere Parameter „Anteil Neuerkrankungen“ verwendet, da die Morbidität sowie die Kosten für Arzthilfe und Heilmittel im Alter steigen [31], woraus sich auf eine höhere Erkrankungswahrscheinlichkeit schließen lässt.

Um diese Hypothese zu untersuchen, ist in Abbildung 4.5 die Entwicklung von Jahresbilanz (linke Graphik) und Reinvermögen (rechte Graphik) im Vergleich von Basislauf (rote Graphen) und einem Simulationsdurchgang mit gleichen Neuerkrankungswahrscheinlichkeiten (blaue Graphen) für alle Altersgruppen dargestellt. Bei letzterem fällt die Jahresbilanz - vor allem nach dem Jahr 2028 - wesentlich langsamer. Das Reinvermögen ist zu Beginn noch etwas niedriger als im Basislauf, bleibt aber über den gesamten Simulationszeitraum positiv.

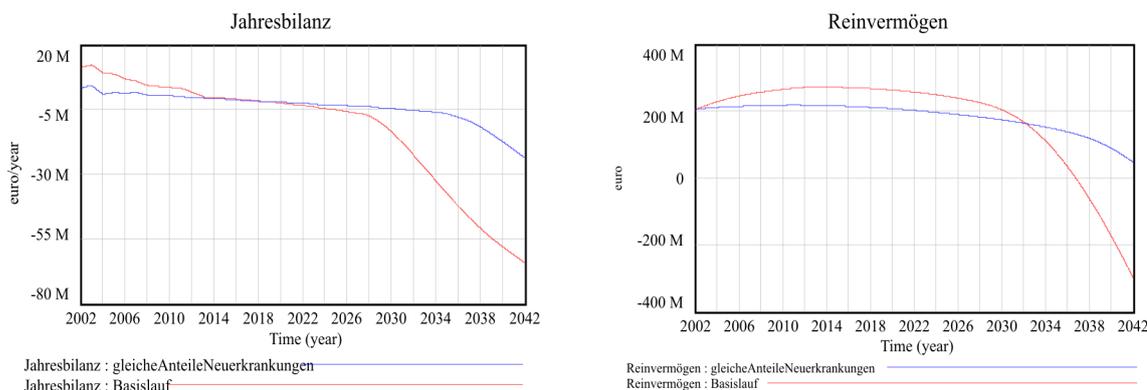


Abbildung 4.5: Jahresbilanz und Entwicklung des Reinvermögens bei gleichen Neuerkrankungswahrscheinlichkeiten für alle Altersgruppen. Basislauf mit standardmäßigen Parametern und Lauf „gleicheAnteileNeuerkrankungen“ mit gleichen Neuerkrankungswahrscheinlichkeiten für alle Altersgruppen

4.1.3 Sensitivitätsanalysen

Ein wesentliches Ziel von System Dynamics Modellen (bei denen häufig verschiedenste Parameter quantitativ nur sehr ungenau bekannt sind) besteht darin, die Sensitivität der Ergebnisse für Änderungen in bestimmten Parametern zu testen, um einerseits aufzuzeigen, welche Daten überhaupt in welcher Genauigkeit gebraucht werden, und um andererseits Abschätzungen für die mögliche Entwicklung des Systems zu erhalten.

Wie in Abschnitt 4.1.2 gezeigt, hat die Altersverteilung der Bevölkerung großen Einfluss auf die Jahresbilanz der Krankenkasse. Eine Möglichkeit, die Demographie zu verändern, ist durch Variation der Gesamtfertilität möglich. Im Basislauf wurde diese wie in Abschnitt 4.1.1 beschrieben vorgegeben. Um den Einfluss der Fertilität zu testen, wird sie mit einem konstanten „Faktor Fertilität“ multipliziert. Dieser wird einer Sensitivitätsanalyse mittels Monte Carlo Simulation mit 30 Simulationsläufen unterzogen. Für das Sampling des Parameters wird eine Normalverteilung mit Erwartungswert 1 und Standardabweichung 0,5 verwendet. Aufgrund der größeren Dauer bei vielen Simulationsläufen werden diese nur jeweils bis 2012 gerechnet.

In Abbildung 4.6 zeigt sich, dass eine Änderung der Geburtenrate entscheidende Auswirkungen auf die finanzielle Situation der Gebietskranken-

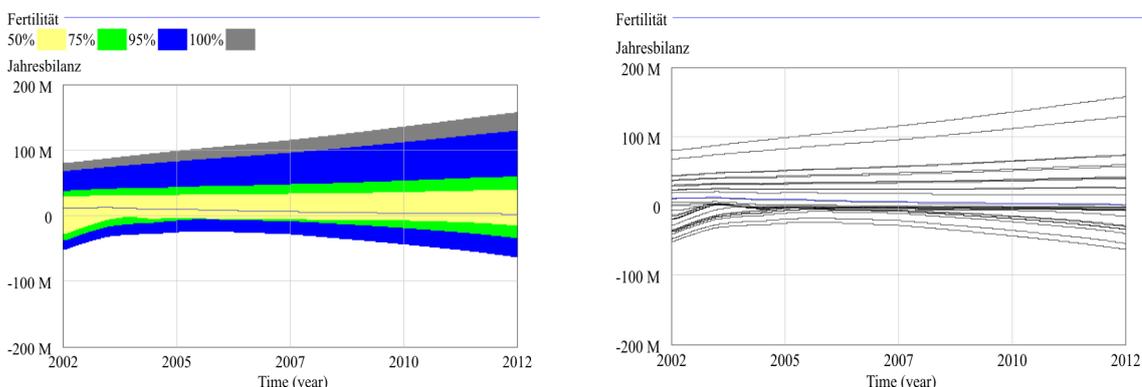


Abbildung 4.6: Quantile und einzelne Ergebnisse der Jahresbilanz bei der Sensitivitätsanalyse der Fertilität.

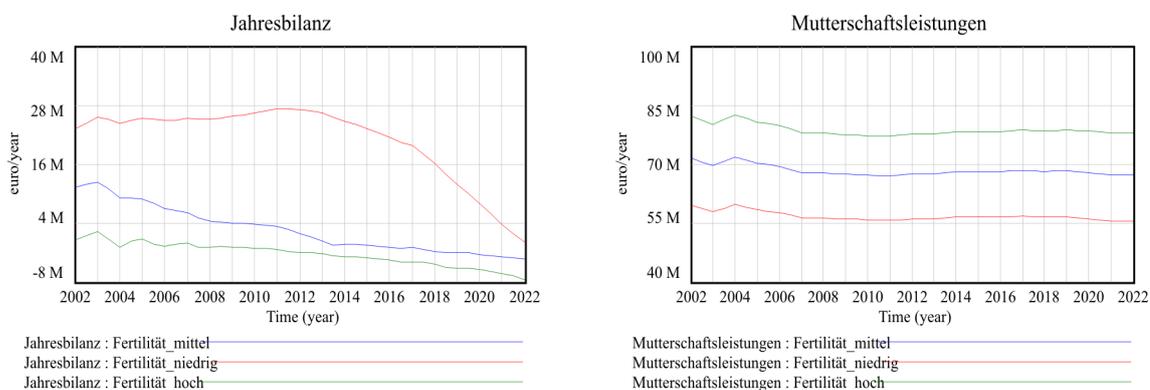


Abbildung 4.7: Jahresbilanz und Mutterschaftsleistungen mit mittlerer, hoher (Faktor = 1,15) und niedriger (Faktor = 0,83) Fertilität.

kasse haben kann. Bei einigen Simulationsläufen steigt ihr Gewinn sogar über den gesamten Zeitraum.

Aus dem Graphen der Sensitivitätsanalyse ist nicht zu erkennen, bei welchen Werten sich welche Resultate ergeben. Daher wird der „Faktor Fertilität“ zusätzlich manuell auf die Werte 1,15 und 0,83 angepasst und für den längeren Zeitraum bis 2022 simuliert. Abbildung 4.7 zeigt die Ergebnisse im Vergleich zu jenen des Basislaufs. Überraschenderweise ergibt sich mit einer niedrigen Fertilitätsrate am Anfang eine wesentlich bessere Jahresbilanz. Dies ist allerdings plausibel, denn zumindest in den ersten 15 Lebensjahren werden von Anspruchsberechtigten keine Beiträge gezahlt. Die Jahresbilanz ist bei hoher Fertilitätsrate von Beginn an schlechter, obwohl die Bevölkerung noch annä-

hernd gleich ist. Der Grund dafür sind die höheren Mutterschaftsleistungen, die im Modell als konstanter Betrag pro Geburt abgebildet wurden. Etwa 15 Jahre nach Simulationsbeginn sinkt die Jahresbilanz des Simulationslaufes mit niedriger Fertilität wesentlich stärker als bei den anderen beiden Läufen, da ab hier potentielle Beitragszahler der geburtenschwachen Jahrgänge zu fehlen beginnen. Es zeigt sich, dass eine kurzfristig gute Strategie langfristige Nachteile haben kann.

4.1.4 Szenario: Anpassung der Beitragssätze

Um zu zeigen, wie die sich stark verschlechternde finanzielle Situation stabilisiert werden kann, wird in diesem Szenario eine dynamische Anpassung der Beitragssätze zugelassen, die von der Jahresbilanz der Krankenkasse abhängt. Zwar wird die Differenz aus Einnahmen und Ausgaben im Modell kontinuierlich berechnet, aber Bilanzen stehen in der Wirklichkeit immer erst zu einem späteren Zeitpunkt zur Verfügung. Daher muss die Jahresbilanz geglättet werden. Dies geschieht über die Gleichung

$$\text{geglättete Jahresbilanz}(t) = \int_{t_0}^t \frac{\text{Jahresbilanz}(\tau) - \text{geglättete Jahresbilanz}(\tau)}{T} d\tau$$

wobei T die Zeitkonstante der Glättung angibt (Forrester nannte diesen Vorgang „smoothing of information“ [24]). Die geglättete Jahresbilanz wird dann noch mit einem festen Wert normiert; im Szenario wurde dieser Wert auf -2 Mio. Euro festgelegt. Tritt in dem Modell demnach zu einem Zeitpunkt eine negative Jahresbilanz mit 2 Mio. Euro Verlust auf, so beträgt der Wert der normierten Jahresbilanz genau eins.

Die eigentliche Beitragsänderung erfolgt über eine Tabellenfunktion, welche die normierte Jahresbilanz auf die Änderungsrate „Änderung Beiträge“ des Levels „Faktor Beiträge“ abbildet. Diese ist zu Simulationsbeginn gleich eins; die initialen Beitragssätze werden mit ihr multipliziert. Abbildung 4.8 zeigt die Ergebnisse für „Änderung Beiträge“ und den Beitragssatz der Erwerbstätigen (die Beiträge für die anderen Versichertenarten werden mit dem gleichen Faktor multipliziert). Zu Beginn der Simulation wird der Beitrags-

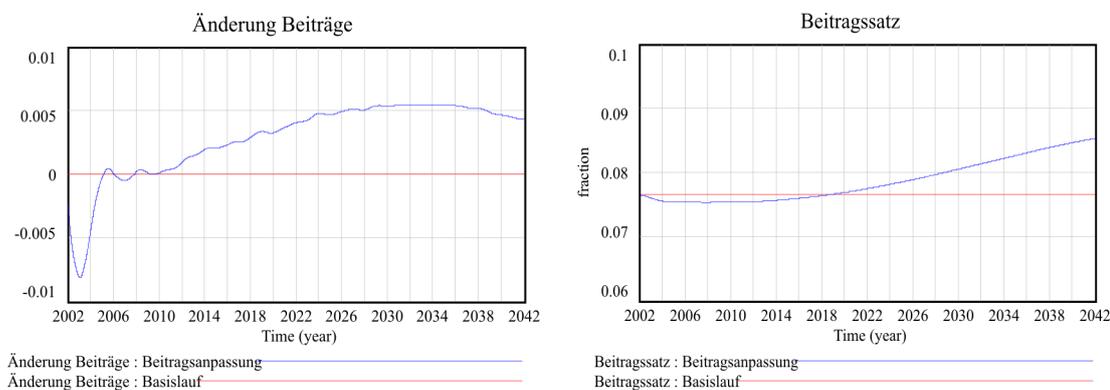


Abbildung 4.8: Zeitverlauf der Variable „Änderung Beträge“ (linke Graphik) und des Beitragsatzes für Erwerbstätige (rechte Graphik). Die beiden roten Graphen geben zum Vergleich die konstanten Werte des Basislaufes an.

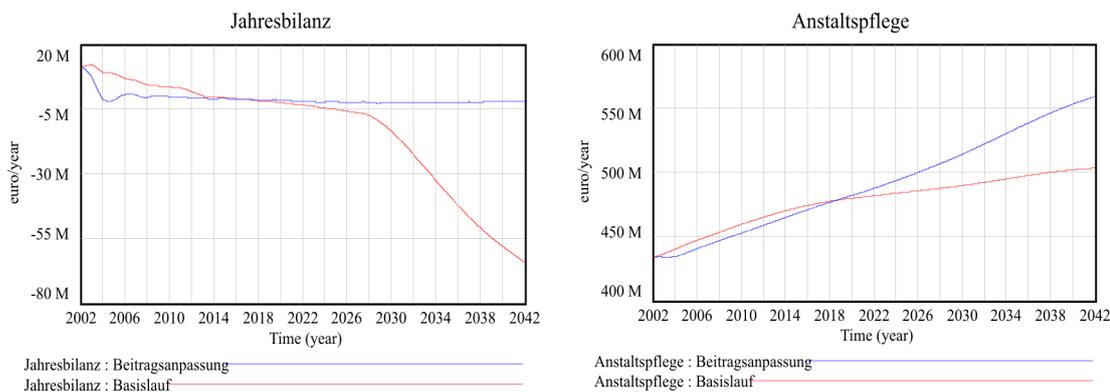


Abbildung 4.9: Zeitverlauf der Jahresbilanz und der Aufwendungen für Anstaltspflege mit Beitragsanpassung (blaue Graphen) und aus dem Basislauf (rote Graphen).

satz noch leicht nach unten korrigiert. Dann steigt er jedoch bis zum Jahr 2042 auf etwa 8,5 Prozent an (Ausgangsniveau ist der aktuelle Beitragssatz von 7,65 Prozent). Wie aus Abbildung 4.9 ersichtlich, bilanziert die Kasse mit Beitragsanpassung relativ bald ausgeglichen. Die rechte Graphik zeigt, dass die Aufwendungen für Anstaltspflege stärker ansteigen, da die Zahlungen an den Krankenanstaltenfonds an die Beiträge gekoppelt sind.

4.2 Ergebnisse COPD-Modell

In Abbildung 4.10 sind die Ergebnisse des Basislaufes mit standardmäßigen Parameterwerten für die Gesamtanzahl der Gesunden sowie der COPD-Kranken zu zwei verschiedenen Schrittweiten dargestellt. Da sie sich nur minimal unterscheiden, ist es gerechtfertigt, mit der größeren Schrittweite zu simulieren.

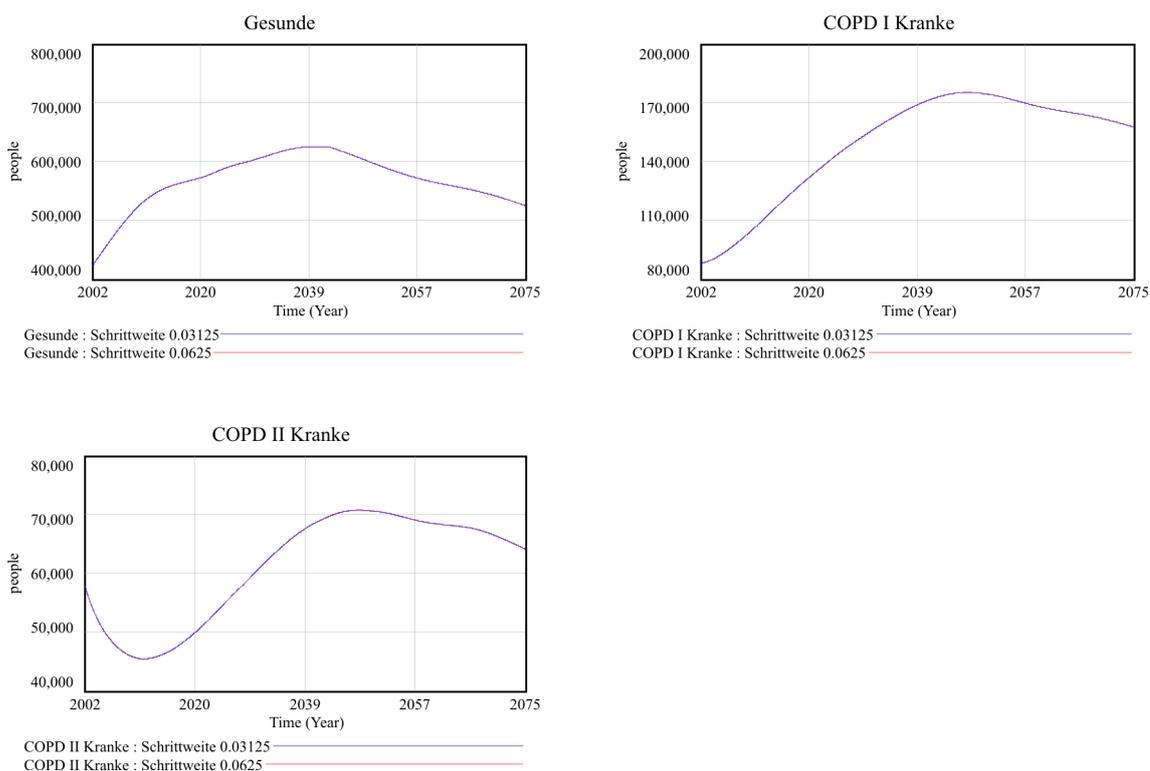


Abbildung 4.10: Ergebnisse für Gesunde, COPD I und COPD II bei Schrittweiten 0,0625 und 0,03125.

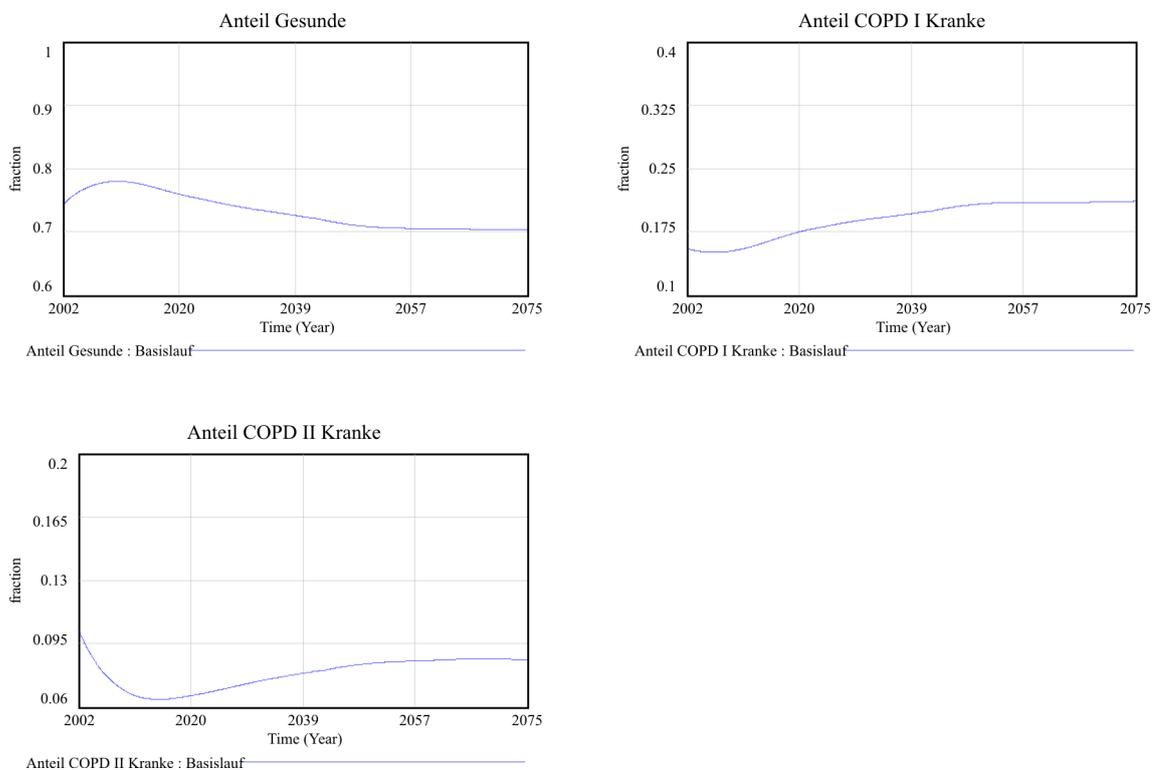


Abbildung 4.11: Anteile der Gesunden und der COPD-Kranken an der Gesamtzahl der über 40-Jährigen.

Abbildung 4.11 zeigt die Anteile von Gesunden, COPD I- und COPD II+-Kranken an der Gruppe der über 40-Jährigen. Auffällig ist, dass wider Erwarten die Prävalenz von COPD II+ nach dem Start der Simulation absinkt. Die Startwerte wurden nach den Ergebnissen der BOLD-Studie in Österreich [21] übernommen, welche im internationalen Vergleich relativ hohe Werte für die Prävalenz ergaben. Mangels österreichischer Daten zur Inzidenz mussten Studien aus anderen Ländern herangezogen werden, wodurch sie im Verhältnis zur österreichischen Prävalenz vermutlich zu niedrig angesetzt wurde. Mit besseren Werten für Prävalenzen und Inzidenzen sollte sich das System am Anfang nahezu in einer Gleichgewichtslage befinden.

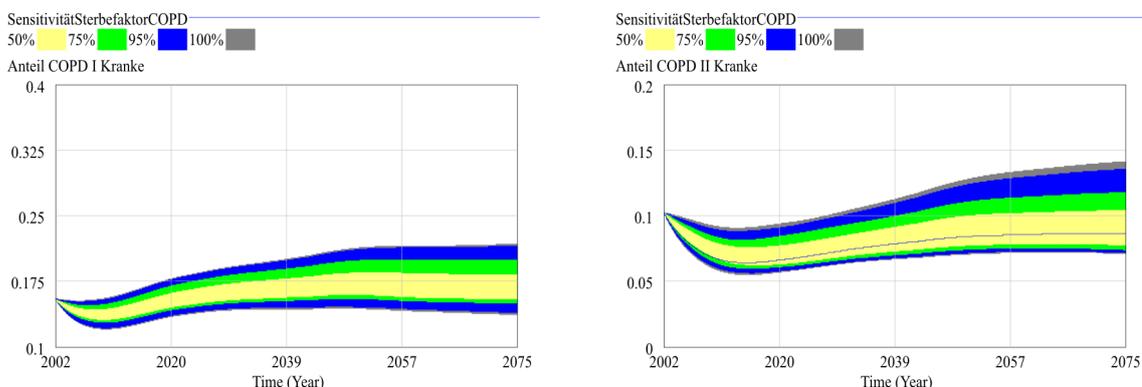


Abbildung 4.12: Sensitivität des Anteils von COPD I- und II-Erkrankten bezüglich der Sterbefaktoren für COPD.

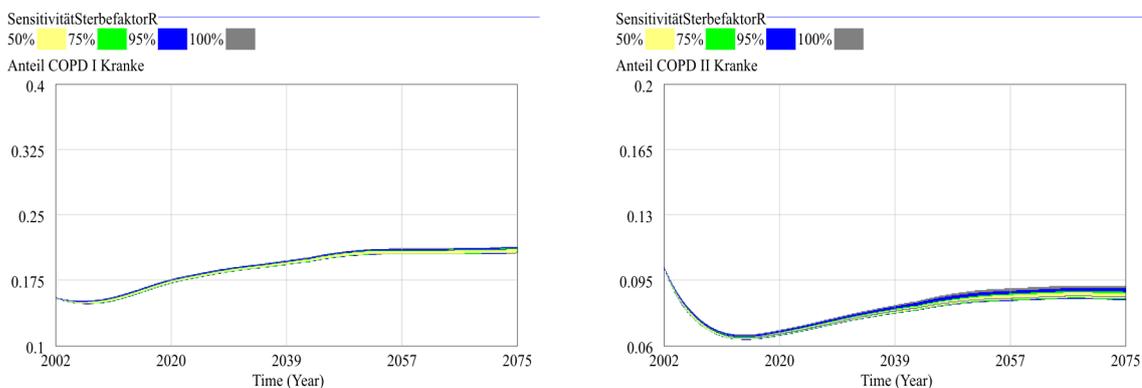


Abbildung 4.13: Sensitivität des Anteils von COPD I- und II+-Erkrankten bezüglich der Sterbefaktoren für Raucher und Exraucher.

4.2.1 Sensitivitätsanalysen

Für die unterschiedlichen Sterbewahrscheinlichkeiten je nach Gruppen, die Inzidenzen von COPD für Raucher, Nichtraucher und Exraucher sowie die Wahrscheinlichkeiten des Beginns, Aufhörens und Neuanfangens mit dem Rauchen gibt es wenig zuverlässige Daten, zumindest für Österreich (bei Prävalenzen und dem Anteil der Raucher an der Gesamtbevölkerung sind die Daten wesentlich besser). Daher wird für diese Parameter eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt.

Ein überraschendes Resultat zeigt sich beim Vergleich der Sensitivität der Sterbefaktoren für Raucher und für COPD-Kranke, wie in den Abbildungen

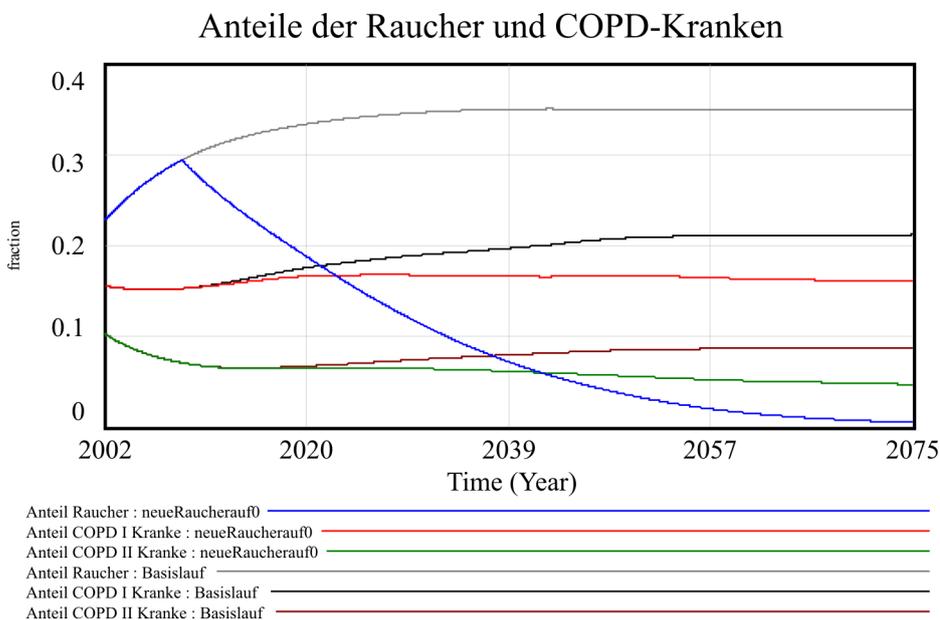


Abbildung 4.14: Anteile der Raucher und COPD-Kranken für den Basislauf sowie unter der Annahme, dass keine neuen Raucher entstehen und keine Exraucher rückfällig werden.

4.12 und 4.13 dargestellt. Es wurde eine Monte Carlo Simulation mit 200 einzelnen Simulationen durchgeführt, wobei die Parameter „Sterbefaktor Raucher“ und „Sterbefaktor Exraucher“ beziehungsweise „Sterbefaktor COPD I“ und „Sterbefaktor COPD II“ jeweils zwischen 1 (gleiche Sterbewahrscheinlichkeit wie gesunder Nichtraucher) und 5 (fünffmal so hohe Sterbewahrscheinlichkeit wie gesunder Nichtraucher) gleichverteilt variiert wurden. Während die Sterblichkeit von COPD Patienten einen großen Einfluss auf die Resultate hat, unterscheiden sich die Simulationsläufe bei der Sensitivitätsanalyse für die Sterbefaktoren der Raucher und Exraucher nahezu nicht.

4.2.2 Szenario: keine neuen Raucher

Das Verhalten des Modells bei plötzlichem Stopp des Zustroms an Rauchern soll getestet werden. Dazu werden Sprungfunktionen eingesetzt, welche ab dem Jahr 2009 die Parameter „Aufhören“ und „Neuanfangen“ auf Null setzen sowie nur mehr Nichtraucher in die Kompartments der 40-49-Jährigen

übertreten lassen.

In Abbildung 4.14 werden die Anteile der Raucher, COPD-I und COPD II+-Kranken von Basislauf und Szenario vergleichend dargestellt. Es ist erkennbar, dass die Kranken des Stadiums II+ später auf den fallenden Anteil der rauchenden Bevölkerung reagieren als die Kranken des Stadiums I. Obwohl die Raucher während der Simulationszeit von knapp 30 Prozent auf nahezu Null zurückgehen, wirkt sich das mit nur etwa 5 Prozent Reduktion bei COPD I-Kranken und 4 Prozent bei COPD II+-Kranken aus.

Raucher aus dem System, welche im Jahr 2075 noch leben, müssten eigentlich 106 Jahre alt sein, nachdem sie im Jahr 2009 mindestens 40 Jahre alt waren. Der Grund für dieses Verhalten des Systems ist, dass das Wegsterben aus den Kompartments mit (kontinuierlichen) exponentiellen Delays modelliert wird. Dadurch wird die Anzahl der Raucher in den Kompartments nie tatsächlich gleich null, sondern klingt exponentiell ab (der Grenzwert für $t \rightarrow \infty$ ist Null). Dieses Verhalten könnte realistischer modelliert werden, indem man den Wert des Kompartments abfragt und auf null setzt, wenn er kleiner als eins ist (da es keine Bruchteile von Personen geben kann).

Kapitel 5

Fazit und Ausblick

In dieser Arbeit wurde ein System Dynamics Modell entwickelt, welches in der Lage ist, die finanzielle Entwicklung einer Gebietskrankenkasse qualitativ abzubilden. Die Grundstruktur dieses Modells wird von den Geldflüssen gebildet, die dem Rechnungsabschluss der oberösterreichischen Gebietskrankenkasse entnommen wurden. Zudem standen aggregierte Daten des Hauptverbandes der österreichischen Sozialversicherungsträger zu Fallzahlen und Kosten der verschiedenen Bereiche der Versicherungsleistungen, etwa Arzthilfe, Heilmittel, Transportkosten und andere, zur Verfügung, an die das Modell angepasst werden konnte.

Im Modell kommen unterschiedliche Modellierungstiefen zur Anwendung. Bereiche, die zu Einnahmen und Ausgaben einen besonders hohen Beitrag liefern und die immer wieder im Interesse der Debatten rund um eine Gesundheitsreform stehen, wurden in größerer Detaillierung modelliert. Die Grundlage des gesamten Modells bildet ein dynamisches Bevölkerungsmodell, mit dem die Struktur der Bevölkerung und damit der Anspruchsberechtigten sowie der Versicherten berechnet wird. Auf dieser Basis ergeben sich die Finanzströme des Modells. Zum einen hängen die Einnahmen vor allem von den Beiträgen und damit von Einkommen oder Versichertenstatus der Versicherten ab, zum anderen besitzt jeder Bereich der Aufwendungen und Versicherungsleistungen bestimmte Einflussgrößen. Beispielsweise hängen die Mutterschaftsleistungen von der Anzahl der Geburten ab, so wie sie

im Modell berechnet werden.

Da der Großteil der Ausgaben der Krankenkassen bei der Arzthilfe, der stationären Hilfe und den Heilmitteln entstehen, wurden genau jene Bereiche am detailliertesten betrachtet. Das Verhaltensmodell nach Andersen bietet dabei eine anerkannte theoretische Grundlage, um die Inanspruchnahme eben dieser Leistungen zu erklären und Einflussfaktoren dafür zu identifizieren. Vor allem das Vorhandensein von Krankheiten erzeugt einen (subjektiven oder objektiven) Bedarf für Gesundheitsleistungen, daher wurde der Modellierung von Erkrankungen besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Hier zeigte sich, dass eine Betrachtung von einzelnen Erkrankungsarten nicht umfassend möglich ist. Daher wurde in einem ersten Schritt der allgemeine Begriff einer Erkrankung verwendet, und dieser dann weiter in akute und chronische Erkrankungen sowie Krankheiten, welche eine stationäre Behandlung nötig machen, aufgeteilt. Das war notwendig, um der unterschiedlichen zeitlichen Entwicklung und Kostengenerierung dieser Typen Rechnung zu tragen.

Andererseits ist es möglich, einzelne Krankheiten genauer zu modellieren und das Ergebnis als Teilmodell in das Gesamtkostenmodell einzubinden. Dies macht vor allem dann Sinn, wenn diese Krankheiten einen großen Einfluss auf die Kosten haben und bezüglich ihrem Auftreten, ihrem Verlauf und den dadurch benötigten Versicherungsleistungen genügend Informationen und Daten vorhanden sind. Dieser Aspekt wurde an einem eigenen Modell der chronischen Erkrankung COPD demonstriert. Hier wurde auch innerhalb der Erkrankungen die Aufteilung nach dem Alter der Patienten beibehalten und des Weiteren das Merkmal „Raucher - Nichtraucher - Exraucher“ in die Modellierung einbezogen, da es einen signifikanten Einfluss auf Entstehung und Progression einer COPD hat.

Mit beiden Modellen wurden verschiedene Experimente durchgeführt. Beim Kostenmodell zeigte sich, dass der wachsende Anteil von älteren Personen an der Gesamtbevölkerung einen wesentlichen (erhöhenden) Einfluss auf die Versicherungsleistungen haben wird. Im Basislauf - bei dem aufgrund der im Modell auftretenden kurzen Zeitkonstanten der Delays bei den akuten Erkrankungen ein sehr kleiner Simulationszeitschritt gewählt werden musste - war das Verhalten plausibel und stimmt auch qualitativ mit den Ergeb-

nissen der letzten Jahre überein. Bei einem Simulationslauf mit gleichen Erkrankungswahrscheinlichkeiten für alle Altersgruppen fiel die Steigerung der Versicherungsleistungen wesentlich geringer aus. Zudem wurde eine Sensitivitätsanalyse mit dem Parameter „Faktor Fertilität“ durchgeführt, um Unterschiede in der Ausgabenentwicklung aufgrund verschiedener Geburtenraten zu untersuchen. Dabei ergab sich das Resultat, dass zu Beginn niedrige Fertilitätsraten ein besseres Ergebnis liefern, da die größere Anzahl an Kindern zusätzliche Kosten verursacht, aber die Beiträge nicht erhöht. Nach etwa 15 Jahren beginnt die Jahresbilanz bei diesem Szenario allerdings rasch abzufallen, denn wenn die geburtenschwachen Jahrgänge ins Erwachsenenalter kommen sinkt die Anzahl der Beitragszahler. Eine Anpassungsstrategie für die Beitragssätze zeigte, dass die Jahresbilanz damit stabilisiert werden kann.

Das COPD-Modell zeigte ein Ansteigen der Prävalenz bis etwa zum Jahr 2040. Das Abfallen der Prävalenz zu Beginn der Simulation lässt sich durch die verwendeten Inzidenzen aus internationalen Studien erklären, welche offensichtlich nicht auf Österreich übertragbar sind. In zwei Sensitivitätsanalysen, bei denen jeweils die (im Vergleich zu gesunden Nichtrauchern) größeren Sterbewahrscheinlichkeiten für Raucher und Exraucher oder für COPD Stadium I und COPD Stadium II+-Kranke variiert wurden, stellte sich heraus, dass die Prävalenz wesentlich empfindlicher auf Änderungen der Sterblichkeit von COPD-Erkrankten als auf unterschiedliche Sterbewahrscheinlichkeiten bei Rauchern und Exrauchern reagiert. Abschließend wurde ein Szenario simuliert, in dem ab einem bestimmten Zeitpunkt keine neuen Raucher mehr ins Modell eintreten. Die Anzahl der Raucher sank über den Simulationszeitraum (bis ins Jahr 2075) nahezu auf Null, die Prävalenz von COPD Stadium II+ reagierte später als die Prävalenz von COPD Stadium I und sie sanken insgesamt um vier beziehungsweise fünf Prozent.

Es wurde in der Arbeit gezeigt, wie ein plausibles „Top-down“-Modell der finanziellen Entwicklung von Krankenkassen prinzipiell möglich ist und dass es realistische Resultate liefert. Es basiert auf aggregierten Globaldaten, wofür sich der System Dynamics-Ansatz gut eignet. Die vielfältige Feedbackstruktur ist die Ursache für das dynamische Verhalten und kann im Zuge einer Modellverfeinerung erweitert werden.

Viele der Parameter sind allerdings nicht oder nur mit großer Unsicherheit bekannt. Daher konnten auch nur diejenigen Erkrankungen berücksichtigt werden, die tatsächlich zur Inanspruchnahme von Arztleistungen führen, da etwa über die durchschnittliche Anzahl von akuten Erkrankungen inklusive jener, die ohne Behandlung auskuriert werden, keine oder nur unzureichende Daten vorliegen. Für zukünftige empirische Studien könnten allerdings die für dieses Modell benötigten Parameter eine wichtige Anregung für zu untersuchende Größen sein. Es zeigt sich auch, dass insbesondere Ergebnisse von Longitudinalstudien wichtig wären, da bei Querschnittsstudien die Rückkopplungen und dynamischen Entwicklungen nicht erfasst werden können.

Zuletzt soll noch angemerkt werden, dass mit in nicht aggregierter Form vorliegenden Daten (beispielsweise anonymisierten Einzelfalldaten) ein „Bottom-up“-Ansatz zweckdienlicher und besser handhabbar sein könnte. Bei einem System Dynamics Modell stößt man schnell an die Grenzen der graphischen Darstellung, wenn man Versichertengruppen nach mehreren Merkmalen aufzuteilen versucht. Im Bevölkerungsmodell etwa geschah dies nach Alter und Geschlecht, wodurch sich 38 verschiedene Kompartments ergaben. Würde man diese beiden Merkmale in dieser Feinheit bei den Erkrankungen beibehalten (das Modell würde sich also merken, in welchem Alter ein Patient, der eine Erkrankung hat, ist und welches Geschlecht er oder sie hat), so bekäme man auch in diesem Teil eine sehr hohe Anzahl von Kompartments mit noch mehr Flüssen zwischen den einzelnen Kompartments. Die versichertenzen- trierte Sicht eines „Bottom-up“-Ansatzes würde hier große Vorteile bringen.

Literaturverzeichnis

- [1] *Gesundheitsausgaben in Österreich laut System of Health Accounts (OECD) 1990 - 2006*. Statistik Austria. Zugriff am 12. Jänner 2009 unter http://www.statistik.at/web_de/static/gesundheitsausgaben_in_oesterreich_laut_system_of_health_accounts_oecd_199_019701.pdf.
- [2] KLIMONT, JEANNETTE, JOSEF KYTIR und BARBARA LEITNER: *Österreichische Gesundheitsbefragung 2006/2007*. Bundesministerium für Gesundheit, Familie und Jugend, 2007.
- [3] *Statistisches Jahrbuch Österreichs 2009*. Statistik Austria, 2008.
- [4] *Die österreichische Sozialversicherung in Zahlen*. Hauptverband der österreichischen Sozialversicherungsträger, August 2008. Zugriff am 12. Jänner 2009 unter [http://www.sozialversicherung.at/mediaDB/MMDB134640_Sozialversicherung\%20in\%20Zahlen\%20\(21.Ausgabe,\%20August\%202008\).pdf](http://www.sozialversicherung.at/mediaDB/MMDB134640_Sozialversicherung\%20in\%20Zahlen\%20(21.Ausgabe,\%20August\%202008).pdf).
- [5] ZECHMEISTER, INGRID und JOSEF MEICHENITSCH: *Analyse und Empfehlungen zur zukünftigen Finanzierbarkeit des Gesundheitswesens*. Auftragsarbeit für den Grünen Klub im Nationalrat. Wien, 2004. Zugriff am 20. Februar 2009 unter http://portal.wko.at/wk/dok_detail_file.wk?AngID=1&DocID=831600&ConID=311480.
- [6] *Finanzierung der Krankenversicherung und Strukturreform des Hauptverbandes*. Bundesministerium für Gesundheit, Familie und Jugend und Bundesministerium für Soziales und Kon-

- sumentenschutz, 2008. Zugriff am 20. Februar 2009 unter <http://www.bmgfj.gv.at/cms/site/attachments/9/0/9/CH0911/CMS1211794402669/kvfinanzierung-struktureformhv.pdf>.
- [7] *Beitragsrechtliche Werte in der Sozialversicherung 2007*. Hauptverband der österreichischen Sozialversicherungsträger, 2007. Zugriff am 12. Jänner 2009 unter http://www.sozialversicherung.at/mediaDB/MMDB120292_Beitragsrechtliche\%20Werte\%202007\%20-\%2012.1.07.pdf.
- [8] *Beitragsrechtliche Werte in der Sozialversicherung 2008*. Hauptverband der österreichischen Sozialversicherungsträger, 2008. Zugriff am 12. Jänner 2009 unter http://www.sozialversicherung.at/mediaDB/MMDB126668_Beitragsrechtliche\%20Werte\%202008\%20-\%2019.12.07.pdf.
- [9] KAPMEIER, FLORIAN: *Vom systemischen Denken zur Methode System Dynamics*. Diplomarbeit, Universität Stuttgart, 1999.
- [10] RIEDEL, MONIKA, MARIA M. HOFMARCHER, REINER BUCHEGGER und JOHANN BRUNNER: *Nachfragemodell Gesundheitswesen, Teil II*, Juli 2002.
- [11] GRÖSSER, STEFAN: *Modeling the Health Insurance System of Germany: A System Dynamics Approach*. In: *23rd International Conference of the System Dynamics Society*, Boston, USA, Juli 17-21 2005. Zugriff am 19. Mai 2008 unter <http://www.systemdynamics.org/conferences/2005/proceed/papers/GROSS374.pdf>.
- [12] HOFMARCHER, MARIA M. und HERTA M. RACK: *Gesundheitssysteme im Wandel - Österreich*. Health Care Systems in Transition. MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft OHG, 2006.
- [13] *Statistisches Handbuch der österreichischen Sozialversicherung 2008*. Hauptverband der österreichischen Sozialversicherungsträger, Oktober 2008. Zugriff am 12. Jänner 2009 un-

- ter http://www.sozialversicherung.at/mediaDB/MMDB136296_Statistisches\%20Handbuch\%20d.öst.SV-2008.pdf.
- [14] SAID, HEIDE: *Zusammenhänge zwischen Gesundheit und Versorgungskosten - Konsequenzen für Finanzierung und Steuerung des österreichischen Gesundheitswesens. Bedeutet mehr Geld auch mehr Gesundheit?* Diplomarbeit, Medizinische Universität Graz, 2004. Zugriff am 18. Mai 2008 unter http://public-health.meduni-graz.at/archiv/Arbeiten_02_04/Said_Mastersarbeit.pdf.
- [15] BREYER, FRIEDRICH, PETER ZWEIFEL und MATHIAS KIFMANN: *Gesundheitsökonomik*. Springer-Verlag, Berlin, Fünfte Auflage, 2005.
- [16] ANDERSEN, RONALD M.: *A Behavioral Model of Families' Use of Health Services*. Research series. Center for Health Administration Studies, The University of Chicago, Chicago, 1968.
- [17] ANDERSEN, RONALD M.: *Revisiting the Behavioral Model and Access to Medical Care: Does It Matter?* *Journal of Health and Social Behavior*, 36(1):1–10, März 1995.
- [18] THODE, NICOLE, ECKARDT BERGMANN, PANAGIOTIS KAMTSIURIS und BÄRBEL-MARIA KURTH: *Einflussfaktoren auf die Inanspruchnahme des deutschen Gesundheitswesens und mögliche Steuerungsmechanismen*. *Bundesgesundheitsblatt*, 48(3):296–306, März 2005.
- [19] STUDNICKA, MICHAEL: *Epidemiologie und Prävention der COPD*. *Wiener Medizinische Wochenschrift*, 155(5-6):78–80, März 2005.
- [20] GARTLEHNER, GERALD, RICHARD A. HANSEN, SHANNON S. CARSON und KATHLEEN N. LOHR: *Efficacy and Safety of Inhaled Corticosteroids in Patients With COPD: A Systematic Review and Meta-Analysis of Health Outcomes*. *Annals of Family Medicine*, 4(3):253–262, 2006.
- [21] SCHIRNHOFER, LEA, BERND LAMPRECHT, WILLIAM M. VOLLMER, MICHAEL J. ALLISON, MICHAEL STUDNICKA, ROBERT L. JENSEN und A. SONIA BUIST: *COPD Prevalence in Salzburg, Austria - Results*

- From the Burden of Obstructive Lung Disease (BOLD) Study*. CHEST, 131(1):29–36, Jänner 2007.
- [22] FIRLEI, NATALIE, BERND LAMPRECHT, LEA SCHIRNHOFER, KAISER BERNHARD und MICHAEL STUDNICKA: *Die Prävalenz der COPD in Österreich - die erwartete Entwicklung bis 2020*. Wiener Klinische Wochenschrift, 119(17-18):513–518, September 2007.
- [23] BOSSEL, HARTMUT: *Systeme, Dynamik, Simulation - Modellbildung, Analyse und Simulation komplexer Systeme*. Books on Demand, Nordstedt, 2004.
- [24] FORRESTER, JAY W.: *Industrial Dynamics*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, Sechste (Students' Edition Auflage, 1969.
- [25] AULBACH, BERND: *Gewöhnliche Differentialgleichungen*. Elsevier, München, Zweite Auflage, 2004.
- [26] *Rechnungsabschluss OÖGKK 2007*. Oberösterreichische Gebietskrankenkasse, 2008. Zugriff am 12. Jänner 2009 unter http://www.oegkk.at/mediaDB/MMDB137027_Kurzfassung\%20JB\%2007.pdf.
- [27] *Jährliche Sterbetafeln seit 1947*. Statistik Austria. Zugriff am 13. Oktober 2008 unter http://www.statistik.at/web_de/static/jaehrliche_sterbetafeln_seit_1947_022707.xls.
- [28] *Oberösterreich: Ausführliche Tabellen der Hauptvariante*. Statistik Austria. Zugriff am 3. April 2008 unter http://www.statistik.at/web_de/static/oberoesterreich_ausfuehrliche_tabellen_der_hauptvariante_027322.xls.
- [29] *Lebensunterhalt der Bevölkerung nach dem Alter 2007*. Statistik Austria. Zugriff am 13. Oktober 2008 unter http://www.statistik.at/web_de/static/lebensunterhalt_der_bevoelkerung_nach_dem_alter_2007_023351.xls.

- [30] RECHNUNGSHOF (Herausgeber): *Bericht des Rechnungshofes - Vergleich Wiener Gebietskrankenkasse mit Oberösterreichischer Gebietskrankenkasse*. Nummer 2 in *Reihe Bund 2008*. Wiener Zeitung Digitale Publikationen GmbH, Februar 2008.
- [31] POCHOBRADSKY, ELISABETH, CLAUDIA HABL und BARBARA SCHLEICHER: *Soziale Ungleichheit und Gesundheit*, 2002.
- [32] EISENBERG, JOHN M.: *Doctors' Decisions and the Cost of Medical Care*. Health Administration Press Perspectives, Ann Arbor, Michigan, 1986.
- [33] ANTHONISEN, NICHOLAS R., JOHN E. CONNETT und ROBERT P. MURRAY: *Smoking and Lung Function of Lung Health Study Participants after 11 Years*. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 166(5):675–679, September 2002.

Abbildungsverzeichnis

2.1	Positiver (links) und negativer (rechts) Regelkreis	13
3.1	Ein Zustandsdiagramm, wie es in Vensim dargestellt wird. Grüne Pfeile zeigen die Art der einzelnen Elemente an und sind nachträglich eingefügt.	22
3.2	Die Hauptansicht des Modells. Variablen in der Form „<Variable>“ wurden an anderer Stelle im Modell definiert (sogenannte „Schattenvariablen“).	23
3.3	Flussdiagramm des Teiles des Kostenmodells, der Erkrankungen und damit den Konsum von Versicherungsleistungen modelliert.	31
3.4	Fluss der neuen Erkrankungen (Erstkontakte bei Ärzten) in die akuten Erkrankungen nach der Demographie. Einfluss der Ärztedichte	35
3.5	Der Teilbereich der chronischen Erkrankungen mit Verschlechterungen und den nötigen Parametern und Variablen.	38
3.6	Die grundlegenden Teile des Modells und deren Interaktionen. Gestrichelte Pfeile bezeichnen mögliche Verbindungen.	39
3.7	Das Flussdiagramm der Kompartments für Nichtraucher, Raucher und Exraucher sowie Gesunde und COPD-Erkrankte Stadium I und Stadium II+. Abkürzungen: NR = Nichtraucher, R = Raucher, ER = Exraucher, G = Gesunde, I = COPD Stadium I, II = COPD Stadium II+.	42

3.8	Die Altersverteilung in der Stichprobe der BOLD-Studie und in der oberösterreichischen Bevölkerung über 40 Jahren, normiert auf eine Gesamtzahl von jeweils 100.000 Personen. . . .	43
4.1	Basislauf mit Gesamtfertilität und Lebenserwartung nach den Tabellen der Statistik Austria. Ergebnis für die Gesamtbevölkerung bis zum Jahr 2075.	48
4.2	Ergebnis für ausgewählte Kompartments des Bevölkerungsmodells bis zum Jahr 2075.	49
4.3	Ergebnisse des Basislaufs. Oben links: Jahresbilanz der Krankenkasse, stark fallend ab etwa dem Jahr 2028. Oben rechts: Erträge der Krankenkasse. Unten links: Aufwendungen der Krankenkasse. Unten rechts: Anteil der über 65-Jährigen an der Gesamtbevölkerung.	51
4.4	„Causes Tree“ der Variablen „Jahresbilanz“.	52
4.5	Jahresbilanz und Entwicklung des Reinvermögens bei gleichen Neuerkrankungswahrscheinlichkeiten für alle Altersgruppen. Basislauf mit standardmäßigen Parametern und Lauf „gleicheAnteileNeuerkrankungen“ mit gleichen Neuerkrankungswahrscheinlichkeiten für alle Altersgruppen	53
4.6	Quantile und einzelne Ergebnisse der Jahresbilanz bei der Sensitivitätsanalyse der Fertilität.	54
4.7	Jahresbilanz und Mutterschaftsleistungen mit mittlerer, hoher (Faktor = 1,15) und niedriger (Faktor = 0,83) Fertilität.	54
4.8	Zeitverlauf der Variable „Änderung Beträge“ (linke Graphik) und des Beitragssatzes für Erwerbstätige (rechte Graphik). Die beiden roten Graphen geben zum Vergleich die konstanten Werte des Basislaufes an.	56
4.9	Zeitverlauf der Jahresbilanz und der Aufwendungen für Anstaltspflege mit Beitragsanpassung (blaue Graphen) und aus dem Basislauf (rote Graphen).	56

4.10 Ergebnisse für Gesunde, COPD I und COPD II bei Schritt- weiten 0,0625 und 0,03125.	57
4.11 Anteile der Gesunden und der COPD-Kranken an der Gesamt- zahl der über 40-Jährigen.	58
4.12 Sensitivität des Anteils von COPD I- und II-Erkrankten be- züglich der Sterbefaktoren für COPD.	59
4.13 Sensitivität des Anteils von COPD I- und II+-Erkrankten be- züglich der Sterbefaktoren für Raucher und Exraucher.	59
4.14 Anteile der Raucher und COPD-Kranken für den Basislauf sowie unter der Annahme, dass keine neuen Raucher entstehen und keine Exraucher rückfällig werden.	60

Tabellenverzeichnis

2.1	Rechnungsabschluss der Oberösterreichischen Gebietskrankenkasse 2007, Auszug.	18
3.1	Anteile von Rauchern, Extra Rauchern und Nichtsrauchern im Jahr 1997	44