

Siegfried Vössner, Andreas Martischinig, Gerhard Stark

Modellierung eines komplexen, vernetzten Systems zur Abschätzung von Angebot und Nachfrage an leistungsbestimmenden Know-how Trägern im Gesundheitswesen

Wir stellen als gemeinsames Forschungsprojekt ein Modell zur Abschätzung von Angebot und Nachfrage im Bereich des Gesundheitswesens vor. Leistungsbedarf und Leistungserbringung sind ein komplexes und stark voneinander abhängiges System in das eine Vielzahl von Faktoren eingehen: von demographischen Bewegungen, soziologischen Faktoren über Ausbildungsthemen von Ärzten bis hin zu medizinisch-technischen Entwicklungen. In diesem Artikel werden ein auf „System Dynamics“ (SD) und „Agent Based Modeling“ (ABM) beruhenden Ansätzen entwickeltes modulares Modell, zur Beschreibung und Vorhersage des Systemverhaltens, sowie exemplarisch erste Ergebnisse präsentiert.

Überaus vielschichtige dynamische Einflüsse prägen unser Gesundheitswesen. Die sich ändernde Bevölkerungsalterspyramide und damit verbunden eine Verschiebung der Krankheitsbilder und -häufigkeiten (beispielsweise mehr Gelenkersatztherapien, weniger Geburten), der rasante medizinische Fortschritt, ein höheres Anspruchsverhalten der PatientInnen und auch beschränkte Finanzressourcen sind nur einige der vielen Einflussfaktoren, die sich auf das künftige Gesundheitssystem auswirken.

Auch in einschlägigen Medien liest man immer wieder Horrormeldungen von einem zunehmenden Mangel an medizinischem Personal. Wie etwa in der NZZ (02.08), wo laut Expertenschätzungen in den USA im Jahr 2020 bis zu 200.000 Ärzte und 800.000

Krankenschwestern fehlen. Um auf die Frage nach dem künftigen Ärztebedarf eine möglichst treffsichere Antwort zu finden, wurde ein Forschungsprojekt zwischen der TU Graz und der Steiermärkischen Krankenanstaltengesellschaft (KAGes) initiiert. Kooperationsprojekte zwischen Universitäten und Wirtschaft haben in der Praxis oft unterschiedlichen Charakter. Von Projekten die einer „verlängerten Werkbank“ ähneln bis zur großzügig geförderten Grundlagenforschung sind alle Varianten üblich.

Aufgrund des hohen Anteils an Grundlagenforschung in den Bereichen Simulationsverfahren und Modellierung und der hohen Komplexität und Datenverfügbarkeit, könnte keiner der Projektpartner diese Thematik alleine beherrschen. Der Wirtschaftspartner

KAGes brachte seine umfangreiche Erfahrung und Datenbanken im Bereich Public Health / Health Care sowie das notwendige medizinwissenschaftliche Fachwissen ein – der akademische Partner, das Institut für Maschinenbau- und Betriebsinformatik ergänzte dies durch Kompetenz in den Bereichen der Business Modellierung, der quantitativen Methoden und Simulation.

Die dadurch entstandenen Synergien sind maßgeblich für den Projekterfolg verantwortlich: Als Ergebnis entstanden innovative Modellierungsansätze sowohl aus systemwissenschaftlicher Sicht als auch wertvolle Ergebnisse für praxisrelevante Fragestellungen im Bereich der Gesundheitsvorsorge und Vorsorgeplanung. Das Ergebnis ist ein eindrucksvoller Beweis von Innovation

durch Kooperation zwischen Universitäten und Wirtschaftspartnern.

Zu modellierendes System

Das Gesundheitswesen ist ein hochgradig komplexes System mit unterschiedlichsten Einflussfaktoren, das grundsätzlich in zwei Systeme unterteilt werden kann, einerseits den medizinischen Bedarf und andererseits das medizinische Leistungsangebot. Nicht nur die Komplexität der Einzelsysteme, sondern auch deren Vernetzung machte es schwierig einen geeigneten Abstraktionslevel zu finden, der nicht zu detailliert ist aber trotzdem noch genügend quantitative Aussagen zulässt. Aus diesem Grund wurde das System in vier Module gegliedert, deren Schnittstellen eindeutig definiert sind und dadurch je nach Anforderung ausgetauscht werden können.

Modellierung

Gesamtsystem

Das derzeitige Framework, wie in Abbildung 1 dargestellt, besteht aus folgenden Modulen: Medizinische Bedarfsmodule, Ärzteleistung-Bedarfsmodul, Vergleichsmodul und Ärzteleistung-Angebotsmodul. Als Input für das Medizinische Bedarfsmodul dienen z.B.: Bevölkerungs-, Sterbe- und Fertilitätsdaten bzw. Leistungstypen, woraus eine Summe an Leistungen pro Typ pro Jahr generiert wird, die als Input für das Ärzteleistung-Bedarfsmodul dienen. Aus diesen Daten wird dann in einer Verknüpfung aus vorherrschender Behandlungsmethodendauer, Fortschritt in der jeweiligen Behandlungsmethode und einer zum Beispiel Produktivitätssteigerung im Verfahren

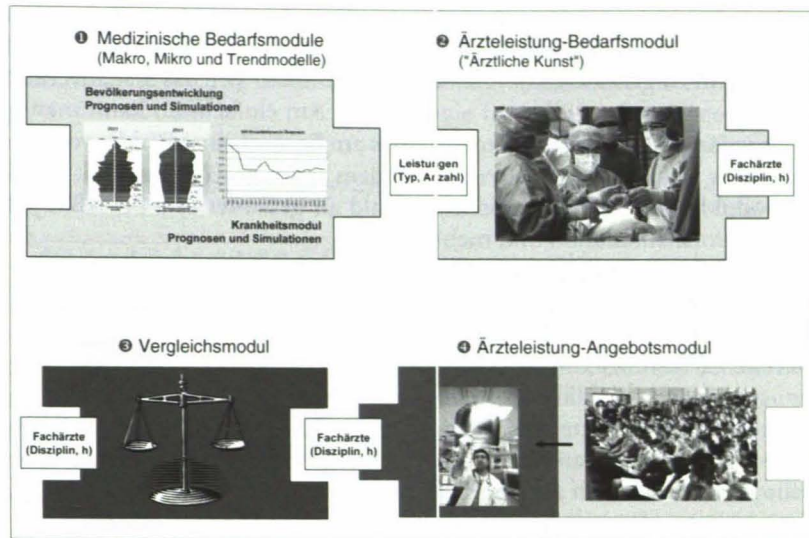


ABB. 1: MODULE GESAMTSYSTEM - ÜBERSICHT

eine Anzahl an benötigtem medizinischem Fachpersonal ermittelt. Auf der anderen Seite wird im Ärzteleistungs-Angebotsmodul das vorhandene Fachpersonal vom Studenten bis zum fertigen Facharzt ermittelt. Als Einflussfaktoren dienen z.B.: Arbeitszeitgesetze, Ausbildungsplätze und Ausbildungsdauer. Die generierten Szenarien können anschließend im Vergleichsmodul gegenübergestellt und Handlungsempfehlungen hinsichtlich eines Ist / Soll Abgleichs abgeleitet werden.

Teilsysteme

Medizinische Bedarfsmodule

Grundsätzlich lassen sich die vorhandenen Module in drei Gruppen unterteilen: Makro-, Mikro- und Trendmodelle. Der Output aller Module ist klar durch die Schnittstelle zum Ärzteleistung-Bedarfsmodul definiert und enthält immer die Anzahl an definierten Leistungen pro Simulationsjahr.

Trendmodelle liefern rasche Aussagen über eine mögliche Entwicklung von Krankheiten oder Bevölkerungsverteilungen, da sie Trends in z.B.: Bevölkerungen oder Krankheitsentwicklungen ermitteln und diese extrapolieren. Man könnte also z.B.: Bevölkerungstrends eines Industrielandes auf die eines Entwicklungslandes anwenden und die dortige Krankheitsentwicklung ermitteln.

Mikromodelle sind für gezielte Fragestellungen auf der Einzelleistungsebene gedacht. Sie liefern detaillierte Informationen zur Entwicklung von Einzelkrankheiten, wie wir im Kapitel Beispielanwendung noch genauer sehen werden. Hier kann man gezielte Einflussfaktoren der jeweiligen Krankheit mitmodellieren.

Im Gegensatz dazu enthalten Makromodelle eher globale Einflussfaktoren und liefern Ergebnisse über das komplette Spektrum der definierten Leistungen.

Ärzteleistung-Bedarfsmodul

Wie in Abbildung 2 gezeigt, wird jede medizinische Leistung nach Dauer auf die einzelnen Facharztdisziplinen aufgeteilt. Je nach Detaillierungsgrad der ermittelten Matrix kann man nun den zukünftigen Leistungsaufwand pro Facharzt ermitteln. Um Änderungen einer Behandlungsmethode zu erfassen, kann die Matrix für jedes Jahr neu angepasst werden.

Ein weiterer Faktor des medizinischen Fortschritts ist mittels jährlicher Produktivitätssteigerung implementiert. So ist es möglich aus den

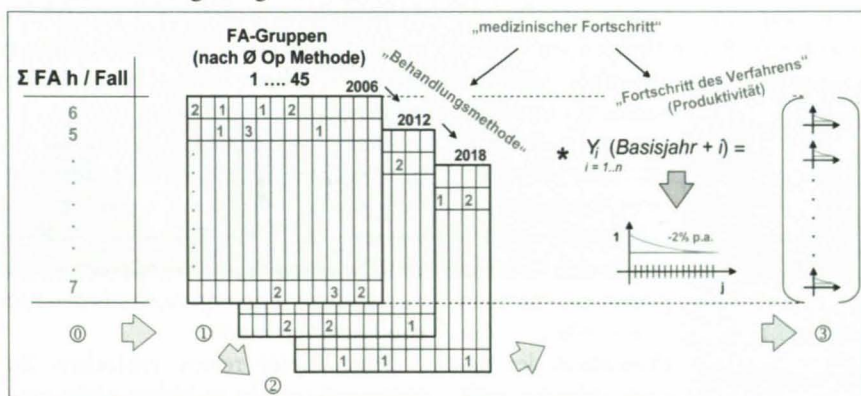


ABB. 2: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES IMPLEMENTIERTEN MEDIZINISCHEN FORTSCHRITTS

ermittelten Leistungsdaten eine Abschätzung für den dafür benötigten Personalstamm zu generieren.

Ärzteleistungs-Angebotsmodul

Dieses Modul besteht im Wesentlichen aus einer Personalsimulation und mehreren Ausbildungssimulationen. Die KAGes als Ausbilder und gleichzeitig Arbeitgeber hat hier eine besondere Doppelrolle zu erfüllen, in der man immer genügend Ausbildungsplätze für Studenten, Turnusärzte und Fachärzte zur Verfügung stellen muss, um mögliche Ausfälle so rasch als möglich zu kompensieren. Durch die extrem langen Ausbildungszeiten von ca. 9 Jahren vom fertigen Mediziner zum Facharzt, muss man auf Veränderungen aber schon weit im Voraus reagieren. Dieses Modul ermöglicht es, zukunftsweisende Entscheidungen sofort zu simulieren und kritische Auswirkungen schon jetzt zu erkennen.

Vergleichsmodul

Simulierte Bedarfs- und Angebotsszenarien können in diesem Modul gegenübergestellt werden, um notwendige Handlungsempfehlungen hinsichtlich eines Ist / Soll Abgleichs für die Zukunft abzuleiten.

Simulation

Die Modellierungstechniken die für dieses Projekt gewählt wurden: SD und ABM sind zwei völlig konträre Ansätze, die ein System jeweils aus dem gegenüberliegenden Blickwinkel betrachten. SD ist ein „Top-down“ Ansatz, der das System als Ganzes betrachtet und das Systemverhalten mittels geschlossener Wirkungsketten modelliert.

ABM ist ein „Bottom-up“ Ansatz der Kleinstelemente eines Systems, so

genannte Agenten, betrachtet und aus der Emergenz des Verhaltens und der Interaktionen sich das Systemverhalten ergibt. Am einfachsten kann man sich das am Beispiel eines Waldes vorstellen, indem man, grob gesagt, mit SD den Wald als gesamtes und bei ABM jeden

ab dem 50-ten Lebensjahr eine Vorsorgekoloskopie durchgeführt werden. Stehen wir vor einem unbewältigbaren Ansturm an Vorsorgegehern und Wiederkehren und können wir den daraus resultierenden medizinischen Bedarf abdecken, wenn die Bevölkerung der

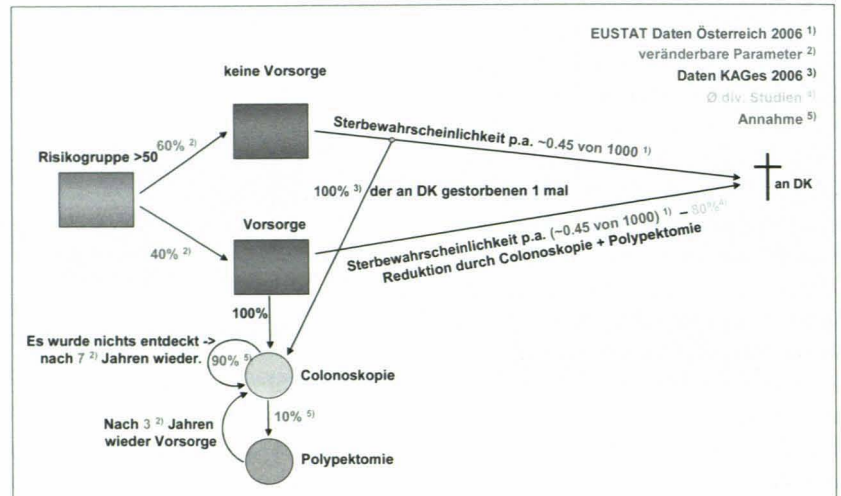


ABB. 3: VORSORGE MODELL FÜR DAS KOLONKARZINOM

einzelnen Baum modelliert. SD ermöglicht es, rasch ein qualitatives Systemverhalten zu generieren. ABM benötigt etwas mehr Zeit bei der Modellierung aber man erhält einen quantitativ genaueren Systemoutput. Je nach Detaillierungsgrad und gefordertem qualitativen und quantitativen Output, kann man also die eine oder die andere Modellierungstechnik wählen.

Beispielanwendung Kolon Karzinom

Das Kolonkarzinom ist der zweithäufigste Tumor von Mann und Frau mit einer Inzidenz von ca. 40 - 60 auf 100.000 Einwohner, trotz einer stetigen Abnahme der Mortalität seit den 80iger Jahren. Moderne Vorsorgeuntersuchungen können heutzutage bösartige Karzinome schon in einem sehr frühen Stadium erkennen und dadurch dringend notwendige Behandlungen einfacher, effektiver und effizienter machen. Dazu ist es aber nötig, dass Personen einer Risikogruppe sich immer wiederkehrenden Vorsorgeuntersuchungen unterziehen. Zur Prävention des Kolonkarzinoms sollte, entsprechend geltender Richtlinien,

über 60-Jährigen in Österreich bis 2030 um 54 % zunimmt? Diese und weitere Fragestellungen wird entsprechend des in Abbildung 3 gezeigten Schemas mittels Modellierung auf Basis der ABM Methode untersucht.

Medizinische Zusammenhänge (Modell)

Grundsätzlich kann man die Bevölkerung in zwei Gruppen teilen und zwar in die Vorsorgegeher und die Vorsorgeverweigerer (diese Leute werden nie in ihrem Leben zu einer Vorsorge gehen). Personen, die zur Vorsorge gehen, werden immer einer Kolonoskopie unterzogen.

Wird bei dieser Untersuchung ein Adenom (gutartiger Polyp) entdeckt, wird er mittels einer Polypektomie sofort entfernt, da diese Adenome zur Entartung neigen. Der Patient wird aufgrund des Risikos einer Neubildung nach drei Jahren wieder zur Vorsorgeuntersuchung bestellt.

Dies passiert jedoch nur in 10% der untersuchten Fälle. Der Rest ohne Auffälligkeiten wird nach sieben Jahren wiederbestellt. Die Wahrscheinlichkeit an Dickdarmkrebs zu sterben wird durch diese Vorsorgemaßnahmen um rund 80% verringert.

Trotz dieser relativ einfachen Zusammenhänge ist es bisher nicht möglich gewesen folgende Fragestellungen zu untersuchen:



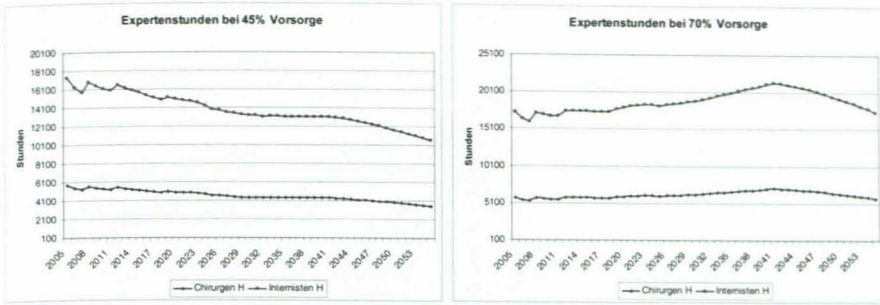


ABB. 4: BENÖTIGTE EXPERTENSTUNDEN BEI 45 % UND 70 % VORSORGEGERN

Untersuchte Fragestellung

Die wichtigsten Fragestellungen bezüglich des Kolonkarzinoms sind:

- Wie viele Know-how Träger und Know-how-Trägerstunden (Chirurg, Internist) werden für die zukünftigen Kolonoskopiefrequenzen benötigt, wenn die Aufteilung im Fach 25 % bzw. 75 % beträgt und eine Kolonoskopie 40 min dauert.
- Laut Literaturergebnisse sterben jährlich 40 - 60 von 100.000 Menschen am Kolorektalkarzinom. Wie viele Fälle über die nächsten 50 Jahre wird es unter Berücksichtigung der Zunahme der über 50 jährigen geben? Wie hoch ist die Fallreduktion an kolorektalen Karzinomen durch eine entsprechende Vorsorgekoloskopierate?

Ergebnisse

Abbildung 4 zeigt die erstaunlichen Ergebnisse für die erste Fragestellung.

Trotz der Zunahme in der Bevölkerungsschicht der über 50 jährigen, nimmt die Anzahl an Kolonoskopie n

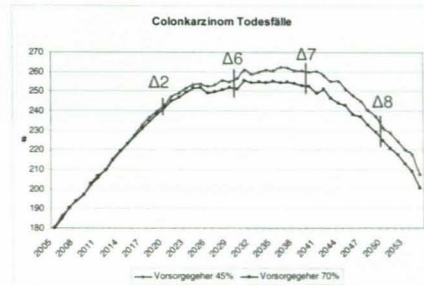


ABB. 5: KOLONKARZINOM TODESFÄLLE MIT 45 % UND 70 % VORSORGEGERN BIS 2055

und dadurch auch die Know-how Trägerstunden, bei 45 % Vorsorgegehern, ab. Erst ab ca. 70 % Vorsorgegehern nimmt die Anzahl an Untersuchungen leicht zu.

Diese Abnahme kann damit erklärt werden, dass sich die meisten Personen schon im Vorsorgezyklus befinden und dadurch die Neuzugänge nicht soviel Bedarf generieren. Trotz des erhöhten

Anteils an Vorsorgegehern von 45 % auf 70 %, ist die absolute Abnahme an Kolonkarzinomtodesfällen relativ gering, wie in Abbildung 5 dargestellt und ist ebenfalls als Folge der sich ändernden Alterstruktur der über 50-jährigen in den nächsten Jahren zu erklären.

Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Artikel wird durch eine erfolgreiche Kooperation zwischen Universität und einer Krankenhausträgerorganisation (Wirtschaft) am Beispiel der Vorsorgekoloskopie gezeigt, wie sich plötzlich ändernde Ansprüche an den Gesundheitsanbieter (eben durch die flächendeckende Vorsorgekoloskopie) modellieren und damit auch abschätzen lassen.

Das entwickelte Framework bietet nun eine Vielzahl an Möglichkeiten zur Erweiterung und Beantwortung weiterer Fragestellungen an und kann auch auf andere Tätigkeitsfelder angewandt werden.

Mögliche Erweiterungen wären das Ankoppeln weiterer diagnose- und therapiebezogener Simulationsmodulen und das vorhandene Modell um Abschätzungen über zum Beispiel OP-Kapazitäten, strahlentherapeutische Ressourcen usw. exakt planen zu können. Dies könnte wiederum eine datenbasierte Entscheidungshilfe für Ausbildungskonzepte und in weiterer Folge Ansatz für sinnvolle Entscheidung hinsichtlich neuer Geschäftsfeldentwicklungen im Gesundheitswesen sein.



**Prim.Univ.-Doz. Ing.
Dr. Gerhard Stark**
Vorstand der Abteilung für
Innere Medizin,
LKH Deutschlandsberg



**Dipl.-Ing.
Andreas Martischinig**
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
am Institut für Maschinenbau- und Betriebsinformatik, TU Graz