

1 | Einleitung

1.1 Problemeinordnung

In den letzten Jahrzehnten lag das Wachstum der Ausgaben für das Gesundheitswesen weltweit deutlich über der Zunahme der Wirtschaftskraft. Flossen im Jahr 1970 in Deutschland noch 6 % (in den USA 7 %) des Bruttoinlandsproduktes in das Gesundheitswesen, lag der Wert 2008 bereits bei 10,5 % (16 %) (OECD, 2010). Die gestiegenen Gesundheitskosten sind im Wesentlichen auf kostenintensive Innovationen sowie zunehmenden Versorgungsbedarf zurückzuführen (Schöffski und v. d. Schulenburg, 2007, S.4). Im Hinblick auf diese Entwicklung muss ein modernes Gesundheitssystem neben Chancengleichheit vor allem eine Balance zwischen Finanzierbarkeit und hohen Versorgungs- bzw. Qualitätsstandards anstreben (Grabka, 2004, S.60). Um die Finanzierbarkeit zu gewährleisten, wird in der Praxis u. a. durch die Beitragssätze der Krankenversicherungen ein Gesundheitsbudget festgelegt. Diese exogen gegebenen Ressourcen sollen dann anhand von Richtlinien, wie z. B. einem Fallpauschalensystem, verteilt werden (Lauterbach und Lünen, 2000, S.5ff.).

Da das Gesundheitswesen in großem Umfang staatlich reguliert ist, Gesundheit aus ethischen Gesichtspunkten nicht als konventionelles Produkt betrachtet werden kann und zudem Interessenkonflikte zwischen Versicherern, Ärzten und Patienten bestehen, greifen die regulativen Kräfte des freien Marktes nicht in normaler Weise (Schöffski und v. d. Schulenburg, 2007, Kap.1). Weiterhin sind Mediziner als ausführende Organe der täglichen Gesundheitsversorgung für die komplexen Entscheidungen der Ressourcenzuteilung und Ressourcennutzung nicht adäquat ausgebildet. Es ist somit fraglich, ob die zur Verfügung stehenden Ressourcen in der Praxis bestmöglich allokiert werden. So stellt u. a. Mullen (2003) fest, dass die gängigen Planungsverfahren der Ressourcenallokation großen Bedarf an Effizienzsteigerung, Standardisierung und Transparenz haben. Gleichzeitig erwachsen aus der zunehmenden Diskrepanz zwischen Budgethöhe und Nachfrage Anreize für die Gesundheitsdienstleister, die verfügbaren Ressourcen effektiver und effizienter einzusetzen (Krein und Casey, 1998; Blake und Donald, 2002). In diesem Sinne konstatieren Lauterbach et al. (2009, S.4): „Eine unwirtschaftliche Erbringung medizinischer Leistungen ist aus ethischen Gründen nicht gerechtfertigt und hilft weder den Patienten noch den Leistungserbringern.“ Diese gesundheitsökonomische

Denkweise führt zu einem wachsenden Interesse daran, das Gesundheitswesen mit betriebswirtschaftlichen und mathematischen Methoden zu durchdringen. Operations Research-Verfahren bieten hierbei ein adäquates Instrumentarium zur Planung, Analyse und Steuerung gesundheitsorientierter Prozesse (Gupta und Denton, 2008, S.802).

1.2 Motivation

Bei der Aufteilung medizinischer Ressourcen werden umfassende Regeln benötigt, die eine Rangordnung zwischen den Patienten schaffen (Hadjistavropoulos et al., 1998, S.420). Solche Allokationsregeln beruhen vorrangig auf dem mit der Behandlung der Patienten einhergehenden Ressourcenverbrauch sowie dem damit verbundenen Nutzen. Zur Ermittlung von letzterem wird dem Zustand eines Patienten anhand von Schmerz, Dysfunktion, Bedarf an medizinischer Versorgung, Transport- und Vorbereitungskosten sowie sozialer Faktoren eine Bewertung zugewiesen (Seddon et al., 1999; Stenevi et al., 2000). Zudem wird dem zukünftigen Verlauf der Krankheit und den Auswirkungen zukünftiger medizinischer Eingriffe Rechnung getragen (vgl. Kee et al., 1998; Somasekar et al., 2002). Um auch Patienten mit geringen gesundheitlichen Beeinträchtigungen Zugang zur Gesundheitsversorgung zu ermöglichen, ist ferner die Berücksichtigung von Wartekosten, z. B. in Form des mit der Erkrankung verbundenen Produktivitäts- und Verdienstaufschlags, üblich (vgl. Kee et al., 1998; Mullen, 2003).

Situation in der klinischen Praxis

Zur Bestimmung der Ausprägungen der genannten Kriterien muss auf der Patientenebene die individuelle Krankheitsentwicklung untersucht werden. Dabei stellt sich u. a. die Frage, welche medizinische Maßnahme in welchem Krankheitsstadium durchgeführt werden sollte. Es existieren zwar zumeist auf Kosten-Nutzen-Analysen basierende Richtlinien, letztlich besitzt jedoch der Arzt bzw. der Patient die ultima ratio über eine konkrete Behandlung. Eine Behandlungsentscheidung muss insbesondere der Interdependenz von zeitlicher Entwicklung des Patientenzustands und zukünftigen medizinischen Maßnahmen gerecht werden. Einzelne Bestandteile dieser mehrstufigen Interdependenz können von Ärzten zwar adäquat eingeschätzt werden, die Gesamtheit aller Einflüsse ist jedoch zu komplex, um sie ohne fundierte Entscheidungshilfen in der notwendigen Präzision bewältigen zu können (vgl. Rosen et al., 2000). So zeigen Studien, dass ein korrekter Umgang mit wahrscheinlichkeitstheoretischen Gegebenheiten selten stattfindet. Ein Großteil der klinischen Entscheidungen wird anhand subjektiver Einschätzungen, Standardempfehlungen oder heuristischer Beurteilungen getroffen (z. B. Poses et al.,

1985; Dawson und Arkes, 1987; Cahan et al., 2003). Diesem Umstand zum Trotz herrscht in der modernen evidenzbasierten Medizin die Überzeugung, dass Behandlungsentscheidungen auf Basis aller verfügbaren Kenntnisse sowie der besten Methoden im Sinne einer objektiven, nachvollziehbaren Richtlinie getroffen werden sollten (Sackett et al., 1996). Auf dem Weg der Umsetzung eines solchen Anspruchs besitzen quantitative Entscheidungsmodelle zur Unterstützung der Behandlungsplanung ein großes Potential (Pezzo und Pezzo, 2006).

Bei der Erstellung eines Allokationsplans wird eine Auswahl der aufgeführten Kriterien in einer Kennzahl zusammengefasst, anhand derer verschiedene Prioritätsklassen abgeleitet werden können (vgl. Testi et al., 2008). In der Praxis werden solche Prioritätsklassen auf Basis von Erfahrungswerten und Einschätzungen von Experten, z. B. Triagefachkräften, gebildet oder basieren auf mehr oder weniger vagen Richtlinien, die z. B. im Sinne diagnoseorientierter Fallgruppen formalisiert wurden (MacCormick et al., 2003; Mullen, 2003). Eine solche Einteilung ist jedoch oft subjektiv und folgt keinem einheitlichen Standard (vgl. Brattberg, 1988; George et al., 1993; Halliwell, 1998). Mathematische Entscheidungsanalysen können hier dazu beitragen, den Allokationsprozess besser zu verstehen, wesentliche Zusammenhänge zu erkennen und letztlich eine fundiertere Entscheidung zu treffen.

Situation in der Literatur

Mathematische Modelle zur Unterstützung der Behandlungs- und Allokationsplanung werden in der Literatur getrennt voneinander entwickelt. Die in einer Gesundheitseinrichtung bestehenden Wechselwirkungen werden folglich nicht berücksichtigt. So wird in der Literatur zur Allokationsplanung vorausgesetzt, dass die Zustandsbewertungen und Behandlungsempfehlungen für jeden Patienten exogen gegeben sind. Diese sind außerhalb des Allokationsproblems durch eine klinische Behandlungsanalyse zu bestimmen, die unter ausschließlicher Betrachtung des zu behandelnden Patienten erfolgt. Aufgrund der Konkurrenzsituation ergibt sich für die Behandlungsplanung im Kontext des Allokationsproblems jedoch zusätzlich die Notwendigkeit, der Ressourcenverfügbarkeit Rechnung zu tragen. Nicht zu jedem Zeitpunkt stehen alle Behandlungsalternativen für jeden Patienten zur Verfügung, da zu den vorgesehenen Behandlungszeitpunkten möglicherweise andere Patienten vorrangig behandelt werden. Die Bewertung und Analyse eines Krankheitsprozesses sollte innerhalb eines Allokationsproblems folglich nicht unabhängig erfolgen, sondern unter Berücksichtigung aller Patienten stattfinden.

Innerhalb der Literatur zur Allokationsplanung wird in der Regel unterstellt, dass die Bewertung und der Ressourcenverbrauch der empfohlenen Behandlung sowie die empfohlene Behandlung selbst für einen Patienten über den Planungszeitraum konstant ist (vgl. Testi et al., 2008, S.60). Die Analyse und Optimierung eines

Allokationsplans erfolgt dann auf Basis statischer Werte in Form der bei der Erstnachfrage vorliegenden Krankheitszustände, des Ressourcen- und Zeitverbrauchs der vorgeschlagenen Behandlungen sowie der aus dem Allokationsplan resultierenden Wartezeiten. Die Behandlung eines Patienten ist i. A. jedoch kein statischer Vorgang, der mit der einmaligen Realisation eines zuvor veranschlagten Nutzens bzw. Gewinns einhergeht. Vielmehr handelt es sich um einen mehrstufigen Prozess zahlreicher eng miteinander verwobener Faktoren und Entwicklungen. Dieser in der Allokationsplanung vorliegenden intertemporalen Komplexität wird in den existierenden Planungsverfahren allerdings keinerlei Rechnung getragen. Insbesondere für mehrstufige Planungsmodelle, welche die Ankunft weiterer Behandlungsanfragen zulassen, ist es jedoch naheliegend, die realisierte Entwicklung der Patientenzustände in den Allokationsplan einzuarbeiten. Verschlechtert sich beispielsweise der Zustand eines Patienten oder sind nach einer Behandlung im Zuge einer Neubewertung weitere Behandlungen notwendig, sollten diese Änderungen zu einer Aktualisierung des Allokationsplans führen. Die statische Betrachtung der Patienten stellt folglich eine unzulängliche Vereinfachung dar.

Die Allokations- und Behandlungssteuerung stellen eng miteinander verwobene Problemstellungen dar. In der vorliegenden Arbeit stellen wir ein integriertes Modell vor, welches das Problem der Zuteilung medizinischer Ressourcen und das Problem der Verwendung dieser Ressourcen simultan analysiert. Dieser ganzheitliche Ansatz ermöglicht eine realistischere Modellierung der operativen Abläufe einer Gesundheitseinrichtung. Ferner kann der Einfluss der beiden Teilperspektiven aufeinander analysiert werden. Auch umgehen wir das Problem, welches bei isolierter Betrachtung der Behandlungsentscheidung entsteht. Des Weiteren schaffen wir durch die Berücksichtigung der Zustandsentwicklung der Patienten die geforderte dynamische Perspektive auf der Allokationsebene. Letzteres ermöglicht uns zudem, Ankünfte weiterer Patienten ohne explizite Modellanpassung zu integrieren.

1.3 Problembeschreibung

Wir betrachten ein Szenario, in dem die Behandlungsreihenfolge von Patienten nicht durch Terminvergaben geregelt ist. Dies betrifft insbesondere Einrichtungen, innerhalb derer die Nachfrage im Vergleich zur Ressourcenkapazität hoch bzw. die Dringlichkeit der Nachfrage groß genug ist, um eine hohe Auslastung der Behandlungsressourcen auch ohne Berücksichtigung zeitlicher Präferenzen sicherzustellen. Beispiele hierfür sind Notaufnahmen, die elektive Chirurgie, Krankenhäuser in Entwicklungsländern oder Hilfseinrichtungen in Krisengebieten. In der zu betrachtenden Gesundheitseinrichtung befinden sich unterschiedliche Patienten, auf die eine bestimmte Menge einheitlicher Ressourcen (z. B. Arztstunden, OP-Slots, etc.) so aufgeteilt werden soll, dass das Gesamtergebnis des Systems optimiert wird. Zur

Erfassung der Systemleistung können wir sowohl auf monetäre Größen als auch auf den gesundheitsbezogenen Nutzen der Patienten in Form qualitätsadjustierter Lebensjahre (QALY) zurückgreifen. Ein qualitätsadjustiertes Lebensjahr gibt die Bewertung eines Lebensjahres in Relation zum vorliegenden Gesundheitszustand an. Um beide Größen zu aggregieren, können wir den monetären Gegenwert eines QALYs heranziehen, der in der Literatur mit 130.000 bis 260.000 US Dollar beziffert wird (Braithwaite et al., 2008; Lee et al., 2009). Zur Erstellung eines Allokationsplans ist zu entscheiden, welche Patienten priorisiert und welche Behandlungen für die priorisierten Patienten durchgeführt werden sollen.

Beschreibung des Entscheidungsprozesses

Jeder Patient durchläuft einen mehrstufigen Behandlungsprozess, d. h., im Laufe der Zeit können mehrmals Behandlungen nachgefragt werden. Die Zeitdauer einer Behandlung ist einheitlich und beträgt eine Zeitperiode. Jeder Patient wird durch einen Gesundheitszustand charakterisiert, der ein Stadium einer zuvor bestimmten Krankheit beschreibt. Die zeitliche Entwicklung dieser Krankheit kann durch eine Markov-Kette beschrieben werden, die durch verschiedene Behandlungsaktionen gesteuert werden kann. Der Behandlungsprozess ist beendet, wenn der Patient in einen absorbierenden Terminalzustand übergeht, in dem keine weitere Behandlung sinnvoll bzw. möglich ist. Ein solcher Zustand kann sowohl als Folge der zugrunde liegenden Krankheit als auch in Folge von Einflüssen, die keinen Bezug zu der betrachteten Krankheit aufweisen, eintreten. Ein Beispiel hierfür stellt der Tod des Patienten aufgrund exogener Einflüsse dar. Das tatsächlich vorliegende Krankheitsstadium ist i. A. nicht bekannt, die beobachteten Symptome und die Patientenhistorie lassen jedoch einen Rückschluss auf dieses zu. Im Folgenden sprechen wir diesbezüglich von partieller Beobachtbarkeit.

Um die Komplexität der medizinischen Entscheidungsfindung zu verringern, betrachten wir ausschließlich eine abwartende, eine testende und eine intervenierende Behandlungsaktion im Sinne repräsentativer Behandlungsvorgänge. Wird die abwartende Aktion gewählt, verläuft die Krankheit gemäß ihrer natürlichen Dynamik. Diese Aktion ist insbesondere dann sinnvoll, wenn die Durchführung eines Tests oder einer Intervention unangemessen ist oder nicht genug Ressourcen für eine solche Behandlung zur Verfügung stehen. Alternativ kann ein spezifischer Test durchgeführt werden, der durch eine bestimmte Beobachtungsqualität charakterisiert wird und oftmals mit zusätzlichen Unannehmlichkeiten verbunden ist. Anhand der resultierenden Beobachtungen ist ein genauerer Rückschluss auf den tatsächlichen Zustand des Patienten möglich. Zuletzt kann der Krankheitsverlauf durch eine Intervention, wie z. B. eine Operation oder eine Medikamentierung, beendet werden. Wir gehen also davon aus, dass der Patient in Folge einer Inter-

vention keine weitere Behandlung benötigt und aus dem System ausscheidet. Als Kompensation für diese Vereinfachung wird dem Patienten ein zustandsabhängiger Terminalnutzen zu Teil, der die erwartete krankheitsbezogene Lebensqualität nach Durchführung des Eingriffs reflektiert.

Als Entscheidungsgrundlage der Allokations- bzw. Behandlungssteuerung dienen die Gesundheitszustände der Patienten sowie die durch die Behandlung entstehenden Aufwendungen und Unannehmlichkeiten. Ferner berücksichtigen wir für jeden Patienten die zuletzt durchgeführte Behandlung, da die Durchführung eines Tests oder einer Intervention nach einer temporären Zurückstellung des Patienten mit Vorbereitungskosten verbunden ist. Hierin enthalten sind z. B. Transportkosten und der Zeitaufwand, der für die Aufnahme in die Gesundheitseinrichtung und die Einarbeitung in die Krankengeschichte anfällt. Eine Entsprechung in der Literatur finden Vorbereitungskosten im Konzept der Wechselkosten (z. B. Banks und Sundaram, 1994). Diese sollen Anreize schaffen, zunächst den Behandlungsprozess eines Patienten abzuschließen, bevor die entsprechende Ressource anderen Patienten zugewiesen wird. Zuletzt ist die Zeit, die ein Patient auf die Durchführung der von einem Standardbehandlungsplan empfohlenen Behandlung wartet, von Bedeutung. Wird ein Patient abwartend behandelt, obgleich der Standardbehandlungsplan einen Test oder eine Intervention vorschreibt, so steigt seine Wartezeit an. Wird letztlich die empfohlene Behandlung durchgeführt, so wird die Wartezeit des Patienten zurückgesetzt. Der vorgegebene Standardbehandlungsplan kann für den jeweiligen Patienten mit Hilfe eines untergeordneten Behandlungsplanungsmodells ermittelt werden. Die Entscheidungen der Behandlungsplanung basieren auf der Krankheitsentwicklung des Patienten sowie den entstehenden Vorbereitungskosten.

Zielsetzung

Da die Entscheidung über die Behandlung eines Patienten aus ethischen Gesichtspunkten immer einem Experten obliegen sollte, ist die Akzeptanz konkreter Empfehlungen mathematischer Modelle in der Medizin recht gering. Daher ist es unser vorrangiges Ziel, wesentliche Zusammenhänge der Allokationsplanung aufzuzeigen und qualitative Einblicke in das Systemverhalten zu gewähren. Wir fokussieren uns auf die Ermittlung struktureller Eigenschaften optimaler Lösungen, die ohne die oft rechentechnisch aufwendige Lösung des Problems bestimmt werden können. Erstrebenswert sind insbesondere Voraussetzungen, die eine einfache, intuitive und praxisnahe Entscheidungsstruktur gewährleisten. Diesbezüglich entwickeln wir für alle untersuchten Modelle unter intuitiven Annahmen an die Krankheitsprozesse optimale Entscheidungsvorschriften, die in Abhängigkeit der Zustandskomponenten der Patienten einen strukturierten Behandlungsablauf vorgeben. Anhand die-

ser Strukturaussagen können Praktiker grundlegende Regeln und Prinzipien des komplexen Sachverhalts nachvollziehen und ihr eigenes Entscheidungskalkül den bereitgestellten Allokations- bzw. Behandlungsplänen annähern. Unter diesem Gesichtspunkt ist zu hoffen, dass unsere einfachen und intuitiv verständlichen Entscheidungsregeln in der Praxis auf eine erhöhte Akzeptanz stoßen.

1.4 Gliederung

Ziel unserer Arbeit ist es, ein integriertes Ressourcenallokationsmodell zu entwickeln und dieses hinsichtlich strukturierter Lösungen zu untersuchen. Um eine Basis zu schaffen, auf der wir unsere Arbeit aufbauen und erweitern können, ordnen wir unsere Modelle in Kapitel 2 zunächst in die relevante Literatur ein.

Anschließend wird der Leser mit den methodischen Grundlagen dieser Arbeit vertraut gemacht. In Kapitel 3 werden zunächst einige mathematische Notationsweisen eingeführt. In Abschnitt 3.1 setzen wir uns mit partiell beobachtbaren Markovschen Entscheidungsprozessen auseinander und erläutern wesentliche aus der Literatur bekannte Ergebnisse. Hierbei gehen wir insbesondere auf den Spezialfall absorbierender Zustandsmengen ein. Zuletzt beschreiben wir verschiedene stochastische Ordnungen, die für die strukturelle Analyse unserer Modelle von zentraler Bedeutung sind.

In Kapitel 4 entwickeln wir ein Entscheidungsmodell zur Ermittlung eines optimalen Behandlungsplans für einen mehrstufigen Krankheitsprozess. Ein Behandlungsplan gibt in Abhängigkeit des partiell beobachtbaren Krankheitszustands eines Patienten und der zuletzt durchgeführten Behandlung eine der drei repräsentativen Behandlungsformen Abwarten, Testen oder Intervenieren vor. Mit Hilfe der Likelihood Ratio Ordnungsrelation können wir zeigen, dass ein optimaler Behandlungsplan unter bestimmten Annahmen monoton in den Entscheidungsvariablen verläuft und somit eine besonders einfache Entscheidungsstruktur aufweist. Da ein solches Entscheidungskalkül in der klinischen Praxis eine große Akzeptanz genießt und die praktische Implementierung somit erleichtert, zeigen wir abschließend Möglichkeiten auf, die erhaltenen Strukturen auch unter milden Annahmen zu gewährleisten.

Weiterführend formulieren wir in Kapitel 5 für eine Gesundheitseinrichtung mit begrenzten Behandlungsressourcen ein Entscheidungsmodell zur Bestimmung eines optimalen Allokationsplans. Die in der Gesundheitseinrichtung vorhandenen Patienten lassen sich in das in Kapitel 4 eingeführte Entscheidungsmodell einordnen. Neben dem partiell beobachtbaren Krankheitsstadium und den Vorbereitungskosten dienen nun zusätzlich auch die Wartekosten der Patienten als Entscheidungsgrundlage. Für das beschriebene Entscheidungsmodell betrachten wir unterschiedliche Steuerungsmechanismen. In der ersten Variante muss sowohl bzgl.

der Ressourcenzuteilung als auch bzgl. der Behandlungssaktion eine Entscheidung getroffen werden. Als Ergebnis dieser Modellvariante erhalten wir eine wohlfahrts-optimale Ressourcenallokation, welche die Behandlung eines Patienten vorrangig an den Zuständen der anderen Patienten orientiert. Dies widerspricht jedoch dem Anspruch der Medizin, jeden Patienten gemäß nachvollziehbarer Richtlinien zu behandeln. In einer zweiten Modellvariante erteilen wir daher Strafkosten, sollte eine Behandlung vorgenommen werden, die nicht der Empfehlung eines vorgegebenen Standardbehandlungsplans entspricht. Für beide Modellvarianten können wir in einer strukturellen Analyse nachweisen, dass sich der resultierende optimale Allokationsplan unter bestimmten Annahmen monoton in den einzelnen Entscheidungsvariablen verhält. Zuletzt untersuchen wir die zweite Modellvariante im Kontext mehrarmiger Banditenprozesse. Dies ermöglicht uns, die Lösungskomplexität des Allokationsproblems zu verringern und darüber hinaus eine vereinfachte Entscheidungsstruktur zu etablieren. Zunächst führen wir den Modellrahmen allgemeiner partiell beobachtbarer mehrarmiger Banditenprozesse ein und stellen ein heuristisches Lösungskonzept vor, das auf dem Vergleich patientenspezifischer Indizes beruht. Anschließend untersuchen wir die resultierende Indexregel auf strukturelle Eigenschaften und zeigen, dass die Patientenindizes unter bestimmten Annahmen monoton in den Zustandskomponenten verlaufen. Hieraus resultiert ein indexbasierter Allokationsplan, der für jeden Patienten eine monotone Switching Curve-Entscheidungsstruktur vorgibt.

In Kapitel 6 stehen die numerischen Aspekte der vorgestellten Modelle im Vordergrund. Zunächst wird ein kurzer Überblick über geeignete Lösungsverfahren für partiell beobachtbare Markovsche Entscheidungsprozesse geliefert. Anschließend entwickeln wir einen Lösungsalgorithmus, mit dessen Hilfe die in Kapitel 5 eingeführten Indizes explizit bestimmt werden können. Zuletzt illustrieren wir die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit anhand eines numerischen Beispiels.

Wir schließen unsere Arbeit in Kapitel 7 mit einer kurzen Zusammenfassung und unternehmen einen Ausblick auf zukünftige Forschungsfelder.

Strukturierte Behandlungssteuerung dynamischer
Patientenprozesse

Sieb, P.

2013, IX, 159 S. 11 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-658-00685-3