

Aus dem Institut für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin
der Medizinischen Fakultät Mannheim
(Direktor: Prof. Dr. med. Manfred Thiel)

Intensivmedizin im Zeichen des demographischen Wandels:
Aktuelle Inanspruchnahme ausgewählter Therapiemodalitäten und Abschätzung des
zukünftigen Versorgungsbedarfes

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doctor scientiarum humanarum (Dr. sc. hum.)
der
Medizinischen Fakultät Mannheim
der Ruprecht-Karls-Universität
zu
Heidelberg

vorgelegt von
Dominik Beier

aus
Lüdenscheid

2020

Dekan: Prof. Dr. med. Sergij Goerd
Referent: Prof. Dr. med. Manfred Thiel

Meinen Eltern gewidmet

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Die Auswirkungen des demographischen Wandels auf den Gesundheitssektor.....	2
1.2	Die Auswirkungen des demographischen Wandels auf die Intensivmedizin.....	3
1.3	Problemstellung und Ziele der Arbeit.....	5
2	Methodik.....	9
2.1	Datenquellen, Datenqualität und Kohortendefinition.....	9
2.1.1	Datenquellen.....	9
2.1.2	Datenqualität.....	10
2.1.3	Kohortendefinition.....	12
2.2	Retrospektive Analyse.....	12
2.2.1	Aufnahmen, Liegedauer, klinische Scores.....	12
2.2.2	Antibiotikatherapie.....	13
2.2.3	Beatmungstherapie.....	16
2.2.4	Nierenersatzverfahren.....	18
2.3	Projektion des künftigen Ressourcenaufwands.....	19
2.3.1	Retrospektive Verknüpfung der Aufnahmezahlen mit Bevölkerungsdaten.....	19
2.3.2	Grundgesamtheit der Intensivpatienten und Verknüpfung mit Morbiditätstheorien.....	21
2.3.3	Szenario 1: Konstante Überweisungsfaktoren.....	25
2.3.4	Szenario 2: Dynamisches Gleichgewicht.....	27
2.3.5	Szenario 3: Expansionsthese.....	29
2.3.6	Szenario 4: Kompressionsthese.....	30
2.3.7	Projektion der Bettenzahlen und des Ressourcenaufwands.....	30
2.3.8	Zusammenfassung der Methodik.....	34
3	Ergebnisse.....	38
3.1	Beschreibung der Kohorte.....	38
3.2	Antibiotikatherapie.....	41
3.3	Beatmungstherapie.....	44
3.4	Nierenersatzverfahren.....	48
3.5	Ressourcenprojektion zur demographischen Basisprognose.....	50
3.6	Ressourcenprojektion zur demographischen Projektion bei Zuzugsanstieg.....	58
3.7	Ressourcenprojektion zur demographischen Projektion bei Zuzugsminderung.....	65

4	Diskussion.....	72
4.1	Grundparameter und Repräsentativität der Kohorte.....	72
4.2	Die Antibiotikatherapie im Altersgruppenvergleich.....	74
4.3	Die Beatmungstherapie im Altersgruppenvergleich.....	77
4.4	Nierenersatzverfahren im Therapiegruppenvergleich.....	79
4.5	Diskussion des Rechenmodells zur Prognose des Ressourcenbedarfs.....	80
4.6	Zusammenfassung: Die Auswirkungen des demographischen Wandels auf den künftigen Versorgungsbedarf in der Intensivmedizin.....	83
4.7	Stärken und Limitationen der Arbeit.....	85
4.8	Fazit.....	88
5	Zusammenfassung.....	91
6	Literaturverzeichnis.....	92
7	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	100
8	Lebenslauf.....	103
9	Danksagung.....	104

Abkürzungsverzeichnis

ATC	Anatomisch-therapeutisch-chemisches Klassifikationssystem
DG ECFIN	Directorate-General for Economic and Financial Affairs
ICIP	IntelliVue Clinical Information Portfolio
IQR	Interquartilsabstand
KI	Konfidenzintervall
SAPS II	Simplified Acute Physiology Score II
TISS	Therapeutic Intervention Scoring System
WHO	Weltgesundheitsorganisation

1 Einleitung

Die Bevölkerungsstruktur eines jeden Landes ist seit jeher einem stetigen Wandel unterworfen, welcher maßgeblich vom ökonomischen, technischen, sozialen und gesundheitlichen Fortschritt beeinflusst wird (Doblhammer and Kreft, 2011). Je nach Entwicklungsstand eines Landes, für gewöhnlich unterschieden in Entwicklungs-, Schwellen- und Industrieländern, finden sich damit zusammenhängende, typische Formen der demographischen Zusammensetzung einer Bevölkerung wieder. So zeichnen sich Entwicklungsländer durch eine überwiegend junge Bevölkerung aus, welche aus einer hohen Fertilitätsrate, aber auch einer hohen Sterberate unter jungen Leuten und damit einhergehend geringer Lebenserwartung resultiert; Industrieländer weisen hingegen für gewöhnlich niedrige Geburtenraten auf, während die Lebenserwartung hoch und die Sterberate beim jungen Teil der Bevölkerung ebenfalls niedrig sind (Rowland, 2008; Doblhammer and Kreft, 2011). Die als demographische Transition bezeichnete Veränderung der Bevölkerungszusammensetzung im Laufe der gesellschaftlichen Entwicklung spiegelt dabei das Verhältnis von roher Geburten- und Sterberate wider, womit gleichzeitig Auswirkungen auf die Altersstruktur, das Bevölkerungswachstum, und schließlich auf die Bevölkerungsgröße abgebildet werden können (Rowland, 2008). Sind in weniger entwickelten Gesellschaften die rohe Geburten- und Sterberate auf einem konstant hohen Niveau und damit einhergehend die Altersstruktur jung und das Bevölkerungswachstum hoch, so entwickeln sich beide Raten im Zuge der gesellschaftlichen Weiterentwicklung im Laufe der Zeit zu einem konstant niedrigen Niveau, sodass die Altersstruktur zunehmend von älteren Bevölkerungsteilen dominiert wird und das Bevölkerungswachstum stagniert oder gar sinkt (Rowland, 2008).

Wie in vielen westlichen Industrienationen sind die Auswirkungen der finalen Phase der demographischen Transition (also eine niedrige Geburten- und Sterberate) auch in Deutschland zu beobachten. So beziffert das Statistische Bundesamt den Geburtenrückgang zwischen 1991 und 2008 auf 18% und rechnet auch bis zum Jahr 2030 mit einer weiteren Abnahme (Statistisches Bundesamt, 2011). Ursächlich für den natürlichen Bevölkerungsrückgang ist dabei zum einen die niedrige Fertilitätsrate, die mit 1,4 Geburten pro Frau unter dem Bestandsniveau von 2,1 Geburten liegt, sowie zum anderen die hohe Zahl der Sterbefälle, die über der der Lebendgeburten liegt (Statistisches Bundesamt, 2011). Gepaart mit einer steigenden Lebenserwartung dominieren letztlich ältere Bevölkerungsgruppen den demographischen Aufbau, was allgemein als (Über-)Alterung der Bevölkerung bezeichnet wird. Dabei kann der künftige Anteil der älteren Bevölkerung aufgrund der jeweiligen vorausgehenden Kohorte gut prognostiziert werden (Doblhammer and Dethloff, 2012). So liegt ein besonderes Augenmerk bei

Bevölkerungsprojektionen auf der Generation der Babyboomer, also jene Geburtsjahrgänge der 1950er und -60er Jahre. Diese Generation wird nach 2020 das Rentenalter erreichen und somit den Anteil der älteren Bevölkerung wesentlich erhöhen (Statistisches Bundesamt, 2016). Die Überalterung der deutschen Bevölkerung wird also in den nächsten Jahren ihren vorläufigen Höhepunkt erreichen, wobei die nach wie vor steigende Lebenserwartung zusätzlich die Zahl der Hochbetagten von über 80 Jahren erhöhen wird. Besonders bemerkbar wird sich dieser Anstieg in der männlichen Bevölkerung machen (Statistisches Bundesamt, 2015).

1.1 Die Auswirkungen des demographischen Wandels auf den Gesundheitssektor

Dieser durch die niedrige Geburten- und Sterberate bedingte Bevölkerungsrückgang mit gleichzeitiger Alterung der Gesellschaft durch die steigende Lebenserwartung hat Auswirkungen auf die wesentlichen Säulen des Sozialsystems, insbesondere auf die Gesundheits- und Pflegeversorgung. So schätzt das Statistische Bundesamt, dass trotz sinkender Bevölkerungszahl die Zahl der Krankenhausfälle weiter steigen wird, was durch den deutlichen Zuwachs im Bevölkerungsegment der über 60-jährigen begründet wird: Zwar stellen diese nur rund ein Viertel der Gesamtbevölkerung, machen jedoch knapp die Hälfte aller stationären Fälle aus (Statistisches Bundesamt, 2010). Das oben beschriebene Wachstum der älteren Generationen wird also voraussichtlich zu einer steigenden Inanspruchnahme medizinischer Leistungen beitragen. Hinzu kommt die mit der Alterung verbundene Multimorbidität, die diesen Anstieg mit begünstigt. Mit dem voranschreitenden demographischen Wandel wird also die Bedeutung der Versorgungsforschung umso größer, damit Über-, Unter- und Fehlversorgung möglichst vermieden werden (Schmacke, 2012).

Trotz dieser offensichtlichen Folgen und der damit verbundenen Rückschlüsse auf die Entwicklung der Krankenhausaufenthalte ist die Frage nach den Auswirkungen der steigenden Lebenserwartung auf die medizinische Versorgung nicht final beantwortet. So besteht Uneinigkeit darüber, ob eine höhere Lebenserwartung mit einer längeren in Krankheit verbrachten Lebenszeit einhergeht, die Länge der Krankheitszeit unverändert bleibt und sich lediglich mit zunehmender Lebenserwartung ins spätere Alter verschiebt, oder ob mit steigender Lebenserwartung auch gleichzeitig die gesunden Lebensjahre steigen und sich die in Krankheit verbrachte Zeit auf den Zeitraum unmittelbar vor dem Tod komprimiert. Für jede dieser drei als Expansionsthese (Manton, 1982), dynamisches Gleichgewicht (Gruenberg, 1977) und Kompressionsthese (Fries, 1980) bezeichneten Theorien gibt es zwar entsprechende epidemiologische Hinweise (Peters et al., 2010; Trachte et al., 2015; Unger, 2006), doch scheinen sich im internationalen Vergleich bislang mehr Hinweise für das dynamische Gleichgewicht oder eine Kompression der

Morbidität am Lebensende zu finden (Economic Policy Committee and the European Commission (DG ECFIN), 2016). Nimmt man also an, dass sich der Großteil der medizinischen Maßnahmen im fortgeschrittenen Alter häuft, rücken für eine Bestandsaufnahme und Prognose des künftigen Ressourcenbedarfs ältere Patientengruppen verstärkt in den Fokus. Zwar dominieren auch bei älteren Patienten weiterhin die ambulante- und Arzneimittelversorgungsquote, jedoch stehen dem gegenüber die im Vergleich zu jüngeren Patienten mehr als doppelt so hohen Pro-Kopf-Ausgaben der stationären Versorgung, die wie die Behandlungsquoten mit zunehmendem Alter ansteigen (Gerste, 2012).

1.2 Die Auswirkungen des demographischen Wandels auf die Intensivmedizin

Hauptursächlich für eine stationäre Behandlung älterer Patienten sind kardiovaskuläre und onkologische Erkrankungen (Statistisches Bundesamt, 2010). Die medizinischen Leistungen und die damit verbundenen Ausgaben der Krankenhausbehandlung werden jedoch nicht ausschließlich durch die jeweilige Hauptdiagnose der Patienten beeinflusst, sondern sind auch von der jeweiligen (wenn auch mit der Hauptdiagnose zusammenhängenden) Versorgungsform abhängig. Allgemein nimmt die Intensivmedizin zusammen mit den chirurgischen Disziplinen den Spitzenplatz im Ressourcenaufwand eines Krankenhausbetriebes ein (McManus et al., 2004; Roeder and Volkert, 2014). Potentiell steigende Fallzahlen bzw. komplexere Fälle mit höherer Krankheitsschwere und ungünstigem Krankheitsverlauf könnten demnach zu einem steigenden Ressourcenaufwand führen. Im Zusammenhang mit der oben beschriebenen prognostizierten Fallzahlerhöhung bei stationären Aufnahmen durch ältere Patienten ist davon auszugehen, dass der dadurch erzeugte „Druck“ auf eine weiterführende Behandlung wie also die der Intensivmedizin ebenfalls steigen wird.

Verschiedene Annahmen über den zukünftigen Ressourcenaufwand auf Intensivstationen wurden bereits in einigen Studien getroffen: So prognostizieren Angus et al. für die USA, dass bei steigender Nachfrage intensivmedizinischer Leistungen durch die demographische Alterung und einer nahezu konstanten Ärztezahl die Therapiestunden pro Patient bis 2030 um ca. ein Drittel abnehmen wird (Angus et al., 2000); für die maschinelle Beatmung als eine dieser intensivmedizinischen Leistungen nehmen Needham et al. einen jährlichen Anstieg der Inanspruchnahme um 2,3% bis zum Jahr 2026 auf Basis retrospektiver Beatmungszahlen in Ontario, Kanada an (Needham et al., 2005); zudem zeigen Vorausberechnungen von australischen und neuseeländischen Intensivstationen, dass die Anzahl der Aufenthaltstage intensivmedizinischer Patienten bedingt durch die prognostizierte Bevölkerungsentwicklung um mehr als die Hälfte steigen könnte (Corke et al., 2009).

Ältere Intensivpatienten bilden jedoch bereits jetzt ein spezielles Patientenkollektiv, da sie aufgrund altersbedingter Begleiterkrankungen die Therapie auf natürlichem Wege beeinflussen (Pisani, 2009). Auf der einen Seite können Multimorbidität und kürzere Lebenserwartung dazu führen, dass die Wahrscheinlichkeit für die Aufnahme auf die Intensivstation bzw. für eine aggressive Behandlung sinkt (Boumendil et al., 2007; Brandberg et al., 2013; Nguyen et al., 2011); auf der anderen Seite ist jedoch auch eine allgemein steigende Therapieintensität im Verlauf der letzten Jahre bei älteren Intensivpatienten evident (Lerolle et al., 2010). Dies macht die Frage nach dem tatsächlichen Ressourcenbedarf älterer Patienten umso herausfordernder, da auch ethische Aspekte in Bezug auf den Aufnahmeprozess verstärkt in den Vordergrund rücken (Niederman and Berger, 2010).

Hinzu kommt die Frage, inwieweit sich die zuvor beschriebenen Theorien zur Morbiditätsentwicklung bei steigender Lebenserwartung auch auf Erkrankungen mit benötigter intensivmedizinischer Behandlung übertragen lassen. Doblhammer und Kreft weisen darauf hin, dass eine beobachtete Expansion, Kompression, oder ein dynamisches Gleichgewicht der Morbidität auch vom jeweils verwendeten Morbiditätsindikator abhängig ist, da Gesundheit multidimensional zu verstehen sei (Doblhammer and Kreft, 2011). Damit verbunden steht auch die Frage, welche Datenquellen für die epidemiologischen Belege dieser Theorien herangezogen werden. In den auf Deutschland bezogenen oben zitierten Studien beziehen sich die Autoren, die auf ein dynamisches Gleichgewicht oder eine Kompression der Morbidität schließen, auf Daten des Sozioökonomischen Panels Deutschland, welches die subjektive und funktionelle Gesundheit der befragten Teilnehmer beschreibt (Trachte et al., 2015; Unger, 2006). Eine Selbsteinschätzung der Befragten zum aktuellen Gesundheitszustand bzw. eines benötigten Hilfebedarfs im täglichen Leben lassen jedoch nur bedingt Rückschlüsse auf einen möglichen bevorstehenden oder bereits stattgefundenen Aufenthalt auf einer Intensivstation zu. Zwar könnten eine subjektiv empfundene gute Gesundheit sowie ein nicht benötigter Hilfebedarf in Aktivitäten des täglichen Lebens ein Hinweis auf ein geringeres Risiko bestimmter Krankheiten mit möglicher anschließender intensivmedizinischer Behandlung sein, jedoch schließen sie diese auch gleichzeitig nicht zwangsläufig aus. So kommen Peters et al. bei ihrer Betrachtung von Prävalenz und Inzidenzraten ausgewählter Krankheiten in der Literatur zu dem Ergebnis, dass eher die Expansionsthese zutreffen würde (Peters et al., 2010). Dies liegt jedoch auch in der dort verwendeten Methode der Fortschreibung von Prävalenz und Inzidenzdaten begründet, da sich somit lediglich die demographische Zusammensetzung der Bevölkerung ändert und das Risiko eines Auftretens der ausgewählten Erkrankungen in jeder Altersgruppe gleich groß bleibt. Nichtsdestotrotz ist der von den Autoren zusätzlich erbrachte Hinweis, dass bei chronischen Erkrankungen

eher die Expansionsthese und bei akuten Erkrankungen eher die Kompressionsthese zutreffen könnte, für die weitere Debatte hilfreich (Peters et al., 2010).

Für eine wahrscheinliche intensivmedizinische Behandlung können jedoch sowohl chronische als auch akute Erkrankungen ausschlaggebend sein. Am Beispiel von Krebserkrankungen lässt sich für die letzten Jahre keine nennenswerte Änderung bezüglich der Inzidenz beobachten (Robert Koch-Institut, 2016), während die Inzidenz von Herzinfarkt und koronarer Herzkrankheit, auch begünstigt durch einen Rückgang kardiometaboler Risikofaktoren, eher sinkt (Finger et al., 2016; Gößwald et al., 2013). Bezüglich der Schlaganfallzahlen als weitere Erkrankung mit möglichem Intensivstationsaufenthalt konnten ebenfalls keine nennenswerten Veränderungen beobachtet werden (Busch et al., 2013), was somit auch für speziellere Formen mit höherer Letalität wie die Subarachnoidalblutung und die intrazerebrale Blutung gelten dürfte. Gerade diese speziellen Formen des Schlaganfalls sind mit einer größeren Notwendigkeit maschineller Beatmung verbunden (Kahn et al., 2015; Lahiri et al., 2015), was wiederum eine intensivmedizinische Therapie erfordern könnte. Dass also eine alleinige Theorie zur weiteren Entwicklung der Morbidität auf die Intensivmedizin anwendbar ist, lässt sich somit nicht zwangsläufig schlussfolgern.

1.3 Problemstellung und Ziele der Arbeit

Vor dem Hintergrund einer nicht eindeutig zuzuordnenden Theorie der weiteren Entwicklung der für die Intensivmedizin relevanten Morbidität und einer prognostizierten Zunahme der älteren Bevölkerung bei damit einhergehenden potentiell steigenden Fallzahlen in der stationären Behandlung ist eine Einschätzung über die möglichen Auswirkungen des demographischen Wandels auf die Intensivmedizin umso bedeutender. Besonders notwendig macht eine solche Einschätzung der umfangreiche Ressourcenaufwand, der die ohnehin schon hohen Gesamtkosten in der stationären Behandlung weiter steigen lassen könnte. Zudem hat eine solche Projektion auch Auswirkungen auf die Krankenhausplanung, da z.B. die Anzahl an möglicherweise zusätzlich benötigten Intensivbetten eine wesentliche Komponente des Ressourcenbedarfs ist.

Die oben vorgestellten vorangegangenen Studien zu den Auswirkungen des demographischen Wandels geben zwar eine erste Einschätzung über den möglichen künftigen Ressourcenaufwand in der Intensivmedizin, bergen jedoch gewisse methodische Unzulänglichkeiten: Zum Einen setzen sie eine konstante Inanspruchnahme pro Altersgruppe voraus, berücksichtigen zum anderen allerdings nicht die faktische Ressourcenknappheit. Somit wird eine mögliche Veränderung in der Morbiditätsentwicklung bei steigender Lebenserwartung ebenso wenig einkalkuliert wie die Tatsache, dass besonders bei einer prognostizierten Fallzahlerhöhung nicht

alle potentiell intensivpflichtigen Patienten im Laufe eines bestimmten Zeitraums auf die Intensivstation aufgenommen werden können. Inwieweit sich dies auf den Aufnahmeprozess auswirkt, kann bei bloßer Berechnung theoretisch zu erwartender Fallzahlen nicht beantwortet werden. Darüber hinaus ist auch wenig über die geschlechtsspezifische Inanspruchnahme intensivmedizinischer Leistungen bekannt, was jedoch in Anbetracht der fortschreitenden Alterung gerade der männlichen Bevölkerung für eine präzisere Bedarfsprognose nötig ist. Es bleibt also unklar, inwiefern sich der zu erwartende Druck der demographischen Alterung auf ein ressourcenbegrenztes System auswirkt, welches eine hundertprozentige Nachfragebefriedigung kaum erfüllen dürfte. Zwar könnten die Ergebnisse der vorgestellten Studien eine Bedarfsplanung dahingehend ausfüllen, dass sie eine Mindestzahl von Intensivkapazitäten aufzeigen, welche bei einer vollständigen Befriedigung der prognostizierten Nachfrage vonnöten wären; jedoch erscheint ein solcher Ansatz vor dem Hintergrund steigender Kosten und fortschreitendem Ärztemangel wenig realistisch.

Die Berechnung des zukünftigen Ressourcenbedarfs in der Intensivmedizin müsste demnach der Logik einer angebotsinduzierten Nachfrage folgen, indem eine plausible Schätzung künftig vorhandener Kapazitäten die Auswirkungen auf die Nachfrage beleuchtet. Dies gilt in erster Linie für die Bettenbelegung innerhalb einer Intensivstation, womit automatisch auch die mögliche Einsatzhäufigkeit und Intensität intensivmedizinischer Therapien abgedeckt werden kann. Hierzu ist es notwendig, altersgruppen- und geschlechtsspezifische Therapiehäufigkeit und -intensität zu quantifizieren, um diese für eine Ressourcenschätzung in Verknüpfung mit demographischen Prognosen extrapolieren zu können. Zwar ist für eine solche Schätzung grundsätzlich auch die Betrachtung der theoretisch benötigten Bettenzahl bzw. des Ressourcenaufwands intensivmedizinischer Leistungen bei vollständiger Nachfragebefriedigung sinnvoll, um die Prognose zu vervollständigen; jedoch sollte, wie oben erwähnt, der Fokus einer Bedarfsplanung nicht einzig darauf beschränkt sein, sondern vielmehr allgemeine mathematische Modelle aufzeigen, welche sich an die jeweilige Realität der betrachteten Intensivstation anpassen lassen. Dies ist insofern notwendig, als dass insbesondere der Aufnahmeprozess stark vom jeweiligen Krankenhausbetrieb und dessen fachlichen Spezialisierungen abhängig ist. Somit könnte die breite Masse an potenziell intensivpflichtigen Patienten in dem einen Krankenhaus auf komplexere Fälle mit hoher Krankheitsschwere reduziert werden, während im anderen Krankenhaus überwiegend Patienten zur Überwachung nach einfacheren Eingriffen auf die Intensivstation aufgenommen werden.

Die vorliegende Arbeit soll diese methodische Lücke schließen. Anhand des Beispiels einer operativen Intensivstation in einem Krankenhaus der Maximalversorgung soll der künftige, realistisch zu erwartende Ressourcenaufwand bei fortschreitendem demographischem Wandel auf Grundlage vergangener Trends projiziert werden.

Hierzu werden zunächst die Zahl der Aufnahmen sowie ausgewählte Therapiemodalitäten hinzugezogen und altersgruppen- und geschlechtsspezifisch in einer retrospektiven Analyse ausgewertet. Bei diesen Therapien handelt es sich um die für die Intensivmedizin charakteristischen Therapien Antibiotikatherapie, Beatmung und Nierenersatzverfahren. Die Auswahl der Antibiotikatherapie begründet sich in der Anfälligkeit von Intensivpatienten für Infektionen (Vitrat et al., 2014; Walther et al., 2002), während die Beatmungstherapie eine der ressourcen- und kostenintensivsten Therapiemodalitäten darstellt (Karabatsou et al., 2016) und eine wesentliche Grundlage im hier vorgestellten Modell für die Projektion des zu erwartenden Ressourcenaufwands ist. Als dritte für die Intensivmedizin charakteristische Therapiemodalität wurden Nierenersatzverfahren ausgewählt. Da diese ebenfalls ressourcenintensive Therapie jedoch eine recht geringe Häufigkeit erwarten lässt (Prasad et al., 2016), wird diese Therapie nicht im Geschlechts- und Altersgruppenvergleich beleuchtet, sondern nur im Unterschied zwischen beatmeten und nicht beatmeten Patienten betrachtet. Im zweiten Schritt erfolgt schließlich die prospektive Berechnung des zu erwartenden Ressourcenaufwands unter Nutzung von Bevölkerungsprognosedaten und unter Berücksichtigung unterschiedlicher Szenarien zur Entwicklung der Morbidität. Dabei wird nicht nur die potentielle Gesamtzahl an Intensivpatienten berechnet, sondern auch die Auswirkung auf den Ressourcenverbrauch in einer Station mit fixer Bettenzahl beleuchtet. Im Umkehrschluss kann schließlich auch die noch zusätzliche benötigte Bettenzahl berechnet werden, die bei einer vollständigen Nachfragebefriedigung vonnöten wäre.

Damit sollen in dieser Arbeit folgende Ziele erreicht werden:

- (1) Ermittlung der Häufigkeit und Intensität von den für Intensivstationen charakteristischen Therapiemodalitäten Antibiotikatherapie und Beatmung im Geschlechts- und Altersgruppenvergleich, sowie Vergleich von Nierenersatzverfahren bei beatmeten und nicht beatmeten Patienten in einer retrospektiven Analyse von elektronischen Patientenakten der Operativen Intensivstation der Universitätsmedizin Mannheim
- (2) Entwicklung eines Modells zur Projektion des künftigen Ressourcenbedarfs auf Intensivstationen angesichts des demographischen Wandels unter Nutzung von

Bevölkerungsprognosedaten der Stadt Mannheim und unter Berücksichtigung unterschiedlicher Szenarien zur Entwicklung der Morbidität sowie den in (1) erzielten Ergebnissen

Zusammengefasst soll in dieser Arbeit die „Intensivstation der Zukunft“ skizziert werden, um gleichzeitig einen Ausblick auf zusammenhängende Herausforderungen wie den Aufnahmeprozess oder mögliche Probleme einer Unter- oder Überversorgung zu geben. Die Ergebnisse sollen dabei als exemplarisch für die Grundgesamtheit der Krankenhäuser mit Maximalversorgung, wie vor allem Universitätskliniken, gesehen werden.

2 Methodik

Die Darstellung der Methodik dieser Arbeit erfolgt in vier Abschnitten. Da unterschiedliche Datenquellen zu Beantwortung der Fragestellungen herangezogen wurden, werden diese im ersten Abschnitt 2.1 zusammen mit einer Evaluation der jeweiligen Datenqualität vorgestellt. Gegebenenfalls notwendige Schritte der Datenaufbereitung werden ebenfalls beleuchtet sowie die für diese Analyse zugrunde liegende Kohorte definiert. Im zweiten Abschnitt 2.2 erfolgt die Darstellung der retrospektiven Analyse, die die Methodik zur Ermittlung des Ist-Zustands der ausgewählten Intensivstation inklusive der bisher erkennbaren Trends beinhaltet. Dies umfasst die Anzahl an Aufnahmen, Analyse der Liegezeiten, die Erläuterung der Parameter der für den Ressourcenaufwand ausgewählten Therapien (Antibiotikatherapie, invasive Beatmung und Nierenersatzverfahren) sowie die angewendeten statistischen Methoden zur Berechnung etwaiger Unterschiede zwischen verschiedenen Altersgruppen und dem Geschlecht der Patienten. Der dritte Abschnitt 2.3 beinhaltet die methodischen Grundlagen für die Berechnung der prospektiven Projektion des künftig zu erwartenden Ressourcenaufwands, die neben demographischen Prognosen auch die Fortschreibung der in der retrospektiven Analyse gewonnenen Ergebnisse beinhaltet. Die Darstellung der Methodik schließt mit einer Zusammenfassung, in der alle verwendeten Formeln enthalten sind und in der die Vorgehensweise zur Projektion des Ressourcenaufwands nochmals als Überblick dargestellt wird.

Sämtliche umfangreicheren statistischen Auswertungen erfolgten mit SAS 9.4 (SAS Institute, Cary, NC, USA), während die Projektion mit Microsoft Excel 2010 durchgeführt wurde.

2.1 Datenquellen, Datenqualität und Kohortendefinition

2.1.1 Datenquellen

Für Analysen auf Ebene individueller Intensivpatienten stand ein Auszug aus der elektronischen Patientenakte des Patientendaten-Managementsystems *IntelliVue Clinical Information Portfolio* (ICIP (Philips, Eindhoven, Niederlande)) der Operativen Intensivstation der Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin der Universitätsmedizin Mannheim für diese Arbeit zur Verfügung. Dieser Datensatz beinhaltet alle Aufnahmen im Zeitraum von April 2006 bis Oktober 2013 auf die 26 Betten umfassende Intensivstation. Die 26 Betten teilen sich dabei auf zwei separate Stationen auf, die für diese Analyse jedoch als eine Intensivstation betrachtet wurden. Um einen möglichst vollständigen Überblick inklusive der Trends im Jahresvergleich zu erhalten, wurden für diese Arbeit nur die vollen Jahre von 2007 bis 2012 herangezogen. Als Variablen sind u.a. sämtliche automatisch erfassten Daten wie Vitalparameter und

ggf. eingestellte und gemessene Werte organunterstützender Apparate, diverse klinische Scores, Freitexteinträge seitens der Ärzte und Pfleger z.B. während der Visite, sowie wesentliche demographische Daten enthalten. Zudem sind für jede Aufnahme der Aufnahme- und Entlasszeitpunkt vermerkt. Dabei ist zu beachten, dass die hier verwendeten Daten einzelne Aufnahmen und somit nicht zwangsläufig immer unterschiedliche Patienten widerspiegeln. Bei Wiederaufnahme eines Patienten, z.B. nach Verschlechterung während des Aufenthalts auf der Normalstation oder längerer Abwesenheit aufgrund einer Operation, wird oftmals ein neuer Eintrag in die elektronische Patientenakte vorgenommen, sodass mehrere Aufnahmen desselben Patienten in den Daten enthalten sein können. Zwar ließe sich der vollständige Aufenthaltszyklus für einzelne Patienten rekonstruieren, jedoch wird darauf in dieser Arbeit verzichtet, da das primäre Interesse in der Analyse der jeweiligen einzelnen Aufnahmen liegt und da sich der Ressourcenaufwand von Aufnahme zu Aufnahme auch beim selben Patienten unterscheiden kann. Die Datenbank wurde vor der Aushändigung zur Analyse einem Anonymisierungsprozess unterzogen, bei dem sämtliche Einträge, die den Namen, das genaue Geburtsdatum oder Krankenversicherungsinformationen beinhalten, unkenntlich gemacht wurden. Um das Alter der Patienten trotzdem angemessen einbeziehen zu können, wurde der Geburtstag auf den 01. des jeweiligen Monats gesetzt. Die Erlaubnis der Datenanalyse ist von der örtlichen Ethikkommission erteilt worden (Kennzeichen: 2013-835R-MA).

Die zweite Datenquelle wurde von der Kommunalen Statistikstelle der Stadt Mannheim zur Verfügung gestellt und beinhaltet die Bevölkerungsbestände ab 2007 bis 2015 mit Hauptwohnsitz Mannheim (aufgeteilt nach Geschlecht und mehreren Altersgruppen). Es handelt sich dabei um die Zahlen, auf denen die Bevölkerungsprognose 2036 der Stadt Mannheim beruht (Stadt Mannheim, 2016). Darin sind drei Prognosen zur weiteren Bevölkerungsentwicklung enthalten, bei der eine weiter steigende Lebenserwartung zusammen mit gleichbleibendem, steigendem, oder sinkendem Außenzug verbunden sind. Diese Datenquelle dient als Grundlage für die Verknüpfung der demographischen Entwicklung in der Allgemeinbevölkerung (im Folgenden: *Basisbevölkerung*) mit der Prognose der Fallzahlen und der Zusammensetzung des Patientenkollektivs sowie des Ressourcenaufwands auf der Operativen Intensivstation der Universitätsmedizin Mannheim.

2.1.2 Datenqualität

Bezüglich der Qualität der ICIP-Datenbank können mehrere Vor- und Nachteile genannt werden. Zunächst ist festzuhalten, dass eine umfangreiche elektronische Patientenakte auf deutschen Intensivstationen nach wie vor eine Seltenheit darstellt, sodass einerseits zwar kaum

Vorwissen über die Analyse derartiger Daten vorhanden ist, andererseits aber im Rahmen dieser Arbeit ebendiese Lücke geschlossen und Möglichkeiten aufgezeigt werden können, solche Daten für wissenschaftliche Zwecke zu nutzen. Da die Datenbank aber letztlich ursprünglich für klinische Dokumentationszwecke angelegt wurde, gestaltet sich eine wissenschaftliche Analyse oftmals als schwierig. So sind beispielsweise die dokumentierten Aufnahme- und Entlasszeiten nicht unbedingt deckungsgleich mit den für die Abrechnung herangezogenen Krankenhaus-Dokumentationsdaten: Während letztere die Aufnahme bereits mit Reservierung des Intensivbetts definieren, erfolgt die Aufnahme im ICIP-System in der Regel manuell bei tatsächlicher Ankunft des Patienten auf der Station. Darüber hinaus kann der Entlasszeitpunkt im ICIP-System gelegentlich überschätzt werden, da dieser ebenfalls manuell und somit oftmals verspätet eingetragen wird. Ein weiteres Problem stellen „Testpatienten“ dar, die zu Übungszwecken wie z.B. Schulungen in das System eingetragen werden. Zudem können einzelne Parameter fehlerhaft oder gar nicht dokumentiert sein. Ursächlich hierfür können Übertragungsfehler zwischen medizinischen Apparaten und dem System oder dessen Ausfall sein, während manuell eingetragene Daten in Form von Freitexten durch Tippfehler oder versehentlicher Nichtberücksichtigung verfälscht werden könnten. Somit hängt die Qualität der ICIP-Daten letztlich von der Qualität der Dokumentation ab. Dennoch ist allein aufgrund der Fülle an vorhandenen Messwerten und Freitexteinträgen die Möglichkeit für umfangreiche Analysen gegeben, wie bereits vorangegangene Studien mithilfe dieser Datenbank zeigen (Lindner et al., 2016; Beier et al., 2019).

Die Datenqualität der Bevölkerungsprognose der Stadt Mannheim kann als hoch angesehen werden. Die Bevölkerungszahlen entstammen aus dem örtlichen Melderegister und unterscheiden sich somit von fortgeschriebenen Einwohnerzahlen des Zensus von 2011, der nicht die genaue Bevölkerungszusammensetzung und Wanderungsbewegungen eines bestimmten Jahres wiedergeben kann und den Bevölkerungsstand deutlich unterschätzt (Stadt Mannheim, 2016). Auch für die Verknüpfung in der prospektiven Bedarfsschätzung kann diese Datenquelle als valide angesehen werden: Zwar weist das Robert Koch-Institut in einer Machbarkeitsstudie zu kleinräumigen Bedarfsprognosen in Deutschland darauf hin, dass für einen nationalen Vergleich im Sinne einer flächendeckenden Bedarfsprognose die demographische Raumordnungsprognose des Bundesamts für Bauwesen und Raumordnung am sinnvollsten wäre; jedoch wird gleichzeitig betont, dass einzelne Bedarfsprognosen generell für die Ebene der Länder oder Landkreise bzw. kreisfreie Städte erstellt werden sollten (Robert Koch-Institut, 2011). Die Bevölkerungsdaten der Stadt Mannheim als kreisfreie Stadt stellen somit eine solide Basis für diese Arbeit dar. Des Weiteren zeigen Menning et al. in einer Clusteranalyse, dass die Stadt

Mannheim und die umliegenden Kreise, aus denen der Großteil der Patienten der Universitätsmedizin Mannheim stammt, ähnliche demographische Muster aufzeigen („Cluster 4: Durchschnittskreise“ (leichtes Bevölkerungswachstum, mittlere Alterungsgeschwindigkeit)) (Mening et al., 2010). Somit kann die Bevölkerungszusammensetzung und damit zusammenhängend die Bevölkerungsprognose der Stadt Mannheim als Muster für die umliegenden, ebenfalls im Einzugsgebiet der Universitätsmedizin Mannheim befindlichen Kreise gesehen werden.

2.1.3 Kohortendefinition

Insgesamt umfasst die hier analysierte Kohorte aus den Jahren 2007 bis 2012 14.219 gültige Aufnahmen. Diese wurden für die gesamte retrospektive Analyse herangezogen und bilden somit gleichzeitig auch die Basis für die prospektive Ressourcenschätzung. Etwaige Testpatienten wurden dabei bereits im Vorfeld von weiteren Wissenschaftlern der Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin der Universitätsmedizin Mannheim für vorangegangene Projekte herausgefiltert und somit ein Grunddatensatz generiert, auf den diese Arbeit aufbaut. Einschlusskriterien waren eine Mindestaufenthaltsdauer von zehn Minuten sowie ein Mindestalter von 18 Jahren. Zudem musste das Geschlecht eindeutig als männlich oder weiblich definiert sein. Wie bereits erwähnt, besteht die Kohorte aus einzelnen Aufnahmen, in denen also auch einzelne Patienten mehrfach enthalten sein können. Jede Aufnahme wurde der Liegezeit entsprechend in das jeweilige Jahr untergliedert, sodass Aufenthalte über eine Jahresgrenze hinweg geteilt wurden. Um die in der ICIP-Datenbank enthaltenen Aufnahmen angemessen mit den demographischen Daten der Stadt Mannheim in der prospektiven Analyse verknüpfen zu können, wurde zudem das Alter der Patienten in jeder Auswertungstabelle in jene Altersgruppen aufgeteilt, welche von der Stadt Mannheim für ihre Bevölkerungsprognose ebenfalls verwendet werden: 18 bis unter 25 Jahre, 25 bis unter 30 Jahre, 30 bis unter 45 Jahre, 45 bis unter 60 Jahre, 60 bis unter 65 Jahre, 65 bis unter 80 Jahre und 80 Jahre und älter (Stadt Mannheim, 2016). Die in den Bevölkerungsdaten vorhandenen jüngeren Altersgruppen wurden gemäß den Einschlusskriterien für die analysierten Patienten der elektronischen Patientenakte nicht berücksichtigt.

2.2 Retrospektive Analyse

2.2.1 Aufnahmen, Liegedauer, klinische Scores

Um einen ersten Überblick über die Gesamtkohorte zu bekommen, wurden einfache deskriptive Statistiken bezüglich demographischer Daten, der Zahl der Aufnahmen, der Liegedauer und ausgewählter klinischer Scores berechnet. Da die Aufenthalte derjenigen Patienten, die über eine Jahresgrenze hinweg auf der Station waren, durch die Datenaufbereitung entsprechend in

die einzelnen Jahre aufgeteilt sind, wurden diese ggf. zwei Mal gezählt. Bezogen auf die jeweiligen Altersgruppen und das Geschlecht ergaben sich zudem die jeweiligen relativen Häufigkeiten.

Für die Liegedauer wurden zwei Variablen ermittelt, da auch die Analysen der Therapiemodalitäten zum Teil auf unterschiedlichen Zeitmaßen fußen. Da in der Datenbank die jeweiligen Aufnahme- und Entlasszeitpunkte vermerkt sind, konnte die genaue Aufenthaltsdauer sekundengenau nachvollzogen werden (wenn auch möglicherweise von der tatsächlichen Aufenthaltszeit abweichend, siehe Kapitel 2.1.2). Aufgrund der schiefen Verteilung der genauen Aufenthaltsdauern wurde der Median zusammen mit dem Interquartilsabstand (IQR) berechnet. Das zweite Aufenthaltsmaß, welches für die Analyse der Antibiotikatherapie benötigt wurde (siehe Kapitel 2.2.2), bezieht alle Kalendertage mit einem Mindestaufenthalt von einer Minute ein (*Patiententag*). Somit sind auch automatisch der Aufnahme- und Entlassungstag eines jeden Patienten ein ganzer Patiententag. Auch hier wurden sämtliche Berechnungen altersgruppen- und geschlechterspezifisch sowie getrennt nach Jahren durchgeführt.

Als allgemeine Cofaktoren, die in sämtlichen weiteren Analysen Anwendung fanden, dienten die klinischen Scores *Simplified Acute Physiology Score II* (SAPS II) sowie das *Therapeutic Intervention Scoring System* (TISS). Diese Scores dienen in der Intensivmedizin zur Quantifizierung der Krankheitsschwere bzw. des Pflegeaufwands eines Patienten. Da in dieser Arbeit altersgruppenabhängige Unterschiede im Vordergrund stehen, wurde der SAPS II-Score entsprechend um die in ihm enthaltenen Alterspunkte bereinigt, indem von jeder Gesamtpunktzahl die Alterspunkte bei allen einzelnen Aufnahmen abgezogen wurden. Im Falle des TISS-Scores beinhaltet die ICIP-Datenbank jedoch die vereinfachte, abrechnungsrelevante Form, welche die zehn aufwändigsten Pflegemaßnahmen anstatt des vollständigen, 28 Parameter umfassenden Scores beinhaltet (TISS-10) (Fleig et al., 2011). Beide Scores werden ab einer Mindestaufenthaltsdauer von 24 Stunden erhoben und alle weitere 24 Stunden neu berechnet. Für jede einzelne Aufnahme wurden der jeweilige mittlere Gesamtscore sowie der Median mit Interquartilsabstand berechnet.

2.2.2 Antibiotikatherapie

Das ICIP-System enthält für die Therapie mit Antibiotika die entsprechenden Einträge zu verabreichten Antibiotika sowie die Namen des Wirkstoffs und deren Wirkstoffgruppe. Die Klassifizierung erfolgt dabei laut dem Anatomisch-therapeutisch-chemischen Klassifikationssystem (ATC) der Weltgesundheitsorganisation (WHO). Somit konnte für jeden Patiententag, also für jeden Tag mit mindestens einer Minute Aufenthalt auf der Intensivstation, die entsprechende

Häufigkeit der verabreichten Antibiotika einer Wirkstoffgruppe nachvollzogen werden. Antibiotika aus den folgenden Gruppen wurden im betrachteten Zeitraum laut ICIP-System verwendet: Tetracycline (ATC-Code J01AA12), Penicilline (ATC-Codes J01CA01, J01CA04, J01CA10, J01CA12, J01CF04, J01CF05), Cephalosporine (ATC-Codes J01DB04, J01DC02, J01DD01, J01DD02, J01DD04, J01DE01), Carbapeneme (ATC-Codes J01DH02, J01DH03, J01DH04, J01DH51), Makrolide (ATC-Codes J01FA01, J01FA09), Lincosamide (ATC-Code J01FF01), Aminoglykoside (ATC-Codes J01GB01, J01GB03, J01GB06), Fluorchinolone (ATC-Codes J01MA01, J01MA02, J01MA12, J01MA14), Glykopeptide (ATC-Code J01XA01), Imidazole (ATC-Code J01XD01) und Oxazolidinone (ATC-Code J01XX08). Weitere, selten verabreichte Antibiotika welche nicht einer dieser Wirkstoffgruppen zugeordnet werden (Colistin (ATC-Code J01XB01), Fosfomycin (ATC-Code J01XX01), Daptomycin (ATC-Code J01XX09) und Rifampicin (ATC-Code J04AB02)), wurden manuell in der Klasse „Andere“ zusammengefasst. In der Literatur erfolgt die Messung der Antibiotikaexposition auf nicht einheitliche Weise (Berrington, 2010; Meyer et al., 2013; Polk et al., 2007). Im Rahmen dieser Arbeit sowie in einer eigenen vorangegangenen Studie (Beier et al., 2019) wurden folgende Parameter definiert: *Antibiotikagaben* beziehen alle Einträge in der elektronischen Patientenakte ein, die die Gabe separater Dosen unabhängig vom jeweiligen Antibiotikum oder dessen Wirkstoffgruppe auflisten. Somit addiert sich pro Patiententag jede einzelne Dosis zur Gesamtzahl der an einem Patiententag verabreichten Antibiotikagaben auf. Als zweites Maß wurden *Therapietage* definiert, deren Anzahl zwar unabhängig von der Zahl der jeweilig verabreichten einzelnen Dosen, jedoch abhängig von der Anzahl der unterschiedlichen Wirkstoffgruppen ist. Wurden also beispielweise an einem Patiententag mehrere Antibiotika dreier verschiedener Wirkstoffgruppen verabreicht, fallen auf diesen Patiententag drei Therapietage. Während die ersten beiden Maße die genaue Menge der verabreichten Antibiotika bzw. die Menge der unterschiedlichen Wirkstoffgruppen berücksichtigen, definiert sich das dritte Maß, die *exponierten Patiententage*, lediglich durch den Einsatz der Antibiotikatherapie während eines Patiententages an sich. Wurde also ein Patient während seines Aufenthalts an einem Patiententag mit Antibiotika behandelt (unabhängig von der jeweiligen Menge und der Wirkstoffgruppe), war dieser Patiententag exponiert. Zusätzlich zu diesen drei Parametern wurde die Kohorte in dieser Arbeit dahingehend untersucht, in wie vielen Aufnahmen pro Jahr überhaupt eine Antibiotikatherapie zum Einsatz kam. Die daraus resultierenden absoluten und relativen Häufigkeiten wurden wie die drei anderen Parameter getrennt nach Geschlecht und Altersgruppen berechnet.

Die statistische Analyse der oben definierten Parameter umfasst die deskriptive Darstellung der im Studienzeitraum verabreichten Mengen (Antibiotikagaben und Therapietage pro Wirkstoffgruppe) sowie die Analyse etwaiger Unterschiede in der Häufigkeit und Intensität der Antibiotikatherapie zwischen den verschiedenen Altersgruppen. Als Maße hierfür dienten die durchschnittlichen Behandlungshäufigkeiten im betrachteten Zeitraum sowie eine umfassendere Analyse der Behandlungsintensität mittels der Anzahl exponierter Patiententage. Hierzu wurde das Ratenverhältnis der exponierten Patiententage zwischen jeder einzelnen Altersgruppe und den über 80-jährigen Patienten als Referenzgruppe hinzugezogen. Das Ratenverhältnis bildet dabei den Anteil exponierter Patiententage aller Aufnahmen in einer Altersgruppe pro 100 exponierte Patiententage über 80-jähriger Patienten ab. Die Größe des Ratenverhältnisses und dessen 95%-Konfidenzintervall (95%KI) wurden schließlich mithilfe einer zero-inflated Poisson-Regression berechnet, da die Zahl der exponierten Patiententage abhängig von der Zahl der Patiententage an sich ist und eine Poisson-Regression das Auftreten von Ereignissen in einem Zeitraum analysiert. Die zero-inflated Poisson-Regression als besondere Form der Poisson-Regression wurde ausgewählt, da die meisten Aufnahmen in der Kohorte keine exponierten Patiententage und die Zielgröße somit inflationär häufig den Wert 0 annimmt (siehe Kapitel 3.2). Der hier gewählte methodische Ansatz berücksichtigt diesen Umstand und schließt in die Berechnung nur diejenigen Aufnahmen ein, die aufgrund ihrer Cofaktoren eine geringe Wahrscheinlichkeit für 0 exponierte Patiententage haben (*zero-inflation probability*). Der Prozess der zero-inflated Poisson-Regression verläuft also im übertragenen Sinne in zwei Stufen (Berechnung der *zero-inflation probability* und Berechnung des Ratenverhältnisses), ohne dass jedoch die Auswahl der für die Berechnung des Ratenverhältnisses in Frage kommenden Aufnahmen eingesehen werden kann. Das Ratenverhältnis kann dabei folgendermaßen interpretiert werden: Da das Modell nur diejenigen Aufnahmen mit einer hohen Wahrscheinlichkeit für exponierte Patiententage (also >0) berücksichtigt, spiegelt es im übertragenen Sinne die Wahrscheinlichkeit einer Behandlung mit Antibiotika wider. Damit kann das resultierende Ratenverhältnis als Maß für den Unterschied in der Intensität der Behandlung mit Antibiotika, bei denen, für die es wahrscheinlich war, mit Antibiotika behandelt zu werden, interpretiert werden (Beier et al., 2019). Als Cofaktoren für das adjustierte Modell, mit welchem die Wahrscheinlichkeit einer Behandlung bestimmt wird (erste Stufe des Modells), wurden neben dem Geschlecht das Aufenthaltsjahr, sowie die oben beschriebenen mittleren SAPS II- und TISS-Scores der einzelnen Aufnahmen hinzugezogen. Die gleichen Faktoren wurden schließlich auch für die Berechnung der adjustierten Ratenverhältnisse (zweite Stufe des Modells) berücksichtigt.

Wie erwähnt, wurde die Analyse zur Antibiotikatherapie im gleichen Setting bereits in einer eigenen vorangegangenen Studie durchgeführt (Beier et al., 2019). Allerdings weist diese Studie kleine methodische Unterschiede zu dieser Arbeit auf: So beschränkte sich der Analysezeitraum nicht auf die vollen Jahre von 2007 bis 2012, sondern schloss den gesamten verfügbaren Zeitraum von April 2006 bis Oktober 2013 ein. Dies lag darin begründet, dass eine jährweise Betrachtung z.B. der Behandlungshäufigkeiten sowie eine Verknüpfung mit demographischen Daten nicht Ziel der Studie war, sondern das Hauptinteresse in der Frage etwaiger Unterschiede in der Behandlungsintensität lag. Diese Frage wurde zwar auch mittels einer zero-inflated Poisson-Regression untersucht, jedoch nur für die Analyse der Unterschiede zwischen den beiden Altersgruppen <80 und ≥ 80 Jahre. Somit ergeben sich für den Vergleich der Ergebnisse zwischen dieser Arbeit und der vorangegangenen Studie Unterschiede, die zum einen im kleineren Analysezeitraum in dieser Arbeit, zum anderen in der Auswahl von nur zwei Altersgruppen in der vorangegangenen Studie begründet sind.

2.2.3 Beatmungstherapie

Das ICIP-System stellt verschiedene Einträge und Messwerte zur Verfügung, die Aufschluss über die Beatmungstherapie und dessen Dauer im Laufe eines Aufenthalts auf der Intensivstation geben können. Maßgeblich für diese Analyse waren Parameter, mit deren Hilfe sich die Dauer der Beatmungstherapie einzelner Patienten rekonstruieren lässt. Am genauesten sind dabei die vom Beatmungsgerät an das System übertragenen Messwerte, da sämtliche sonstigen Hinweise meist manuell eingetragen werden und daher nicht den zeitgenauen Verlauf der Beatmungstherapie inklusive diverser Unterbrechungen wiedergeben können. Das Berücksichtigen dieser Unterbrechungen, z.B. im Rahmen eines Entwöhnungsprozesses (*weaning*), ist jedoch notwendig um die Nettobeatmungszeit während des Aufenthalts bestimmen zu können. Für die Berechnung der Beatmungszeit wurden folgende Einstellungs- und Messwerte des Beatmungsgeräts hinzugezogen: inspiratorischer Spitzendruck, Atemfrequenz, Atemzugvolumen, Atemminutenvolumen und inspiratorischer Sauerstoffanteil (FiO_2). Diese Parameter werden in der Regel stündlich zur vollen Stunde vom Beatmungsgerät an das System übertragen. In bestimmten Fällen kann es jedoch dazu kommen, dass der Wert eines oder mehrerer Parameter nicht übertragen wird. Gründe hierfür können z.B. technische Fehler, aber auch Systemupdates sein. Weitere wichtige Gründe für die Nichtübertragung der Beatmungsparameter können zudem eine zwischenzeitliche Verlegung, z.B. aufgrund einer Operation, oder die bereits erwähnte Einleitung des Entwöhnungsprozesses sein. Um für den weiteren Verlauf der Analyse tatsächliche, von ärztlicher Seite initiierte Beatmungspausen von Übertragungsfehlern zu

unterschieden, wurde für die Definition von Beatmungspausen eine Nichtübertragung jeglicher Beatmungsparameter von mehr als zwei Stunden gewählt. Umgekehrt wurde ein Patient dann als beatmet definiert, sobald mindestens zwei aufeinanderfolgende Messwerte gleichwelcher Parameter im Abstand von maximal zwei Stunden in die elektronische Patientenakte übertragen wurden. Somit konnte im ersten Schritt die Bruttobeatmungszeit berechnet werden, indem der Zeitstempel des ersten Eintrags von dem des letzten Eintrags subtrahiert wurde. Für die Nettobeatmungszeit wurden alle zuvor ermittelten Beatmungspausen von mehr als zwei Stunden von der Bruttobeatmungszeit abgezogen.

Da die Beatmungsparameter in der Regel genormt zur vollen Stunde übertragen werden, kann es in einigen Fällen dazu kommen, dass die ersten bzw. die letzten Übertragungswerte vor bzw. nach dem im ICIP-System hinterlegten Aufnahme- bzw. Entlasszeitpunkt liegen. Dies kommt z.B. dann vor, wenn ein Patient bereits beatmet auf die Intensivstation aufgenommen wurde oder während einer Beatmung verstorben ist oder verlegt wurde. In solchen Fällen wurde der jeweilige Zeitpunkt mit dem Aufnahme- bzw. Entlassdatum gleichgesetzt, damit für die spätere Analyse die Beatmungszeit nicht länger als die Aufenthaltszeit ist.

Für die statistische Analyse der Beatmungstherapie wurde der gleiche Ansatz wie für die Antibiotikatherapie (siehe Kapitel 2.2.2) verfolgt. Auch hier spielt neben der deskriptiven Darstellung der Behandlungshäufigkeit im Geschlechts- und Altersgruppenvergleich die Behandlungswahrscheinlichkeit und -intensität eine Rolle, welche im übertragenen Sinne durch die zero-inflated Poisson-Regression dargestellt werden kann. Dieser methodische Ansatz ist auch deswegen sinnvoll, da auch bei der Analyse der Beatmungstherapie in der betrachteten Kohorte hauptsächlich nicht beatmete Patienten vorhanden sind und die Zielgröße daher inflationär viele Nullen aufweist (siehe Kapitel 3.3). Anders als bei der Antibiotikatherapie stehen aber nicht die exponierten Patiententage als Zielgröße im Vordergrund, sondern die Nettobeatmungszeit in Stunden während des Aufenthalts. Etwaige Unterschiede in der Therapieintensität im Altersgruppenvergleich wurden dabei wieder in Form von Ratenverhältnissen und den dazugehörigen 95%-Konfidenzintervallen dargestellt. Als Cofaktoren für das adjustierte Modell wurden das Geschlecht, das Aufenthaltsjahr, sowie die mittleren SAPS II- und TISS-Scores der einzelnen Aufnahmen hinzugezogen. Im Gegensatz zum Regressionsmodell zur Antibiotikatherapie wurde für die Analyse der Beatmung der TISS-Score jedoch zusätzlich verändert: Da in diesem Score auch Punkte für eine Beatmung enthalten sind, wurden diese, ähnlich dem altersbereinigten SAPS II-Score, für diesen Analyseteil herausgerechnet. Neben der zero-inflated Poisson-

Regression wurden die Beatmungszeiten bei beatmeten Patienten zudem auch pro 100 Aufenthaltsstunden sowie die jeweilige mediane Beatmungszeit in den Altersgruppen ermittelt.

2.2.4 Nierenersatzverfahren

Die Identifizierung der Patienten mit einem Nierenersatzverfahren während ihres Aufenthalts erfolgte mittels eines eigens entwickelten Systems, welches verschiedene Ebenen und Einträge in der elektronischen Patientenakte einschließt. Kernpunkt der Methode war die manuelle Validierung der verschiedenen Einträge mit Hinweisen auf ein möglicherweise eingesetztes Nierenersatzverfahren, sowie der bereits beschriebene TISS-10-Score. Da das Nierenersatzverfahren Teil der zehn aufwändigsten Prozeduren dieses vereinfachten TISS-Scores ist, konnte mittels der entsprechenden täglichen Punktevergabe im Falle einer Therapie jede Aufnahme mit einem Mindestaufenthalt von 24 Stunden entsprechend herausgefiltert werden. Für Aufenthalte unter den für die Berechnung des TISS-10-Scores notwendigen 24 Stunden mussten weitere mögliche Quellen auf Hinweise für den Einsatz von Nierenersatzverfahren überprüft werden. Eine dieser Quellen stellen Einträge in der Patientenakte dar, die sich auf Messwerte und Prozeduren von Geräten am Bett beziehen. Die zweite Quelle bezieht sich auf alle Einträge in der Patientenakte bei Aufnahme des Patienten. Als letztes wurden schließlich Freitexteinträge hinzugezogen. Einträge in eine dieser Quellen mit den Schlagwörtern „Dialyse“, „Hämofilter“, „Hämodialfilter“, „VV“ (als häufig benutzte Abkürzung für venovenösen Katheter), „CVVH“ (Kontinuierliche veno-venöse Hämofiltration) oder „Shaldon“ wurden identifiziert und anschließend manuell validiert. Damit wurde für jeden dieser Kurzaufenthalte entschieden, ob bei dem Patienten die Anwendung eines Nierenersatzverfahrens tatsächlich erfolgt war.

Alle Aufnahmen, die aufgrund ihrer Punkte innerhalb des TISS-10-Scores oder aufgrund sonstiger Einträge als Aufnahmen mit Nierenersatzverfahren identifiziert wurden, wurden nun zusätzlich hinsichtlich der Häufigkeit der Nierenersatzverfahren während des Aufenthalts analysiert. Als Maß für die Häufigkeit diente dabei die Zahl der Tage mit Einträgen, die auf die Anwendung eines Nierenersatzverfahrens schließen lassen, bezogen auf alle Aufenthaltstage für jede dieser Aufnahmen. Diese Zählung pro Tag war nötig, da keine Angaben zur Dauer der Therapie, wie etwa in der Beatmungsanalyse, gemacht werden konnten. Jeder Tag, an dem mindestens ein Eintrag zu Nierenersatzverfahren in der Patientenakte gefunden wurde, wurde also als voller Tag mit Nierenersatzverfahren gezählt. Somit war die Häufigkeit der Nierenersatzverfahren bei allen Aufnahmen ohne TISS-Eintrag, aber mit sonstigen Hinweisen auf Nierenersatzverfahren, aufgrund ihrer geringen Liegedauer entsprechend 1. Bei Aufnahmen mit entsprechendem TISS-Eintrag wurde die Häufigkeit der für ein Nierenersatzverfahren

vergebenen Punkte hinzugezogen. Lag ein Patient also beispielsweise vier Tage lang auf der Intensivstation und wurde ab dem zweiten Tag therapiert, so war die Häufigkeit der Nierenersatztherapie gleich 3.

Für die statistische Analyse wurde wie in den beiden anderen Therapiemodalitäten neben der deskriptiven Darstellung der Behandlungshäufigkeit im Geschlechts- und Altersgruppenvergleich das zero-inflated Poisson-Modell angewandt. Wegen der wie erwartet geringen Zahl an Aufnahmen (siehe Kapitel 1.3), wurde auf eine feingliedrige Analyse im Altersgruppenvergleich an dieser Stelle verzichtet. Stattdessen wurde die Therapieintensität zwischen zusätzlich beatmeten und nicht beatmeten Patienten mit Nierenersatzverfahren, ebenfalls in einem nicht adjustierten und einem nach den bekannten Cofaktoren (Geschlecht, Alter, Behandlungsjahr, mittlerer SAPS II- und TISS-Score) adjustierten Modell, verglichen.

2.3 Projektion des künftigen Ressourcenaufwands

2.3.1 Retrospektive Verknüpfung der Aufnahmezahlen mit Bevölkerungsdaten

Der erste Schritt für die Projektion des künftigen Ressourcenaufwands bestand in der retrospektiven Verknüpfung bereits ermittelter Aufnahmezahlen auf die betrachtete Intensivstation mit den demographischen Daten der Stadt Mannheim. Wie bereits in Kapitel 2.1.3 erwähnt, wurde hierzu gemäß den Einschlusskriterien lediglich die erwachsene Bevölkerung mit Erstwohnsitz Mannheim aus den demographischen Daten extrahiert. Da die tatsächlichen Aufnahmezahlen der betrachteten Intensivstation den tatsächlichen Bevölkerungszahlen gegenübergestellt werden konnten, ergaben sich für die einzelnen Jahre automatisch entsprechende Überweisungs-raten aus der Bevölkerung auf die Intensivstation pro Altersgruppe und Geschlecht. Diese Überweisungs-raten suggerieren zwar, dass die einzelnen Patienten der Intensivstation ausschließlich und faktisch ohne Umwege über eine Normalstation aus der Basisbevölkerung rekrutiert wurden; im Sinne einer einfachen und verständlichen Verknüpfung demographischer Daten mit der Zahl der Aufnahmen wurde an dieser Stelle aber auf eine weitere Verkomplizierung wie etwa die Zwischenschaltung von Aufenthalten auf einer Normalstation oder die Hinzunahme weiterer demographischer Daten aus umliegenden Kreisen verzichtet.

Neben den Überweisungs-raten pro Geschlecht und den verschiedenen Altersgruppen bzw. der erwachsenen männlichen und weiblichen Basisbevölkerung insgesamt wurde als weiterer Indikator ein Faktor berechnet, der die prozentuale Aufteilung der Altersgruppen in der Basisbevölkerung mit der der Patienten auf der Intensivstation in Beziehung setzt. Dieser als *Überweisungs-faktor* bezeichnete Faktor berechnet sich also aus dem jeweiligen Altersgruppenanteil der

Intensivpatienten dividiert durch den jeweiligen Altersgruppenanteil der Basisbevölkerung. Für die Projektion birgt dieser Überweisungsfaktor zwei Vorteile: Zum einen bildet er die Überweisung aus der Basisbevölkerung konservativer als eine Überweisungsrate ab und kann somit auch die künftig zu erwartende Aufnahmezahl pro Altersgruppe konservativer abschätzen, da lediglich die Alterszusammensetzung relevant ist und nicht die tatsächliche Bevölkerungszahl; zum anderen zeigt der Überweisungsfaktor auch ob die jeweilige Altersgruppe auf der Intensivstation im Vergleich zur Basisbevölkerung über- oder unterrepräsentiert ist. Ist der Überweisungsfaktor also gleich oder nahe 1, entspricht der Anteil dieser Altersgruppe auf der Intensivstation in etwa dem der Basisbevölkerung. Ein Überweisungsfaktor kleiner oder größer 1 würde demnach darauf hinweisen, dass die jeweilige Altersgruppe auf der Intensivstation unter- bzw. überrepräsentiert ist.

Da sich die beiden Parameter *Überweisungsrate* und *Überweisungsfaktor* in den einzelnen Altersgruppen im retrospektiv betrachteten Zeitraum von 2007-2012 über die einzelnen Jahre hinweg minimal unterschieden, wurden als Vorbereitung für die Projektion der zu erwartenden Patientenzahlen die jeweiligen Mittelwerte gebildet. Dabei bestimmt die mittlere *Überweisungsrate* aus der gesamten männlichen bzw. weiblichen Basisbevölkerung der einzelnen Jahre die Gesamtzahl der zu erwartenden Aufnahmen, während die jeweiligen mittleren *Überweisungsfaktoren* der einzelnen Altersgruppen die prozentuale Aufteilung ebendieser in der projizierten Bevölkerung der Intensivstation ergibt. Diese Mittelwerte sind für alle in den nächsten Kapiteln beschriebenen Szenarien des zukünftig zu erwartenden Ressourcenaufwands vonnöten, da sich daraus die jeweilige Gesamtzahl der Aufnahmen eines Jahres ableitet. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die mittleren Überweisungsfaktoren und die mittlere Überweisungsrate aus der männlichen und der weiblichen Basisbevölkerung:

Tabelle 1: Mittlere Überweisungsfaktoren einzelner Altersgruppen und mittlere Überweisungsraten für die gesamte männliche und weibliche Basisbevölkerung

Altersgruppe	Männlich	Weiblich
18-24	0,27	0,24
25-29	0,23	0,27
30-44	0,30	0,34
45-59	0,95	0,88
60-64	1,84	1,30
65-79	2,53	2,07
80+	2,71	2,76
Überweisungsrate gesamt	0,0110	0,0078

Im Mittel wurden in den Jahren 2007-2012 also 1,10% der männlichen und 0,78% der weiblichen erwachsenen Basisbevölkerung auf die Intensivstation überwiesen. Für beide Geschlechter zeigt sich, dass Patienten ab dem 60. Lebensjahr auf der Intensivstation im Vergleich zur Basisbevölkerung überrepräsentiert (Überweisungsfaktor größer 1) und jüngere Patienten unterrepräsentiert (Überweisungsfaktor kleiner 1) waren.

Den ermittelten Faktoren und Raten wurden in allen nachfolgend vorgestellten Projektionsszenarien die demographischen Prognosen der Stadt Mannheim hinzugespielt. Wie in der Beschreibung der Datenquellen in Kapitel 2.1.1 erwähnt, bestehen diese Bevölkerungsprognosen aus drei einzelnen Prognosen, die gemeinsam eine steigende Lebenserwartung sowie entweder eine unveränderte Nettomigration (Basisprognose), einen Zuzugsanstieg, oder eine Zuzugsminde- rung einkalkulieren. Da die Bevölkerungsprognosen der Stadt Mannheim ab dem Jahr 2016 beginnen (für die vorangegangenen Jahre ab 2007 wurden die tatsächlichen Bevölkerungszahlen zur Verfügung gestellt), beginnen auch die für diese Projektion kreierte Szenarien ab diesem Jahr, wobei auch das Jahr 2015 als gemeinsamer Ausgangspunkt zusätzlich hinzugenommen wird.

2.3.2 Grundgesamtheit der Intensivpatienten und Verknüpfung mit Morbiditätstheorien

An dieser Stelle sei erwähnt, dass in allen Szenarien zur künftigen Aufnahmezahl und deren Zusammensetzung nach Altersgruppen und Geschlecht die Zahl aller potentiellen Patienten mit wahrscheinlich benötigter intensivmedizinischer Versorgung abgebildet wird. Dies schließt also sowohl schwerstkranke Patienten mit voraussichtlich langer Liegedauer als auch vergleichsweise weniger schwer erkrankte Patienten mit voraussichtlich kurzer Liegedauer ein. Dies liegt darin begründet, dass die retrospektiv ermittelten Überweisungsfaktoren und Überweisungsraten als Mittelwerte zusammengefasst wurden und somit einen möglichen Trend bei identischer Bettenzahl nicht direkt widerspiegeln. Würde z.B. innerhalb eines Zeitraums die Zahl der Aufnahmen spürbar fallen und sich damit verbunden die durchschnittliche Aufenthaltszeit gleichzeitig erhöhen, würde dies auf ein sich veränderndes Patientenkollektiv mit vermutlich steigender Krankheitsschwere und höherem Ressourcenaufwand hindeuten. Anders herum wäre eine sehr hohe bzw. steigende Zahl von Aufnahmen eher mit einer kürzerer Liegedauer und geringerer Krankheitsschwere und Ressourcenaufwand verbunden. Dabei ist zu beachten, dass die Wahl der aufgenommenen Patienten auch durch weitere Faktoren beeinflusst werden kann, wie etwa dem Erstreben eines höheren Case Mix Index oder einer steigenden Zahl von operativen Eingriffen mit hoher Wahrscheinlichkeit eines anschließenden (langen)

Aufenthalts auf der Intensivstation, wie beispielsweise bei zerebrovaskulären Erkrankungen. Das bedeutet, dass die Grundgesamtheit aller Patienten mit einer benötigten intensivmedizinischen Behandlung sowohl aus weniger schweren Fällen mit bloßer post-operativer Beobachtung, als auch aus komplexeren Fällen mit hoher Krankheitsschwere, hohem Pflegeaufwand und langer Liegedauer besteht. Etwaige Schwankungen in den retrospektiv ermittelten Überweisungsfaktoren und -raten können mithilfe der Mittelwerte also dahingehend ausgeglichen werden, dass diese ein Durchschnittskollektiv an Intensivpatienten abbilden.

Für die in der Einleitung in Kapitel 1.1 erwähnten Theorien zur künftigen Entwicklung der Morbidität und ihrer Verknüpfung mit intensivmedizinisch relevanter Morbidität spielen ebenfalls die ermittelten Überweisungsfaktoren eine entscheidende Rolle. Da sowohl bei männlichen als auch weiblichen Intensivpatienten diejenigen ab einem Alter von 60 Jahren im Vergleich zur Basisbevölkerung überrepräsentiert sind, kann dies mit einem entsprechend höheren Risiko für benötigte intensivmedizinische Versorgung gleichgesetzt werden. Im Sinne des dynamischen Gleichgewichts und der Kompressionsthese müsste sich also das eigentlich höhere Risiko ab der Altersgruppe 60-64 verringern, während bei steigender Lebenserwartung das Risiko für die höchste Altersgruppe 80+ steigen müsste. Die nachfolgende Abbildung macht die Risikoreduktion bzw. das steigende Risiko im hohen Alter anschaulich:

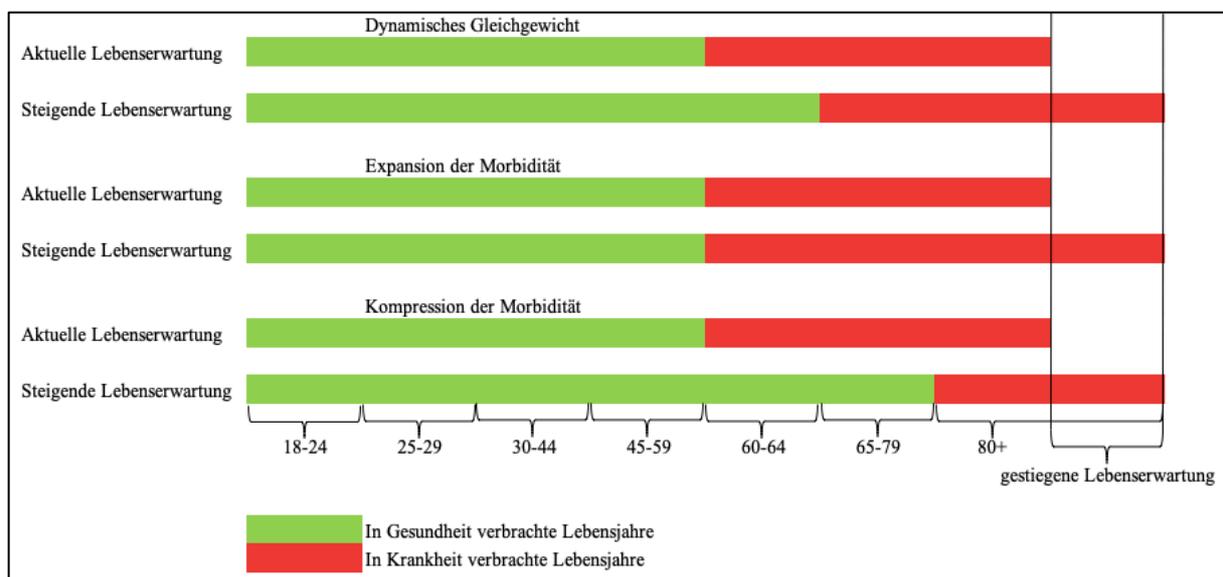


Abbildung 1: Theorien der Veränderung der in Krankheit verbrachten Lebenszeit

(in Anlehnung an: Economic Policy Committee and the European Commission (DG ECFIN), 2016)

Bei allen Theorien wird demnach in der Projektion ein steigendes Risiko in der Gruppe der über 80-jährigen angenommen. Für die These des dynamischen Gleichgewichts wird zusätzlich

davon ausgegangen, dass das Risiko für einen Aufenthalt in der Gruppe der 60-64-jährigen sinkt, während in der Gruppe der 65-79-jährigen das Risiko als gleich groß betrachtet wird. Bei Kompression der Morbidität auf das Lebensende sinkt demnach nicht nur das Risiko der 60-64-jährigen, sondern auch das der 65-79-jährigen. Einzig die Expansionsthese hält das Risiko für die beiden Altersgruppen von 60-79 Jahren gleich groß. Die Risikoreduktion bzw. das steigende Risiko in der höchsten Altersgruppe übersetzt sich in sinkende bzw. steigende Überweisungsfaktoren in der entsprechenden Altersgruppe. Diese werden auf Grundlage des Überweisungsfaktors des jeweils vorangegangenen Jahres berechnet und sinken bzw. steigen simultan mit der jeweiligen Veränderung der Basisbevölkerung in dieser Altersgruppe. Die Formel für einen steigenden Überweisungsfaktor für jedes einzelne Jahr ab 2015 lautet

$$\text{Überweisungsfaktor}_{a,t+1} = \text{Überweisungsfaktor}_{a,t} * \frac{\text{Basisbevölkerung}_{a,t+1}^{\max}}{\text{Basisbevölkerung}_{a,t+1}^{\min}}$$

Die Formel für einen sinkenden Überweisungsfaktor lautet

$$\text{Überweisungsfaktor}_{a,t+1} = \text{Überweisungsfaktor}_{a,t} * \frac{\text{Basisbevölkerung}_{a,t+1}^{\min}}{\text{Basisbevölkerung}_{a,t+1}^{\max}}$$

Mit

$$\text{Basisbevölkerung}_{a,t+1}^{\max} := \max \left(\text{Basisbevölkerung}_{a,t}, \text{Basisbevölkerung}_{a,t+1} \right)$$

$$\text{Basisbevölkerung}_{a,t+1}^{\min} := \min \left(\text{Basisbevölkerung}_{a,t}, \text{Basisbevölkerung}_{a,t+1} \right)$$

wobei a = Altersgruppe und t = Jahr.

Diese Formeln wurden in Anlehnung an ein Rechenmodell entwickelt, welches die EU-Kommission für die Projektion zukünftiger Ausgaben im Gesundheitssektor der einzelnen Mitgliedsstaaten benutzt und in dem die altersabhängigen Kosten an die Entwicklung des Bruttoinlandsprodukts verknüpft werden (Economic Policy Committee and the European Commission (DG ECFIN), 2016). Dabei ist zu beachten, dass durch diese Formeln im Sinne einer höheren Lebenserwartung und der, je nach Morbiditätstheorie, steigenden oder sinkenden Anzahl an in Krankheit verbrachter Lebenszeit die jeweiligen Überweisungsfaktoren über den gesamten Projektionszeitraum hinweg kontinuierlich steigen bzw. sinken. So würde beispielsweise der Überweisungsfaktor in der Altersgruppe 65-79 unter Berücksichtigung der Kompressionsthese nicht etwa bei steigender Bevölkerungszahl in dieser Altersgruppe steigen und bei

sinkender Bevölkerungszahl sinken, sondern kontinuierlich um die jeweils jährliche Wachstumsrate in dieser Altersgruppe sinken.

In den folgenden Unterkapiteln werden nun die einzelnen Szenarien vorgestellt, die sich durch die Verknüpfung der retrospektiv ermittelten Überweisungsfaktoren und deren Anpassung durch die verschiedenen Theorien zur künftigen Morbiditätsentwicklung ergeben. Dabei ist zu beachten, dass es aufgrund von Rundungen insbesondere bei Berechnungen auf Grundlage von prozentualen Anteilen zu minimalen Abweichungen in den dargestellten Zahlen kommen kann. Dies betrifft die geschätzten Zahlen zukünftiger Intensivpatienten sowohl innerhalb einzelner Tabellen, als auch im Vergleich zwischen verschiedenen Tabellen. Zu den drei in Kapitel 1.1 erläuterten und in Abbildung 1 illustrierten Morbiditätsszenarien kommt ein weiteres Szenario, welches die Überweisungsfaktoren konstant hält und somit keine der genannten Theorien widerspiegelt, hinzu („Konstante Überweisungsfaktoren“). Dieses wird nachfolgend als erstes präsentiert (siehe Kapitel 2.3.3). Wie bereits erwähnt, verbindet die in dieser Arbeit vorgestellte Projektion des künftigen Ressourcenbedarfs in der Intensivmedizin diese vier Szenarien mit den demographischen Prognosen der Stadt Mannheim. Somit werden für alle Prognosen zur demographischen Entwicklung (Basisprognose, steigender Zuzug und sinkender Zuzug) jeweils diese vier Szenarien zur Morbiditätsentwicklung durchgespielt, um alle Eventualitäten sowohl der Morbiditäts- als auch demographischen Entwicklung und deren Einfluss auf den künftigen Ressourcenbedarf darzustellen (siehe Abbildung 2).

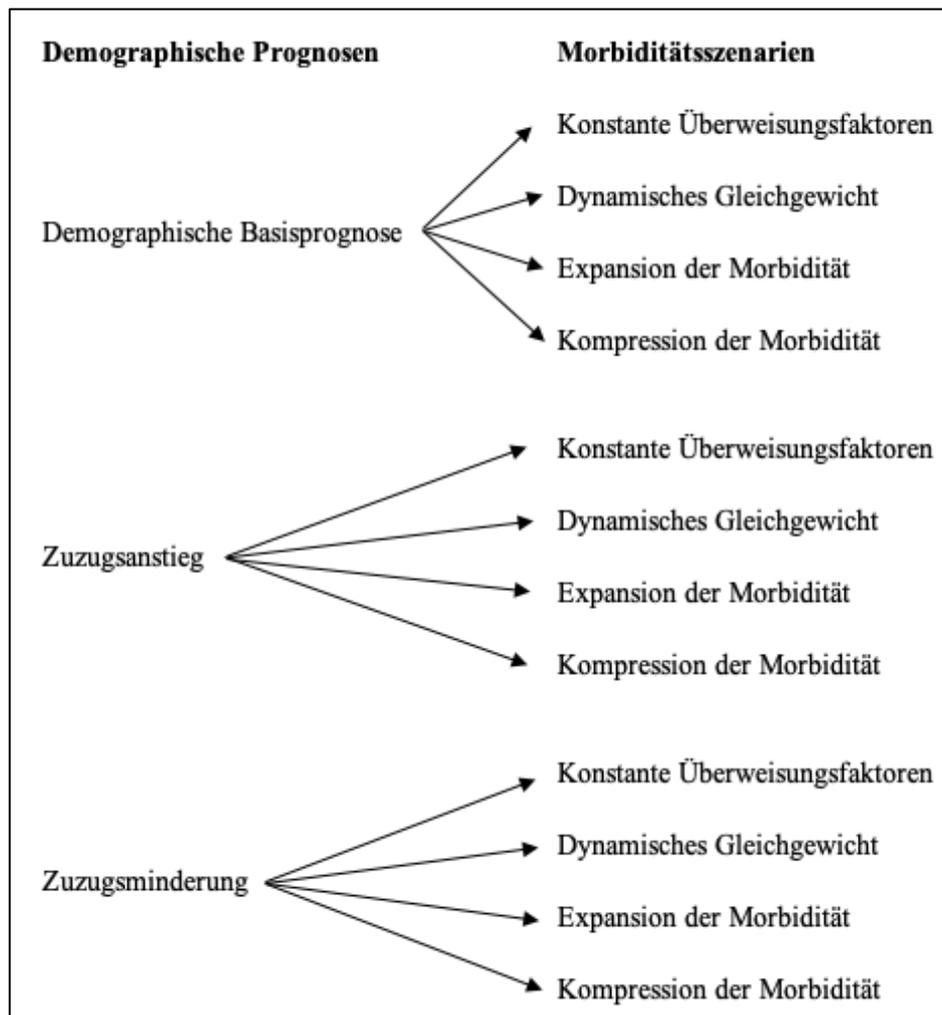


Abbildung 2: Verbindung der demographischen Prognosen mit den Morbiditätsszenarien

2.3.3 Szenario 1: Konstante Überweisungsfaktoren

Das erste Szenario der Projektion hält die in Tabelle 1 aufgeführten Überweisungsfaktoren sowie die Überweisungsrate über den Projektionszeitraum von 2016 bis 2036 konstant, sodass sich lediglich die Basisbevölkerung als Bezugsgröße für die projizierte Zahl der Aufnahmen und deren Altersgruppenzusammensetzung ändert. Da sich aber in jedem Jahr der Anteil der jeweiligen Altersgruppe in der männlichen und weiblichen Basisbevölkerung ändert, hat dies aufgrund der fixen Überweisungsfaktoren Auswirkungen auf die geschätzte Altersverteilung der zukünftigen Intensivpatienten. Ausgehend von der ebenfalls fixen Überweisungsrate, aus der die Gesamtzahl der männlichen und weiblichen Intensivpatienten aus der Basisbevölkerung resultiert (1,10% bzw. 0,78%), kann es also vorkommen, dass die Summe der prozentualen Verteilung der Altersgruppen nicht 100% ergibt. Dies ist z.B. dann der Fall, wenn Altersgruppen mit hohem Überweisungsfaktor stark anwachsen, womit auch ihr Anteil in der Population

der Intensivpatienten stärker steigt. Um diese Diskrepanz auszugleichen, wurde die Altersgruppenverteilung der Intensivpatienten entsprechend umgerechnet, sodass sie in der Summe 100% ergibt. Tabelle 2 zeigt ein Beispiel für diese Umrechnung bei der projizierten Zahl potentieller männlicher Intensivpatienten für das Jahr 2025 mit demographischer Basisprognose:

Tabelle 2 Potentielle männliche Intensivpatienten in 2025, konstante Überweisungsfaktoren, Basisprognose

Basisbevölkerung 2025, Männer			Überweisungsfaktoren/ Überweisungsrate	Intensivpatienten 2025, Männer			
Alters- gruppe	n	%		Alters- gruppe	N	%	% angepasst
18-24	14.783	10,52%	0,27	18-24	43	2,84%	2,76%
25-29	13.506	9,61%	0,23	25-29	33	2,21%	2,15%
30-44	37.925	26,98%	0,3	30-44	122	8,09%	7,88%
45-59	35.464	25,23%	0,95	45-59	361	23,97%	23,33%
60-64	10.937	7,78%	1,84	60-64	215	14,31%	13,94%
65-79	20.381	14,50%	2,53	65-79	552	36,68%	35,71%
80+	7.585	5,40%	2,71	80+	220	14,62%	14,23%
Summe	140.581	100,00%	0,011 (Überweisungsrate)	Summe	1546	102,72%	100,00%

Die fixe Überweisungsrate führt zu einer geschätzten Aufnahmezahl von 1546 männlichen Intensivpatienten für das Jahr 2025 bei demographischer Basisprognose (140.581 Männer aus der Basisbevölkerung * Überweisungsrate von 0,011). Die ebenfalls fixen Überweisungsfaktoren würden z.B. eigentlich einen Anteil an 65-79-jährigen von 36,68% auf der Intensivstation ergeben (14,50% Anteil der 65-79-jährigen aus der Basisbevölkerung * Überweisungsfaktor 2,53), was zu 567 Aufnahmen in dieser Altersgruppe führen würde. Da die Altersgruppenanteile aufgrund der Summe von 102,72% nun zu hoch sind, sinkt der genormte Anteil auf 35,71% (36,68%/102,72%*100), sodass nun 552 Aufnahmen in dieser Altersgruppe erwartet werden können, welche in der Summe zusammen mit allen anderen Altersgruppen die zuvor berechnete Gesamtzahl von 1546 Aufnahmen ergibt. Das gleiche Verfahren wird auch für die Zahl der weiblichen Intensivpatienten angewendet, sodass sich in den jeweiligen Summen die Gesamtzahl an zu erwartenden Aufnahmen inklusive deren Altersgruppenzusammensetzung für das betrachtete Jahr und die jeweilige demographische Prognose ergibt.

2.3.4 Szenario 2: Dynamisches Gleichgewicht

Im Prognoseszenario für die Morbiditätstheorie des dynamischen Gleichgewichts kommen beide zuvor eingeführten Formeln für die Veränderung des Überweisungsfaktors zum Einsatz. So steigt der Überweisungsfaktor bei Patienten mit Mindestalter 80 ab dem Projektionsjahr 2016 um die jeweilige Wachstumsrate dieser Altersgruppe jährlich an, während der Überweisungsfaktor bei Patienten im Alter von 60-64 um die Höhe der jeweiligen Wachstumsrate von Jahr zu Jahr auf höchstens 1 fällt. Das Absinken auf einen Überweisungsfaktor von höchstens 1 war eine Modellierungsentscheidung auf Grundlage der retrospektiv beobachteten Überweisungsfaktoren (siehe Tabelle 1) und repräsentiert die Tatsache, dass das Alter nach wie vor ein wesentlicher Einflussfaktor für die Wahrscheinlichkeit einer intensivmedizinischen Behandlung ist. Da sich nun jedoch die Überweisungsfaktoren in jedem Jahr des Projektionszeitraums unterscheiden, hat dies schlussendlich auch Auswirkungen auf die Gesamtzahl der zu erwartenden Aufnahmen. Steigt also mit jedem Jahr das Risiko über 80-jähriger für einen Intensiv-aufenthalt, müsste dies bei ebenfalls steigender Zahl der Bevölkerung in dieser Altersgruppe also zu einer höheren Zahl an Aufnahmen im gesamten betrachteten Jahr kommen. Zwar sinken im Sinne der Theorie des dynamischen Gleichgewichts auch das Risiko und damit die Zahl der 60-64-jährigen auf der Intensivstation, jedoch führt dies nicht automatisch zu einem Ausgleich. Bei stetig veränderten Überweisungsfaktoren muss also auch entsprechend die Überweisungsrate angepasst werden. Die veränderte Überweisungsrate kann dabei aus dem Verhältnis der Summe der neu berechneten Überweisungsfaktoren und der Summe der konstanten Überweisungsfaktoren berechnet werden. Tabelle 3 macht dies im Beispiel für die Prognose der Aufnahmen männlicher Patienten für das Jahr 2025 bei demographischer Basisprognose deutlich.

Tabelle 3: Potentielle männliche Intensivpatienten in 2025, Dynamisches Gleichgewicht, Basisprognose

Projektion potentieller Patienten in 2025: Basisprognose, Dynamisches Gleichgewicht, Männer								
Basisbevölkerung 2025, Männer			Überweisungsfaktoren/ Überweisungsrate		Intensivpatienten 2025, Männer			
Altersgruppe	n	%			Altersgruppe	N	%	% angepasst
18-24	14.783	10,52%	0,27		18-24	44	2,84%	2,73%
25-29	13.506	9,61%	0,23		25-29	34	2,21%	2,13%
30-44	37.925	26,98%	0,3		30-44	126	8,09%	7,79%
45-59	35.464	25,23%	0,95		45-59	373	23,97%	23,06%
60-64	10.937	7,78%	1,41		60-64	171	10,97%	10,56%
65-79	20.381	14,50%	2,53		65-79	571	36,68%	35,30%
80+	7.585	5,40%	3,55		80+	298	19,15%	18,43%
Summe	140.581	100,00%	0,011 (alt)	9,24/8,83* 0,011 (neu)	Summe	1618	103,91%	100,00%
Summe angepasste Überweisungsfaktoren			9,24					
Summe konstante Überweisungsfaktoren			8,83					

Die fixe Überweisungsrate von 1,10% würde bei einer Basisbevölkerung im Jahr 2025 von 140.581 erwachsenen Männern eigentlich 1546 Aufnahmen prognostizieren (siehe Tabelle 2 für das Szenario „Konstante Überweisungsfaktoren“). Durch stetige Verrechnung des Wachstums in den Altersgruppen 80+ und 60-64 steigen bzw. sinken die Überweisungsrate von 2,71 bzw. 1,84 (konstante Faktoren, mit denen die Projektion in jedem Szenario ab 2015 beginnt (siehe Tabelle 1)) auf 3,55 bzw. 1,41. Bei konstanten Überweisungsfaktoren wie in Szenario 1 würde ihre Summe 8,83 ergeben; die an das Bevölkerungswachstum angepassten Faktoren führen in diesem Beispiel zu einer Summe von 9,24. Das Verhältnis dieser beiden Summen beträgt ca. 1,05, welches mit der fixen Überweisungsrate von 0,011 multipliziert wird. Somit errechnet sich die neue Überweisungsrate für die Gesamtzahl der männlichen Patienten, die aufgrund der in Excel berücksichtigten Nachkommastellen nun leicht größer ist und zu einer Gesamtzahl von 1618 Aufnahmen führt. Die Berechnung der Altersgruppenzusammensetzung erfolgt dann wieder wie in Szenario 1 beschrieben, also mit Umrechnung auf einen Gesamtanteil von 100%. Der Vergleich mit den Patientenzahlen aus Szenario 1 zeigt, dass der Anteil der über 80-jährigen männlichen Patienten im Jahr 2025 bei demographischer Basisprognose um ca. vier Prozentpunkte steigen und der Anteil der 60-64-jährigen um ca. dreieinhalb Prozentpunkte fallen

würde. Die Gesamtzahl der Aufnahmen würde sich demnach um 72 Aufnahmen, also um 4,65%, erhöhen.

2.3.5 Szenario 3: Expansionsthese

Da die Expansionsthese nicht davon ausgeht, dass eine steigende Lebenserwartung auch mit längerer in Gesundheit verbrachter Lebenszeit einhergeht, werden die Überweisungsfaktoren für ausgewählte Altersgruppen nicht gesenkt, sondern wie in Szenario 1 konstant gehalten. Einzig der Überweisungsfaktor für über 80-jährige wird, wie in allen Szenarien, entsprechend der Wachstumsrate von Jahr zu Jahr unter Anwendung der entsprechenden Formel angehoben. Somit ändert sich auch schlussendlich die sonst fixe Überweisungsrate nach gleichem Rechenmodell wie in Szenario 2 zum dynamischen Gleichgewicht. Die tatsächliche Altersgruppenzusammensetzung wird ebenfalls auf einen Gesamtanteil von 100% umgerechnet. Die sonst konstanten Überweisungsfaktoren und der steigende Überweisungsfaktor in der höchsten Altersgruppe führen in diesem Szenario also zwangsläufig zur größten Aufnahmezahl im Vergleich zu den anderen Szenarien. Tabelle 4 zeigt die Berechnungen am Beispiel der demographischen Basisprognose für das Jahr 2025 für die Aufnahme männlicher Patienten:

Tabelle 4: Potentielle männliche Intensivpatienten in 2025, Expansionsthese, Basisprognose

Projektion potentieller Patienten in 2025: Basisprognose, Expansionsthese, Männer								
Basisbevölkerung 2025, Männer			Überweisungsfaktoren/ Überweisungsrate		Intensivpatienten 2025, Männer			
Altersgruppe	n	%			Altersgruppe	N	%	% angepasst
18-24	14.783	10,52%	0,27		18-24	45	2,84%	2,65%
25-29	13.506	9,61%	0,23		25-29	35	2,21%	2,06%
30-44	37.925	26,98%	0,3		30-44	129	8,09%	7,55%
45-59	35.464	25,23%	0,95		45-59	382	23,97%	22,34%
60-64	10.937	7,78%	1,84		60-64	228	14,31%	13,35%
65-79	20.381	14,50%	2,53		65-79	584	36,68%	34,20%
80+	7.585	5,40%	3,55		80+	305	19,15%	17,86%
Summe	140.581	100,00%	0,011 (alt)	9,67/8,83* 0,011 (neu)	Summe	1709	107,26%	100,00%
Summe angepasste Überweisungsfaktoren			9,67					
Summe konstante Überweisungsfaktoren			8,83					

2.3.6 Szenario 4: Kompressionsthese

Das vierte Szenario zur Kompression der Morbidität am Lebensende führt das rechnerische Konstrukt aus Szenario 2 („Dynamisches Gleichgewicht“) noch einen Schritt weiter, indem auch der Überweisungsfaktor für 65-79-jährige analog zum Bevölkerungswachstum dieser Altersgruppe Schritt für Schritt auf höchstens 1 abgesenkt wird. Der Überweisungsfaktor für die Altersgruppe 80+ wird hingegen ebenfalls angehoben, in den restlichen Altersgruppen bleibt er konstant. Somit ändert sich auch wieder die Überweisungsrate für die Gesamtzahl der Aufnahmen nach der in Szenario 2 vorgestellten Berechnung, sowie der Altersgruppenanteil auf der Intensivstation nach Umrechnung auf 100% Gesamtanteil, wie folgende Tabelle zeigt:

Tabelle 5: Potentielle männliche Intensivpatienten in 2025, Kompressionsthese, Basisprognose

Projektion potentieller Patienten in 2025: Basisprognose, Kompressionsthese, Männer								
Basisbevölkerung 2025, Männer			Überweisungsfaktoren/ Überweisungsrate		Intensivpatienten 2025, Männer			
Altersgruppe	n	%			Altersgruppe	N	%	% angepasst
18-24	14.783	10,52%	0,27		18-24	45	2,84%	2,83%
25-29	13.506	9,61%	0,23		25-29	35	2,21%	2,20%
30-44	37.925	26,98%	0,3		30-44	127	8,09%	8,07%
45-59	35.464	25,23%	0,95		45-59	376	23,97%	23,90%
60-64	10.937	7,78%	1,41		60-64	172	10,97%	10,94%
65-79	20.381	14,50%	2,28		65-79	519	33,05%	32,96%
80+	7.585	5,40%	3,55		80+	301	19,15%	19,10%
Summe	140.581	100,00%	0,011 (alt)	8,99/8,83* 0,011 (neu)	Summe	1574	100,29%	100,00%
Summe angepasste Überweisungs- faktoren			8,99					
Summe konstante Überweisungs- faktoren			8,83					

2.3.7 Projektion der Bettenzahlen und des Ressourcenaufwands

Die vorgestellte Methodik zur Berechnung der möglichen Zahl an Aufnahmen potentieller Patienten auf die Intensivstation erfüllt jedoch nur einen Teil des prospektiven Teils dieser Arbeit. Vor dem in der Einleitung erwähnten Hintergrund, dass aufgrund der begrenzten Ressourcen wahrscheinlich nicht alle Patienten mit Bedarf an intensivmedizinischer Therapie auf eine Intensivstation aufgenommen werden können, müssen zusätzliche Überlegungen für den Aufnahmeprozess angestellt werden. Um diesen exemplarisch abbilden zu können, wurden in

Absprache mit Intensivmedizinern der Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin der Universitätsmedizin Mannheim Patienten mit benötigter maschineller Beatmung als bevorzugtes Kollektiv für die Aufnahme auf die Intensivstation definiert. Zwar wird die Reihenfolge der Aufnahmen durch mehrere Faktoren, allen voran die Krankheitsschwere, beeinflusst, jedoch lässt sich die Zahl und der Aufenthalte beatmeter Patienten in der elektronischen Patientenakte retrospektiv einfacher rekonstruieren, zumal die Beatmung ohnehin wesentlicher Bestandteil in der retrospektiven Erhebung des Ressourcenaufwands ist.

Die Zahl der möglichen Aufnahmen von Patienten mit maschineller Beatmung ist also eine wesentliche Information zur Projektion der eventuell benötigten zusätzlichen Betten. Hierfür wurden als erster Schritt die durchschnittliche Behandlungshäufigkeit sowie die durchschnittliche Aufenthaltszeit beatmeter Patienten in den betrachteten Jahren aus der ICIP-Datenbank geschlechts- und altersgruppenabhängig ermittelt. Ähnlich wie die Überweisungsfaktoren und die Überweisungsrate dienen diese Mittelwerte als konstante Größe, mit denen die Zahl der beatmeten Patienten sowie deren Liegedauer in den Jahren des Projektionszeitraums ermittelt werden. Für die Liegedauer wurde dabei trotz nichtsymmetrischer Verteilung absichtlich der Mittelwert gewählt, da somit schwerstkranke Patienten mit überdurchschnittlich langer Liegedauer angemessener miteinbezogen und somit das Kollektiv beatmeter Patienten möglicherweise realistischer abgebildet werden kann. Für jedes einzelne Jahr bis 2036 kann also die Zahl der beatmeten Patienten pro Geschlecht und Altersgruppe auf Basis der jeweiligen durchschnittlichen retrospektiven Behandlungshäufigkeiten geschätzt werden, während die Aufenthaltszeit dieser Patienten unverändert der entsprechende Mittelwert aus den Jahren 2007-2012 bleibt.

Als zweiter Schritt wurde eine zusätzliche Überlegung angestellt, die die Aufnahme und Entlassung von Patienten noch genauer modellieren lässt: So geschieht die Aufnahme eines neuen Patienten auf ein frei gewordenes Bett nicht unmittelbar nach Entlassung des vorangegangenen Patienten, sondern ist immer mit einer Überbrückungszeit verbunden, die z.B. mit der Reinigung des Bettes und der angeschlossenen Geräte oder gar des ganzen Zimmers im Falle isolierter Patienten verbunden ist. Darüber hinaus kann ein Bett auch freigehalten werden, wenn sich ein angemeldeter Patient vor der Aufnahme auf die Intensivstation noch im Operationssaal befindet. In der ICIP-Datenbank erfolgt die Aufnahme der Patienten jedoch in der Regel erst mit tatsächlicher Belegung des Bettes, sodass die Zeit, in der das Bett faktisch nicht belegt ist, gut nachvollzogen werden kann. So könnten in einem Jahr auf der hier betrachteten Station mit 26 Betten theoretisch 227.760 Stunden für die direkte Versorgung von Patienten am Bett genutzt

werden (26 Betten * 8760 Stunden im Jahr (an Schaltjahren 8784 Stunden)); dies wäre aber nur dann der Fall, wenn im gesamten Jahr nur 26 Patienten jeweils ohne Unterbrechung auf der Station liegen würden. Durch die in der Realität um ein Vielfaches höhere Zahl an Aufnahmen als 26 muss also die Wechselzeit zwischen den einzelnen Aufnahmen berücksichtigt werden. Durch Aufsummieren der aus der ICIP-Datenbank rekonstruierten Aufenthaltszeit aller Patienten eines Jahres und Verrechnung mit der theoretisch verfügbaren Zeit von 227.760 Stunden (bzw. 228.384 Stunden in Schaltjahren) ergibt sich somit die *Auslastungsquote*, welche im betrachteten Zeitraum von 2007-2012 im Durchschnitt 80,7% betrug.

Für jedes Prognoseszenario wurde nun die Zahl der möglichen beatmeten Patienten mithilfe der durchschnittlichen Behandlungshäufigkeit für maschinelle Beatmung ermittelt und daraufhin die Zahl der Betten, die diese Patienten belegen, berechnet. Dazu wurde für jedes Geschlecht und jede Altersgruppe die Zahl der beatmeten Patienten mit deren durchschnittlicher Liegezeit multipliziert und anschließend durch die Auslastungsquote von 0,807 und die Anzahl der Tage im betrachteten Jahr dividiert. Die nachfolgende Tabelle gibt ein Rechenbeispiel für männliche, über 80-jährige beatmete Patienten im Jahr 2025 bei demographischer Basisprognose und Morbiditätsszenario „Konstante Überweisungsfaktoren“ für eine Intensivstation mit 26 Betten:

Tabelle 6: Beispiel für die Zahl benötigter Betten für männliche, über 80-jährige beatmete Patienten im Jahr 2025 bei demographischer Basisprognose und konstanten Überweisungsfaktoren auf einer 26-Betten-Station

Potentielle Aufnahmen*	Durchschn. Beatmungshäufigkeit	Beatmete Patienten	Durchschn. Liegezeit	Formel	Benötigte Betten
220	34,83%	77	4,8 Tage	$77 * 4,8 / 0,807 / 365$	1,3

*siehe Tabelle 2

Von insgesamt 26 zur Verfügung stehenden Betten würden im Jahr 2025 bei demographischer Basisprognose und Annahme konstanter Überweisungsfaktoren also 1,3 Betten ausschließlich für beatmete, männliche Patienten über 80 Jahre benötigt werden. Dieser Rechenweg wird nun für alle Altersgruppen beider Geschlechter durchgeführt, sodass am Ende die Gesamtzahl der Betten steht, die von allen zur Verfügung stehenden Betten ausschließlich für beatmete Patienten benötigt würden.

Zur vollständigen Abbildung des zu erwartenden Patientenkollektivs eines Jahres müssen nun im nächsten Schritt die restlichen verbliebenen Betten auf Patienten ohne Beatmungstherapie aufgeteilt werden. Dazu wird die verbliebene Bettenzahl mit der Anzahl an Tagen im betrachteten Jahr und der Auslastungsquote multipliziert und anschließend durch die retrospektiv

ermittelte durchschnittliche Liegedauer nichtbeatmeter Patienten dividiert (in diesem Falle 1,3 Tage). Bleiben beispielsweise vier Betten übrig, könnten diese für 906 Patienten bereitgestellt werden, die keine maschinelle Beatmung benötigen ($4 \cdot 365 \cdot 0,807 / 1,3 \approx 906$). Die Alters- und Geschlechtsstruktur ergibt sich wiederum bei Betrachtung der potentiell möglichen Aufnahmezahlen. Da die Zahl der Aufnahmen mit Beatmungstherapie bekannt ist, müssen diese nun für jedes Geschlecht und Altersgruppe von allen potentiellen Aufnahmen subtrahiert werden. Somit ergibt sich ein Restkollektiv an Patienten mitsamt ihrer Alters- und Geschlechtsstruktur, die auf die Intensivstation aufgenommen werden können und nicht beatmet würden. Bleiben nun also beispielsweise in einem Szenario nach Aufnahme aller beatmeten Patienten noch Betten für 906 zusätzliche Aufnahmen übrig, kann nun errechnet werden, wie sich diese Aufnahmen nach Geschlecht und Altersgruppen zusammensetzen. Hierzu wird zunächst die Gesamtzahl der männlichen und weiblichen dieser 906 Patienten ermittelt, indem der Anteil der potentiell möglichen männlichen bzw. weiblichen Patienten des jeweiligen Jahres mit 906 multipliziert wird. Sind also z.B. von den restlichen potentiellen Intensivpatienten im Jahr 2025 knapp 58% männlich, ergeben sich zusätzliche 525 männliche und 381 weibliche Patienten. Die Altersstruktur dieser Patienten errechnet sich auf gleiche Weise, indem der jeweilige Anteil der Altersgruppe aus den übriggebliebenen potentiellen Intensivpatienten mit der neu errechneten Zahl der zusätzlich aufgenommenen Patienten multipliziert wird. Sind also beispielsweise von den potentiell intensivpflichtigen, nicht beatmeten Männern 14,5% über 80 Jahre alt, fallen also auf die 525 zusätzlich aufgenommenen männlichen Patienten 76 über 80-Jährige.

Als letzter Schritt wird die Zahl der zu erwartenden Aufnahmen bei Modellierung des Aufnahmeprozesses und der Berücksichtigung der vorhandenen Kapazitäten mit der der in den einzelnen Szenarien zuvor ermittelten Gesamtzahl an möglichen Intensivpatienten verglichen. Stellt sich dabei z.B. heraus, dass die Zahl der realistisch zu bewältigenden Aufnahmen (beatmete plus nicht beatmete Patienten) kleiner ist als die Zahl der insgesamt möglichen Aufnahmen, würde dies im Umkehrschluss eine Abweisung der übrigen Patienten bedeuten. Um diese Patienten zusätzlich mit aufzunehmen, müsste also eine zusätzliche Zahl an Betten bereitgestellt werden. Dabei wird die Zahl der übriggebliebenen Patienten mit deren erwarteter Liegezeit (hier ebenfalls 1,3 Tage, da diese Patienten auf jeden Fall nicht beatmet würden) multipliziert und durch die Auslastungsquote und die Zahl der Tage im betrachteten Jahr dividiert. Blieben also beispielsweise 600 mögliche Aufnahmen übrig, müssten drei zusätzliche Betten bereitgestellt werden ($600 \cdot 1,3 / 0,807 / 365 \approx 3$). Die Zahl der Betten wird dabei stets aufgerundet.

2.3.8 Zusammenfassung der Methodik

Mit der Verknüpfung von demographischen und klinischen Daten sowie der Anwendung verschiedener Formeln für die Projektion des zukünftigen Ressourcenaufwandes anhand unterschiedlicher Szenarien ist die hier beschriebene Vorgehensweise vergleichsweise komplex. Dieses Kapitel soll daher die Methodik für die Projektion des Ressourcenaufwands nochmals zusammenfassen und so einen allgemeinen Überblick über die einzelnen Schritte geben. Die folgende Tabelle enthält alle angewendeten Formeln in chronologischer Reihenfolge:

Tabelle 7: Formelübersicht für Projektion des künftigen Ressourcenaufwands

Schritt 1: Gegenüberstellung demographische und klinische Daten	
Überweisungsdaten	<p style="text-align: center;">Überweisungsdaten nach Geschlecht und Jahr mit Formel</p> $\frac{\sum \text{Aufnahmen}_{\text{Geschlecht, Jahr}}}{\sum \text{Basisbevölkerung}_{\text{Geschlecht, Jahr}}} \times 100$ <p style="text-align: center;">Von allen Überweisungsdaten wird letztlich der Mittelwert pro Geschlecht gebildet.</p>
Überweisungsdaten	<p style="text-align: center;">Überweisungsdaten nach Altersgruppe, Geschlecht und Jahr mit Formel</p> $\frac{\sum \text{Anteil Aufnahmen}_{\text{Altersgruppe, Geschlecht, Jahr}}}{\sum \text{Anteil Basisbevölkerung}_{\text{Altersgruppe, Geschlecht, Jahr}}}$ <p style="text-align: center;">Von allen Überweisungsdaten wird letztlich der Mittelwert pro Geschlecht und Altersgruppe gebildet.</p>
Schritt 2: Überweisungsdaten und Überweisungsdaten für jedes Szenario und Prognosejahr anpassen	
Szenario 1: Konstante Überweisungsdaten	<p>Alle retrospektiv ermittelten Überweisungsdaten und Überweisungsdaten konstant halten.</p>
Szenario 2: Dynamisches Gleichgewicht	<p style="text-align: center;">Steigender Überweisungsdaten für Altersgruppe ≥80 mit Formel</p> $\text{Überweisungsdaten}_{\text{Altersgruppe, Jahr}} \times \frac{\text{Basisbevölkerung}_{\text{Altersgruppe, Jahr+1}}^{\max}}{\text{Basisbevölkerung}_{\text{Altersgruppe, Jahr+1}}^{\min}}$ <p style="text-align: center;">Sinkender Überweisungsdaten für Altersgruppe 60-64 mit Formel</p> $\text{Überweisungsdaten}_{\text{Altersgruppe, Jahr}} \times \frac{\text{Basisbevölkerung}_{\text{Altersgruppe, Jahr+1}}^{\min}}{\text{Basisbevölkerung}_{\text{Altersgruppe, Jahr+1}}^{\max}}$ <p style="text-align: center;">Überweisungsdaten für restliche Altersgruppen konstant halten.</p>

	<p>Änderung der Überweisungsrate mit Formel</p> $\frac{\Sigma \text{ angepasste Überweisungsfaktoren}}{\Sigma \text{ konstante Überweisungsfaktoren}} \times \text{konstante Überweisungsrate}$
<p>Szenario 3: Expansion der Morbidität</p>	<p>Steigender Überweisungsfaktor für Altersgruppe ≥80 mit Formel</p> $\text{Überweisungsfaktor}_{\text{Altersgruppe, Jahr}} \times \frac{\text{Basisbevölkerung}_{\text{Altersgruppe, Jahr+1}}^{\max}}{\text{Basisbevölkerung}_{\text{Altersgruppe, Jahr+1}}^{\min}}$ <p>Überweisungsfaktoren für restliche Altersgruppen konstant halten.</p> <p>Änderung der Überweisungsrate mit Formel</p> $\frac{\Sigma \text{ angepasste Überweisungsfaktoren}}{\Sigma \text{ konstante Überweisungsfaktoren}} \times \text{konstante Überweisungsrate}$
<p>Szenario 4: Kompression der Morbidität</p>	<p>Steigender Überweisungsfaktor für Altersgruppe ≥80 mit Formel</p> $\text{Überweisungsfaktor}_{\text{Altersgruppe, Jahr}} \Sigma \frac{\text{Basisbevölkerung}_{\text{Altersgruppe, Jahr+1}}^{\max}}{\text{Basisbevölkerung}_{\text{Altersgruppe, Jahr+1}}^{\min}}$ <p>Sinkender Überweisungsfaktor für Altersgruppen 60-64 und 65-79 mit Formel</p> $\text{Überweisungsfaktor}_{\text{Altersgruppe, Jahr}} \times \frac{\text{Basisbevölkerung}_{\text{Altersgruppe, Jahr+1}}^{\min}}{\text{Basisbevölkerung}_{\text{Altersgruppe, Jahr+1}}^{\max}}$ <p>Überweisungsfaktoren für restliche Altersgruppen konstant halten.</p> <p>Änderung der Überweisungsrate mit Formel</p> $\frac{\Sigma \text{ angepasste Überweisungsfaktoren}}{\Sigma \text{ konstante Überweisungsfaktoren}} \times \text{konstante Überweisungsrate}$
<p>Schritt 3: Anzahl potentieller Aufnahmen auf Intensivstation ermitteln</p>	
<p>Potentielle Aufnahmen auf Intensivstation</p>	<p>Anzahl potentieller Aufnahmen pro Geschlecht und Prognosejahr mit Formel</p> $\Sigma \text{ Basisbevölkerung}_{\text{Geschlecht, Jahr}} \times \text{Überweisungsrate}$ <p>Diese Formel wird für alle demographische Prognosen und Morbiditätsszenarien angewendet. Dabei kommen mitunter die angepassten Überweisungsrate zum Einsatz (siehe Schritt 2).</p>

	<p>Altersgruppenverteilung potentieller Aufnahmen je Geschlecht mit Formel</p> $\text{Basisbevölkerung}_{\text{Altersgruppe, Geschlecht, Jahr}} \times \text{Überweisungsfaktor}_{\text{Altersgruppe, Geschlecht, Jahr}}$ <p>Diese Formel wird für alle demographische Prognosen und Morbiditätsszenarien angewendet. Dabei wird der jeweilige Anteil der Altersgruppen ggf. angepasst, sodass deren Summe 100% ergibt.</p>
Schritt 4: Patientenaufnahme simulieren	
<p>Intensivbetten für beatmete Patienten</p>	<p>Aufnahme beatmeter Patienten pro Geschlecht, Altersgruppe und Prognosejahr aus potentiellen Patienten mit Formel</p> $\text{Potentielle Aufnahmen}_{\text{Geschlecht, Altersgruppe, Jahr}} \times \text{Beatmungsrate}$ <p>Anzahl an Betten für beatmete Patienten pro Geschlecht, Altersgruppe und Prognosejahr mit Formel</p> $\text{Potentielle Aufnahmen}_{\text{Geschlecht, Altersgruppe, Jahr}} \times \text{Beatmungsrate} \times \text{Liegezeit}_{\text{beatmet}} \div \text{Auslastungsquote} \div \text{Tage im Prognosejahr}$ <p>Diese Formeln werden für alle demographische Prognosen und Morbiditätsszenarien angewendet. Die durchschnittliche Beatmungsrate und Liegezeit beatmeter Patienten sowie die Auslastungsquote wurde in der retrospektiven Analyse ermittelt.</p>
<p>Restliche Betten für nicht-beatmete Patienten</p>	<p>Anzahl Aufnahmen nicht-beatmeter Patienten auf restliche Betten pro Prognosejahr mit Formel</p> $\text{Restliche Betten} \times \text{Tage im Prognosejahr} \times \text{Auslastungsquote} \div \text{Liegezeit}_{\text{nicht beatmet}}$ <p>Diese Formel wird für alle demographische Prognosen und Morbiditätsszenarien angewendet. Die durchschnittliche Liegezeit nicht-beatmeter Patienten sowie die Auslastungsquote wurde in der retrospektiven Analyse ermittelt.</p> <p>Altersgruppen- und Geschlechtsverteilung nicht beatmeter Patienten pro Prognosejahr mit Formeln</p>

	<p>1) $\text{Anteil}_{\text{Geschlecht},\text{Jahr}} = \frac{\Sigma \text{Übrige potentielle Patienten}_{\text{Geschlecht},\text{Jahr}}}{\Sigma \text{Übrige potentielle Patienten}_{\text{gesamt},\text{Jahr}}}$</p> <p>2) $\Sigma \text{Nicht beatmete Patienten}_{\text{Geschlecht},\text{Jahr}} = \Sigma \text{Nicht beatmete Patienten}_{\text{gesamt},\text{Jahr}} \times \text{Anteil}_{\text{Geschlecht},\text{Jahr}}$</p> <p>3) $\text{Nicht beatmete Patienten}_{\text{Geschlecht},\text{Altersgruppe},\text{Jahr}} = \Sigma \text{Nicht beatmete Patienten}_{\text{Geschlecht},\text{Jahr}} \times \text{Anteil übrige potentielle Patienten}_{\text{Geschlecht},\text{Altersgruppe},\text{Jahr}}$</p> <p>Diese Formeln werden für alle demographische Prognosen und Morbiditätsszenarien angewendet.</p>
--	---

Schritt 5: Anzahl zusätzlich benötigter Betten berechnen

Zusätzliche Betten	<p>Anzahl zusätzlicher Betten pro Prognosejahr für potentielle Patienten, die im simulierten Aufnahmeprozess nicht aufgenommen wurden, mit Formel</p> $\left(\Sigma \text{Potentielle Patienten}_{\text{Jahr}} - \Sigma \text{Aufgenommene Patienten}_{\text{Jahr}} \right) \times \text{Liegezeit}_{\text{nicht beatmet}} \div \text{Auslastungsquote} \div \text{Tage im Prognosejahr}$ <p>Diese Formel wird für alle demographische Prognosen und Morbiditätsszenarien angewendet. Die durchschnittliche Liegezeit nicht-beatmeter Patienten sowie die Auslastungsquote wurde in der retrospektiven Analyse ermittelt.</p>
--------------------	--

3 Ergebnisse

3.1 Beschreibung der Kohorte

Die aus der IICIP-Datenbank extrahierte Kohorte umfasst insgesamt 14.219 einzelne Aufnahmen. Das Durchschnittsalter der aufgenommenen Patienten betrug für den gesamten Beobachtungszeitraum von 2007-2012 $63,8 \pm 16,3$ Jahre, das mediane Alter 66,8 Jahre mit einem Interquartilsabstand von 53,7-75,8 Jahren. Männliche Patienten stellten dabei mit einem Anteil von 57,4% den größeren Teil der Aufnahmen. Im Durchschnitt verbrachten die Patienten $3,3 \pm 6,8$ Tage auf der Intensivstation, wobei die Aufenthaltszeit durch Ausreißer nach oben jedoch stark verzerrt ist. Die mediane Aufenthaltszeit betrug 0,9 Tage (IQR 0,8-2,6). Dem medianen Alter entsprechend stellten Patienten aus der Altersgruppe der 65-79-jährigen die meisten Aufnahmen, wie die nachfolgende Tabelle zeigt:

Tabelle 8: Prozentuale Verteilung der Aufnahmen nach Altersgruppen und Geschlecht, 2007-2012

Altersgruppe	Männlich	Weiblich	Aufnahmen gesamt
18-24	61,4%	38,6%	2,8%
25-29	62,8%	37,2%	2,0%
30-44	57,8%	42,2%	8,5%
45-59	61,5%	38,5%	22,6%
60-64	65,6%	34,4%	10,3%
65-79	59,7%	40,3%	38,6%
80+	38,2%	61,8%	15,1%

Zwar sind aufgrund der unterschiedlichen Spannweiten der Altersgruppen die relativen Häufigkeiten in Bezug auf die Gesamtkohorte etwas verzerrt, jedoch zeigt sich, dass gerade aus den jüngeren Altersgruppen bis 45 Jahre die wenigsten Aufnahmen entstammten. Im Vergleich zwischen männlichen und weiblichen Patienten zeigt sich in nahezu allen Altersgruppen ein teilweise deutliches Übergewicht männlicher Patienten, welches sich erst in der höchsten Altersgruppe der über 80-Jährigen umkehrt.

Im weiteren Teil der deskriptiven Analyse zur Beschreibung der gesamten Kohorte zeigte sich ein leichter Trend hin zu einer sinkenden Zahl an Aufnahmen bei gleichzeitig steigender Liegedauer. Dieser Trend bestätigt dabei den in der Methodik erwähnten Zusammenhang zwischen Aufnahmezahl und Liegedauer: So sank die Zahl der Aufnahmen im retrospektiv betrachteten Zeitraum von 2007-2012 um insgesamt ca. 500 Aufnahmen, während die durchschnittliche Liegedauer insgesamt um ca. einen halben Tag anstieg (Abbildung 3).

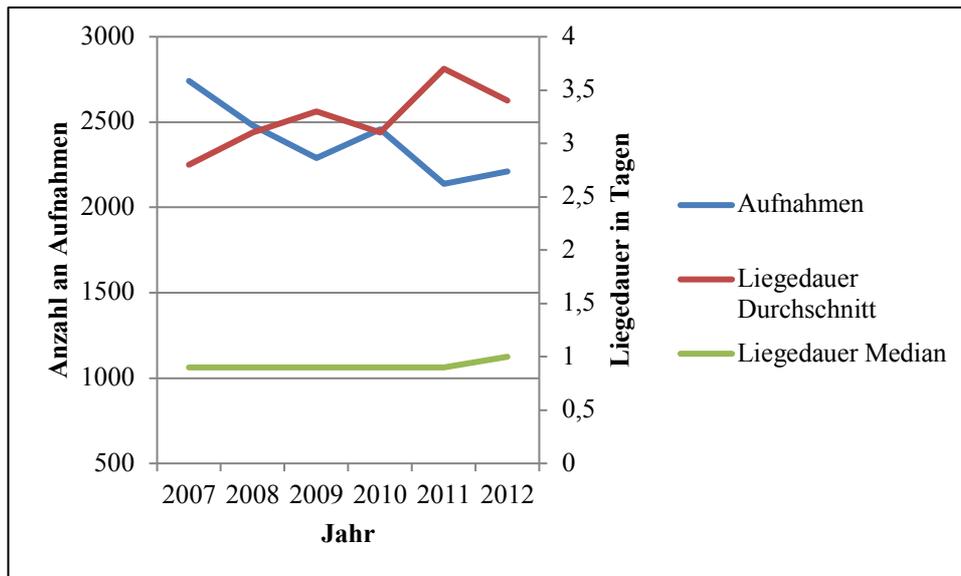


Abbildung 3: Entwicklung der Aufnahmezahl und Liegedauer in den Jahren 2007-2012

Besonders auffällig ist dabei die entgegengesetzte Wachstumsbewegung der Aufnahmezahl und der durchschnittlichen Liegedauer in Tagen. Die mediane Liegedauer blieb in diesen Jahren hingegen bei 0,9 Tagen stabil und stieg nur im Jahr 2012 leicht auf gerundet einen Tag an. Diese Trends sind also ein erster Hinweis auf eine mögliche Veränderung im Patientenkollektiv auf der betrachteten Intensivstation, welche schon bereits vor dem eigentlichen Projektionszeitraum für die Abschätzung der Auswirkungen des demographischen Wandels eingesetzt haben könnte. Der Vergleich des Wachstums der Basisbevölkerung in diesem Zeitraum mit der Veränderung der Überweisungsraten für die Gesamtzahl an aufgenommenen Patienten bestätigt diese Vermutung. Wie aus Abbildung 4 entnommen werden kann, ist die oben gezeigte Verringerung der Aufnahmezahlen nicht etwa durch eine schrumpfende Basisbevölkerung zu erklären, sondern muss durch andere Einflussfaktoren bedingt sein:

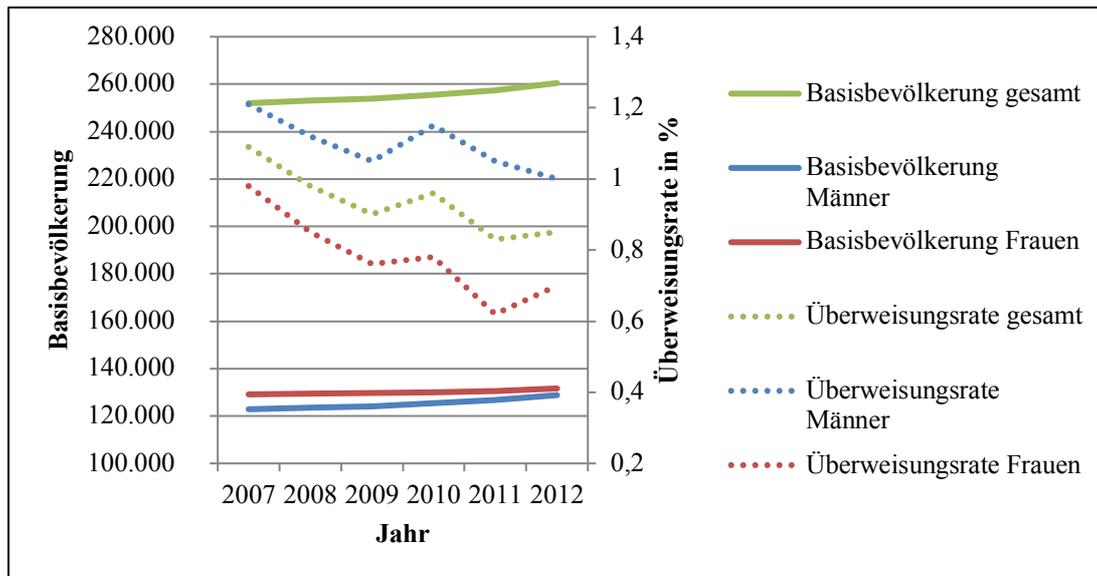


Abbildung 4: Entwicklung der Basisbevölkerung und der Überweisungsraten in den Jahren 2007-2012

Während das Wachstum der Basisbevölkerung gleichmäßig verläuft, zeigt die Veränderung der Überweisungsrate insgesamt und der für Männer und Frauen den gleichen Verlauf wie die Zahl der Aufnahmen aus Abbildung 3. Dies liegt auch darin begründet, dass die Basisbevölkerung im betrachteten Zeitraum lediglich um knapp 3% gewachsen ist und sich eine sinkende Überweisungsrate somit eher in der sinkenden Zahl der Aufnahmen widerspiegelt.

Einen interessanten Aspekt stellt der Geschlechtervergleich dar: Zwar bestand die Basisbevölkerung im betrachteten Zeitraum aus mehr Frauen als Männern, jedoch wurden in allen Jahren verhältnismäßig mehr Männer als Frauen auf die Intensivstation aufgenommen. Die zuvor in Tabelle 1 vorgestellte höhere mittlere Überweisungsrate bei Männern konnte also über den gesamten Zeitraum bestätigt werden, wobei sich auch die Entwicklung der beiden Raten im Geschlechtervergleich nicht wesentlich unterscheidet. Der ähnliche Kurvenverlauf der beiden Überweisungsraten könnte also ebenfalls auf ein generell höheres Risiko, oder aber auch auf eine höhere Aufnahmebereitschaft für männlichen Patienten auf die Intensivstation hindeuten.

Weitere Parameter für die Kohortenbeschreibung stellen die beiden klinischen Scores SAPS II und TISS-10 dar. Diese Maße für die Krankheitsschwere und den Pflegeaufwand eines Patienten wurden, sofern durch einen Mindestaufenthalt von 24 Stunden überhaupt vorhanden, als Mittelwerte für jede einzelne Aufnahme zusammengefasst. Im Falle des SAPS II-Scores wurde eine zusätzliche Neuberechnung ohne die entsprechenden Alterspunkte durchgeführt, um in den späteren altersgruppenbezogenen Analysen die Krankheitsschwere angemessener berücksichtigen zu können. Die Entwicklung dieser beiden Scores im Zeitverlauf ist in Abbildung 5 zusammengefasst:

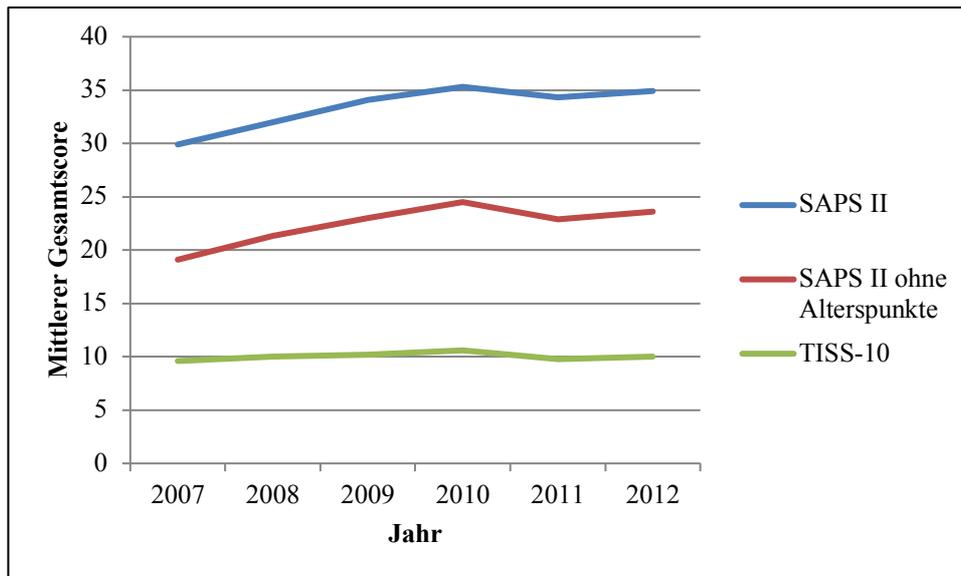


Abbildung 5: Entwicklung der Krankheitsschwere und des Pflegeaufwands in den Jahren 2007-2012

Hier zeigt sich, dass die Verringerung der Aufnahmezahlen sowie die steigende Liegedauer mit einer steigenden Krankheitsschwere einhergingen. Eine Ausnahme stellt das Jahr 2010 dar, in welchem sowohl die Überweisungsrate und damit verbunden die Zahl der Aufnahmen, als auch die mittlere Krankheitsschwere der aufgenommenen Patienten ein relatives Maximum aufwiesen. Im Vergleich der beiden Kurven für den SAPS II-Score zeigt sich ein konstanter Unterschied von ca. 10 Punkten. Nichtsdestotrotz kann die Entwicklung der Krankheitsschwere als ein möglicher wesentlicher Einflussfaktor für die sinkende Aufnahmezahl in den Jahren 2007-2012 trotz steigender Bevölkerungszahl in der Basisbevölkerung gesehen werden. Dessen ungeachtet entwickelte sich der mittlere TISS-Score zur Quantifizierung des Pflegeaufwands nicht simultan zur Krankheitsschwere, auch wenn eine Korrelation dieser beider Parameter logisch erscheint. Auch hier bildet einzig das Jahr 2010 eine Ausnahme, in dem ein minimaler Anstieg zu erkennen ist.

3.2 Antibiotikatherapie

Von den betrachteten 14.219 Aufnahmen konnte bei 4649 Aufnahmen eine Antibiotikatherapie nachvollzogen werden (32,7%). Von diesen behandelten Patienten war im Vergleich zur Gesamtkohorte ein größerer Teil männlich (65,5%), während die Altersgruppenverteilung in etwa der der Gesamtkohorte (Tabelle 8) ähnelte.

In den Jahren 2007-2012 wurden insgesamt 155.071 Verabreichungen von Antibiotika dokumentiert. Die stark rechtsschiefe Verteilung der Antibiotikagaben führt zu einem Durchschnitt von ca. 33 ± 66 , im Median 6 (IQR 4-28) Gaben verschiedener Antibiotika pro Patient. Das

zweite Maß zur Analyse der Antibiotikatherapie, die Therapietage (siehe Definition in Kapitel 2.2.2), listet die Anzahl an eingesetzten verschiedenen Wirkstoffgruppen pro Patiententag auf. Die als Aufenthaltstage mit mindestens einer Minute Aufenthalt definierten Patiententage machten in der Summe 35.486 Tage aus, worauf insgesamt 41.690 Therapietage fielen. Im Durchschnitt waren dies ca. 9 ± 13 Therapietage pro Aufnahme mit Antibiotikatherapie (Median 4 (IQR 2-9)), sodass also pro Patiententag eines behandelten Patienten in der Mehrheit der Fälle Antibiotika verschiedener Wirkstoffklassen eingesetzt wurden. Das wichtigste Maß für die Analyse der Antibiotikatherapie stellen jedoch die exponierten Patiententage dar, also jene Patiententage, in denen eine Antibiotikatherapie unabhängig von der Zahl der Gaben und deren Wirkstoffklassen durchgeführt wurde. Auch hier zeigte sich eine rechtsschiefe Verteilung dieser Größe, mit durchschnittlich ca. 5 ± 7 exponierten Patiententagen (Median 2 (IQR 2-6)). In Relation zu den Patiententagen an sich mit einem Mittelwert von $7,5 \pm 10,1$ und einem Median von 3 (IQR 2-9) zeigt sich, dass bei den meisten mit Antibiotika behandelten Patienten nicht alle Patiententage exponiert waren.

Zusätzlich zu diesen drei Grundparametern zur Beschreibung der Antibiotikaexposition wurde die Einsatzhäufigkeit der einzelnen in der Methodik unter Kapitel 2.2.2 aufgeführten Wirkstoffklassen untersucht. Hierzu wurde die Gesamtzahl der Therapietage herangezogen, da dieses Maß von der Einsatzhäufigkeit der verschiedenen Wirkstoffklassen abhängig ist, und entsprechend der jeweiligen relativen Häufigkeit der einzelnen Wirkstoffklassen unterteilt (Abbildung 6).

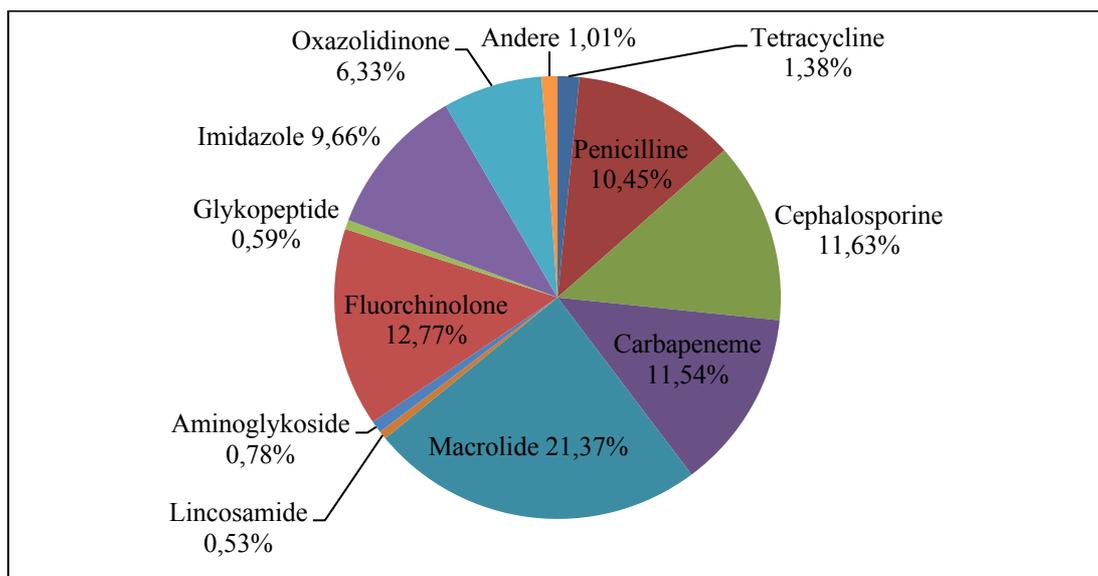


Abbildung 6: Prozentuale Verteilung der Therapietage nach Wirkstoffklassen, 2007-2012

Die mit Abstand am häufigsten eingesetzte Wirkstoffklasse war die der Makrolide, wobei hierunter mit Erythromycin auch ein häufig eingesetztes Prokinetikum fällt. Ebenfalls häufig verabreicht wurden Penicilline, Cephalosporine, Carbapeneme, Fluorchinolone und Imidazole, während die anderen Wirkstoffklassen, mit Ausnahme von Oxazolidinonen, fast nie zum Einsatz in der Antibiotikatherapie kamen.

Für den Altersgruppenvergleich wurde zunächst die mittlere Behandlungshäufigkeit betrachtet, inklusive zusätzlicher Aufschlüsselung nach männlichen und weiblichen Patienten (Abbildung 7).

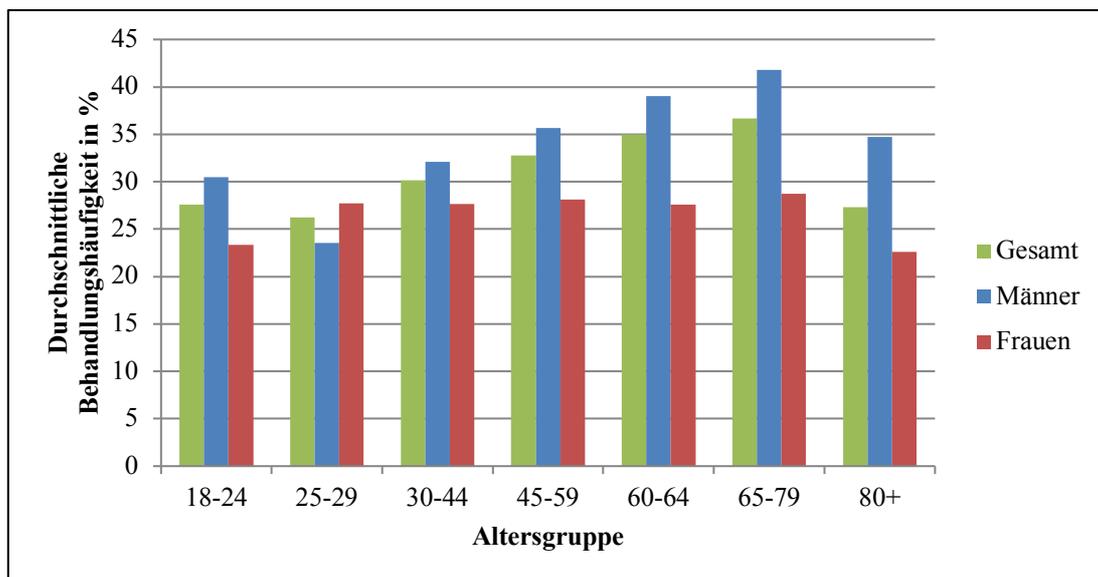


Abbildung 7: Durchschnittliche Behandlungshäufigkeit mit Antibiotika nach Geschlecht und Altersgruppe, 2007-2012

Auffällig ist in der Altersgruppenverteilung zunächst die stets höhere Behandlungshäufigkeit bei männlichen Patienten, mit Ausnahme der Altersgruppe der 25-29-jährigen. Des Weiteren ist ein Trend erkennbar, der bei zunehmendem Alter mit einer höheren Behandlungshäufigkeit einhergeht und schließlich erst bei der höchsten Altersgruppe rückläufig wird. Ausschlaggebend hierfür sind jedoch auch wiederum ausschließlich männliche Patienten, da dieser Trend bei weiblichen Patienten nicht zu erkennen ist und hier die Behandlungshäufigkeit für die Antibiotikatherapie nahezu konstant blieb.

Setzt man nun die durchschnittlichen Behandlungshäufigkeiten in Relation zu der Größe der Altersgruppen aus Tabelle 8, so zeigt sich, dass in der Altersgruppe der 65-79-jährigen, aus der die meisten Aufnahmen stammten, auch die meisten Ressourcen in Bezug auf Antibiotika verbraucht wurden. Jedoch ist die Behandlungshäufigkeit an sich noch kein alleiniger Hinweis auf

eine erhöhte Behandlungsintensität in dieser Altersgruppe. Vielmehr muss die unter Antibiotikatherapie exponierte Zeit in Relation zur gesamten Aufenthaltszeit des Patienten gesetzt werden, um genauere Aussagen über die Antibiotikatherapie und ihre Intensität als Maß für den Ressourcenverbrauch im Altersgruppenvergleich machen zu können. Aus diesem Grund wurde zusätzlich neben der einfachen Berechnung der Behandlungshäufigkeiten auch das Ratenverhältnis exponierter Patiententage im Altersgruppenvergleich mittels einer zero-inflated Poisson-Regression berechnet. Dabei diente die Altersgruppe 80+ als Referenzkategorie (Tabelle 9):

Tabelle 9: Ratenverhältnisse exponierter Patiententage mit 95%-Konfidenzintervall nach zero-inflated Poisson-Regression nach Altersgruppen, 2007-2012

Altersgruppe	Zero-inflated Poisson-Regression, un-adjustiert	Zero-inflated Poisson-Regression, adjustiert [§]
18-24 vs. 80+	1,04 (0,95-1,14)	1,05 (0,95-1,15)
25-29 vs. 80+	1,22 (1,11-1,34)**	1,16 (1,05-1,28)*
30-44 vs. 80+	1,07 (1,01-1,14)*	1,04 (0,98-1,11)
45-59 vs. 80+	1,03 (0,97-1,08)	1,00 (0,94-1,06)
60-64 vs. 80+	1,04 (0,97-1,10)	0,98 (0,92-1,04)
65-79 vs. 80+	1,03 (0,97-1,08)	1,01 (0,96-1,07)
80+ (Referenz)	1	1

[§]adjustiert nach Geschlecht, SAPS II-Score, TISS-Score und Jahr, *p<0,05, **p<0,0001

Die Ratenverhältnisse der zero-inflated Poisson-Regression zeigen, dass in nahezu allen Altersgruppen eine gleichhohe Intensität der Antibiotikatherapie vorlag. Einzige Ausnahme bildet die Gruppe der 25-29-jährigen: hier fielen auf 100 exponierte Patiententage über 80-jähriger Patienten nach Adjustierung nach Geschlecht, Krankheitsschwere, Pflegeaufwand und Jahr 116 exponierte Patiententage. Somit zeigt sich, dass trotz der oben gezeigten unterschiedlichen Behandlungshäufigkeiten, und damit letztlich auch unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten einer Behandlung mit Antibiotika, die Intensität bei einmal begonnener Therapie im Altersgruppenvergleich bis auf diese Ausnahme nicht signifikant unterschiedlich war. Im Hinblick auf den Ressourcenaufwand und dessen Abschätzung für den zweiten Teil dieser Arbeit bleibt jedoch die Betrachtung der tatsächlichen Behandlungshäufigkeit mit Antibiotika erforderlich.

3.3 Beatmungstherapie

Von den 14.219 Aufnahmen der gesamten Kohorte konnten mittels der Kriterien für die Identifizierung beatmeter Patienten 5006 Aufnahmen mit Einsatz einer Beatmungstherapie gefunden werden (35,2%). Während bei der Antibiotikatherapie im Vergleich zur Gesamtkohorte ein

wesentlich höherer Anteil männlicher Patienten behandelt wurde, lag der Anteil männlicher Patienten mit Beatmungstherapie mit 59,1% in etwa bei dem der Gesamtkohorte. Auch die Altersgruppenverteilung zeigte hier ebenfalls nur geringfügige Abweichungen.

Ein anderes Bild ergibt sich beim Vergleich der mittleren Behandlungshäufigkeiten im Altersgruppenvergleich. Während bei der Antibiotikatherapie ein Trend zu einer höheren Behandlungshäufigkeit bei fortschreitendem Alter zu erkennen war, sind es bei der Beatmungstherapie eher die jüngeren Patienten, in denen die Häufigkeit einer Behandlung vergleichsweise hoch war (Abbildung 8):

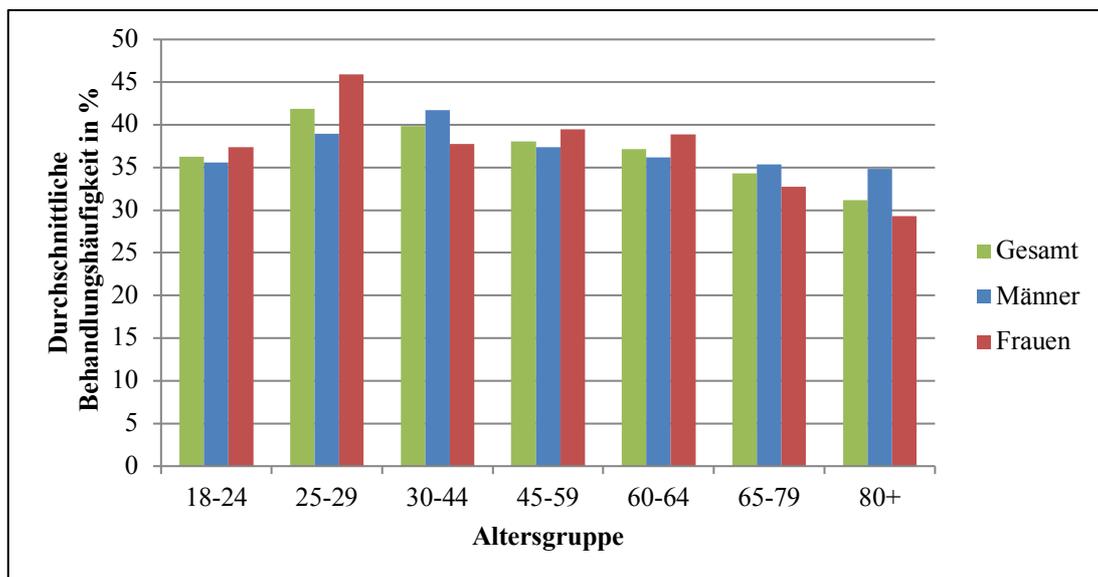


Abbildung 8: Durchschnittliche Behandlungshäufigkeit maschineller Beatmung nach Geschlecht und Altersgruppe, 2007-2012

Zudem ist auffällig, dass im Gegensatz zur Antibiotikatherapie in den meisten Altersgruppen der Anteil beatmeter Frauen höher war als der Anteil beatmeter Männer. Insgesamt stellen jedoch Männer mit knapp 60% die meisten aller beatmeten Patienten. Dies liegt vor allem daran, dass in der größten Altersgruppe der 65-79-jährigen die Behandlungshäufigkeit männlicher Patienten höher war als die der weiblichen. Dennoch kann bei Betrachtung der Verteilung eine Interaktion zwischen dem Geschlecht und Alter der Patienten nicht ausgeschlossen werden, da bei älteren Patienten ab 65 Jahren, welche mehr als die Hälfte aller Aufnahmen stellten (siehe Tabelle 8), der Anteil beatmeter männlicher Patienten höher war, bei jüngeren Patienten hingegen der Anteil beatmeter Frauen. In Bezug auf die Gesamtbehandlungshäufigkeit ist eine rechtsschiefe Verteilung zu erkennen, die ab dem 30. Lebensjahr stetig abnimmt. Im Vergleich zur Antibiotikatherapie war die Behandlungshäufigkeit für Beatmung jedoch bei nahezu allen

Altersgruppen höher, sodass im Zeitraum von 2007 bis 2012 bei mindestens einem Drittel der Aufnahmen jeder Altersgruppe eine Beatmungstherapie durchgeführt wurde.

Für den Vergleich der Beatmungszeiten wurden zwei Parameter gewählt: die aufsummierte Beatmungszeit pro 100 Aufenthaltsstunden sowie, aufgrund der stark rechtsschiefen Verteilung, die mediane Beatmungszeit in Stunden. Die nachfolgende Tabelle listet diese Parameter altersgruppenabhängig für beatmete Patienten auf:

Tabelle 10: Beatmungszeiten beatmter Patienten nach Altersgruppen und Geschlecht, 2007-2012

Altersgruppe	Beatmungsstunden pro 100 Aufenthaltsstunden	Mediane Beatmungszeit in Stunden
18-24	42,9	17,9 (IQR 3,5-86,3)
25-29	55,9	21,2 (IQR 4,2-168,9)
30-44	50,6	17,7 (IQR 3,3-123,8)
45-59	54,4	21,6 (IQR 4,8-115,0)
60-64	57,9	18,0 (IQR 4,2-112,6)
65-79	55,5	19,9 (IQR 5,3-94,7)
80+	51,1	15,7 (IQR 5,0-57,2)

Beim Vergleich der beiden Parameter zwischen den verschiedenen Altersgruppen lässt sich kein direkter Zusammenhang erkennen. Bis auf die jüngste Altersgruppe der 18-24-jährigen zeigt sich in allen anderen Altersgruppen, dass in der Summe knapp mehr als die Hälfte der Aufenthaltszeit exponiert war. Auch die Abstände der in der Summe unter Beatmungstherapie verbrachten Aufenthaltszeit sind bei diesen Altersgruppen mit einer Spannweite von 7,3 Stunden eher marginal. Der Vergleich der medianen Beatmungszeit zeigt ebenfalls keinen direkten Zusammenhang mit dem Alter der beatmeten Patienten. Zudem ist zu erkennen, dass die unter Beatmungstherapie verbrachte Aufenthaltszeit nicht deckungsgleich mit einer entsprechend hohen bzw. niedrigen medianen Beatmungszeit ist. Während in der Altersgruppe der 60-64-jährigen mit 57,9% der größte Anteil der Aufenthaltszeit unter Beatmung verbracht wurde, war deren mediane Beatmungszeit von 18 Stunden lediglich die vierthöchste unter den sieben Altersgruppen. So war die Beatmungszeit bei 45-59- und 25-29-jährigen beatmeten Patienten mit 21,6 bzw. 21,2 Stunden am höchsten, während die ältesten Patienten bei einer medianen Beatmungszeit von 15,7 Stunden am kürzesten beatmet wurden.

So könnte die mediane Beatmungszeit in Zusammenhang mit der unter Beatmung verbrachten Aufenthaltszeit an sich ein erster Hinweis auf die Behandlungsintensität sein. Jedoch empfiehlt

sich auch hier die Hinzunahme weiterer Parameter, die die Beatmungszeit bzw. die Entscheidung für eine Beatmungstherapie wesentlich beeinflussen können. Wie in der Analyse der Antibiotikatherapie wurde auch hier zusätzlich zu der deskriptiven Auswertung der Beatmungszeiten eine zero-inflated Poisson-Regression durchgeführt, welche nach den zusätzlichen Cofaktoren Geschlecht, Krankheitsschwere, Pflegeaufwand und dem Jahr der Behandlung adjustiert. Die höchste Altersgruppe der über 80-jährigen diente auch hier als Referenzkategorie (Tabelle 11).

Tabelle 11: Ratenverhältnisse der Beatmungsstunden mit 95%-Konfidenzintervall nach zero-inflated Poisson-Regression nach Altersgruppen, 2007-2012

Altersgruppe	Zero-inflated Poisson-Regression, un-adjustiert	Zero-inflated Poisson-Regression, adjustiert [§]
18-24 vs. 80+	0,84 (0,82-0,86)**	0,88 (0,86-0,90)**
25-29 vs. 80+	1,09 (1,07-1,12)*	0,97 (0,95-0,99)*
30-44 vs. 80+	0,99 (0,98-1,00)	0,94 (0,93-0,96)*
45-59 vs. 80+	1,06 (1,05-1,08)*	1,06 (1,04-1,07)*
60-64 vs. 80+	1,13 (1,12-1,15)*	1,08 (1,07-1,10)*
65-79 vs. 80+	1,09 (1,07-1,10)*	1,06 (1,05-1,08)*
80+ (Referenz)	1	1

[§]adjustiert nach Geschlecht, SAPS II-Score, TISS-Score und Jahr, *p<0,05, **p<0,0001

Während für die Antibiotikatherapie keine nennenswerten Unterschiede in der Behandlungsintensität festgestellt werden konnten, zeigen die Ergebnisse des adjustierten Modells für die Beatmungstherapie eine klare Unterteilung auf. Verglichen mit 100 Beatmungsstunden über 80-jähriger Patienten wurden auf der einen Seite jüngere Patienten bis zu einem Alter von einschließlich 44 Jahren über eine geringere Zeit beatmet, wenngleich auch ihre mediane Beatmungszeit stets höher war (siehe Tabelle 10). Auf der anderen Seite findet sich eine höhere Behandlungsintensität bei allen anderen Altersgruppen ab einem Alter von 45 bis einschließlich 79 Jahren. Auch diese Patienten hatten also nicht nur eine höhere mediane Beatmungszeit, sondern wurden unter Bezugnahme der Aufenthaltszeit und der genannten Cofaktoren also auch intensiver behandelt. Allerdings zeigt sich anhand der Ratenverhältnisse, dass die Unterschiede in der Therapieintensität eher gering sind.

Als letztes kann noch die Behandlungshäufigkeit der Antibiotikatherapie mit der der Beatmungstherapie verknüpft werden. Dies ist insofern wichtig, da für die im Anschluss vorgestellten Projektionen beatmete Patienten bevorzugt aufgenommen werden und somit die Häufigkeit der Antibiotikatherapie in gewisser Weise von der Beatmungstherapie abhängig ist. Wie die

nachfolgende Tabelle zeigt, war eine Antibiotikatherapie bei beatmeten Patienten wesentlich wahrscheinlicher als bei nichtbeatmeten Patienten:

Tabelle 12: Behandlungshäufigkeiten für Antibiotika bei beatmeten und nicht beatmeten Patienten, 2007-2012

Altersgruppe	Männlich			Weiblich		
	Beatmet	Nicht beatmet	p-Wert	Beatmet	Nicht beatmet	p-Wert
18-24	52,3%	17,5%	<0.0001	50,0%	6,3%	<0.0001
25-29	51,4%	7,5%	<0.0001	45,8%	13,8%	<0.05
30-44	53,8%	15,7%	<0.0001	50,3%	13,6%	<0.0001
45-59	56,6%	22,6%	<0.0001	50,4%	13,7%	<0.0001
60-64	56,8%	28,4%	<0.0001	42,3%	17,3%	<0.0001
65-79	57,0%	32,9%	<0.0001	48,5%	18,5%	<0.0001
80+	52,3%	25,8%	<0.0001	42,1%	14,5%	<0.0001

Was sich bereits in der allgemeinen Analyse zur Antibiotikatherapie bezüglich der Behandlungshäufigkeiten gezeigt hat, wird auch bei Aufteilung nach Beatmungsstatus bestätigt: In nahezu allen Altersgruppen findet sich eine höhere Behandlungshäufigkeit der Antibiotikatherapie bei männlichen im Vergleich zu weiblichen Patienten. Dabei erhielt stets mehr als die Hälfte der beatmeten männlichen Patienten in allen Altersgruppen zusätzlich eine Antibiotikatherapie, während ein solcher Anteil bei weiblichen beatmeten Patienten lediglich in den beiden Altersgruppen zwischen 30-59 Jahren beobachtet werden kann. Der höchste Anteil der mit Antibiotika behandelten, aber nicht beatmeten Patienten findet sich in der Altersgruppe der 65-79-jährigen männlichen Patienten, in der ca. ein Drittel Antibiotika erhielt.

3.4 Nierenersatzverfahren

Im Beobachtungszeitraum konnten von den 14.219 Aufnahmen nach der in Kapitel 2.2.4 beschriebenen Methode insgesamt 292 Fälle mit Nierenersatzverfahren identifiziert werden (2,1%). Von diesen Fällen war die überwiegende Mehrheit männlich (69,2%). Im Gegensatz zur Gesamtkohorte bzw. zur Subgruppe der mit Antibiotika oder Beatmungstherapie behandelten Patienten unterscheidet sich die Altersgruppenverteilung dieser Patienten dahingehend, dass ein wesentlich geringerer Teil 80 Jahre oder älter war (8,6% vs. 15,1% in der Gesamtkohorte). Die fehlenden Prozentpunkte teilen sich in etwa gleichmäßig auf die anderen Altersgruppen auf. Ein Großteil der Patienten mit Nierenersatzverfahren war zudem zusätzlich beatmet (264 (90,4%)), womit im Umkehrschluss bei 5,3% der beatmeten Patienten zusätzlich ein Nierenersatzverfahren durchgeführt wurde.

Das Maß zur Quantifizierung des Ressourcenaufwands ist die von der Liegedauer abhängige Einsatzhäufigkeit eines Nierenersatzverfahrens im Verlauf des Aufenthalts eines Patienten. Pro Aufenthaltstag wurde also, sofern zutreffend, ein Tag mit Nierenersatzverfahren gezählt. Die durchschnittliche Aufenthaltszeit betrug $16,8 \pm 18,2$ Tage, der Median lag bei 11,6 (IQR 4,9-22,1) Tagen. Insgesamt kamen auf die gerundet 4900 Aufenthaltstage dieser 292 Fälle 2290 Tage mit Nierenersatzverfahren, was einen Anteil exponierter Aufenthaltszeit von 46,7% ausmacht. Im Durchschnitt wurden $7,8 \pm 8,9$ Tage mit Nierenersatzverfahren ermittelt, im Median 4 (IQR 2-11) Tage.

Wie in der Darstellung der Methodik zu diesem Unterkapitel beschrieben, wurde aufgrund der vergleichsweise geringen Fallzahl der Nierenersatzverfahren auf einen umfangreicheren Altersgruppenvergleich verzichtet. Maßgeblich für die Analyse der Behandlungsintensität war in diesem Fall der Beatmungsstatus der behandelten Patienten. Die zero-inflated Poisson-Regression lieferte für den Vergleich zwischen beatmeten und nicht beatmeten Patienten folgende Ergebnisse:

Tabelle 13: Ratenverhältnisse der Häufigkeit von Nierenersatzverfahren mit 95%-Konfidenzintervall nach zero-inflated Poisson-Regression nach Beatmungsstatus, 2007-2012

Beatmungsstatus	Zero-inflated Poisson-Regression, unadjustiert	Zero-inflated Poisson-Regression, adjustiert [§]
Beatmet vs. nicht beatmet	1,47 (1,06-2,05)*	0,92 (0,69-1,24)

[§]adjustiert nach Geschlecht, Alter in Jahren, SAPS II-Score, TISS-Score und Jahr, * $p < 0,05$

Hier zeigt sich, dass die Cofaktoren einen wesentlich größeren Einfluss auf die Behandlungsintensität haben als es bei der Antibiotika- bzw. Beatmungstherapie der Fall war. Im Vergleich zwischen beatmeten und nicht beatmeten Patienten zeigte sich bei ersteren noch eine wesentlich höhere Behandlungsintensität: auf einen Tag mit Nierenersatzverfahren im Laufe des Aufenthalts nicht beatmeter Patienten kamen 1,47 Nierenersatzverfahren bei beatmeten Patienten. Diese höhere Behandlungsintensität konnte bei Patienten mit gleicher Wahrscheinlichkeit für eine Behandlung mit Nierenersatzverfahren und nach Berücksichtigung von Unterscheiden hinsichtlich des Geschlechtes, Alter, SAPS II- und TISS-10-Scores und Behandlungsjahr jedoch nicht mehr gefunden werden.

3.5 Ressourcenprojektion zur demographischen Basisprognose

Die Darstellung der Ressourcenprojektion erfolgt anhand der Szenarien zur demographischen Entwicklung der Bevölkerung der Stadt Mannheim (siehe Kapitel 2.1.1). Für jedes der drei Szenarien *Basisprognose*, *steigender Zuzug* und *sinkender Zuzug* wurde die zu erwartende Zahl der potentiell möglichen Aufnahmen anhand der vier in den Kapiteln 1.1 bzw. 2.3.2 sowie Abbildung 1 vorgestellten Szenarien zur Morbiditätsentwicklung errechnet. Hinzu kommen die aufgrund der begrenzten Kapazitäten geschätzte Zahl an tatsächlichen Aufnahmen, die demographische Zusammensetzung der Patienten, deren Ressourcenaufwand, die Zahl der nicht aufgenommenen Patienten sowie die Zahl der Betten, die zusätzlich bereitgestellt werden müssten, um letztere ebenfalls aufzunehmen. Dabei sei nochmals erwähnt, dass es aufgrund von Rundungen insbesondere bei Berechnungen auf Grundlage von prozentualen Anteilen zu minimalen Abweichungen in den dargestellten Zahlen kommen kann. Dies betrifft die geschätzten Zahlen zukünftiger Intensivpatienten sowohl innerhalb einzelner Tabellen, als auch im Vergleich zwischen verschiedenen Tabellen.

Entwickelt sich die Basisbevölkerung so wie in der *Basisprognose* der Stadt Mannheim errechnet, d.h. also bei gleichbleibender Nettomigration und steigender Lebenserwartung, so könnten im Jahr 2036 je nach Morbiditätsszenario zwischen 2716 und 3053 Patienten eine intensivmedizinische Therapie benötigen (Abbildung 9).

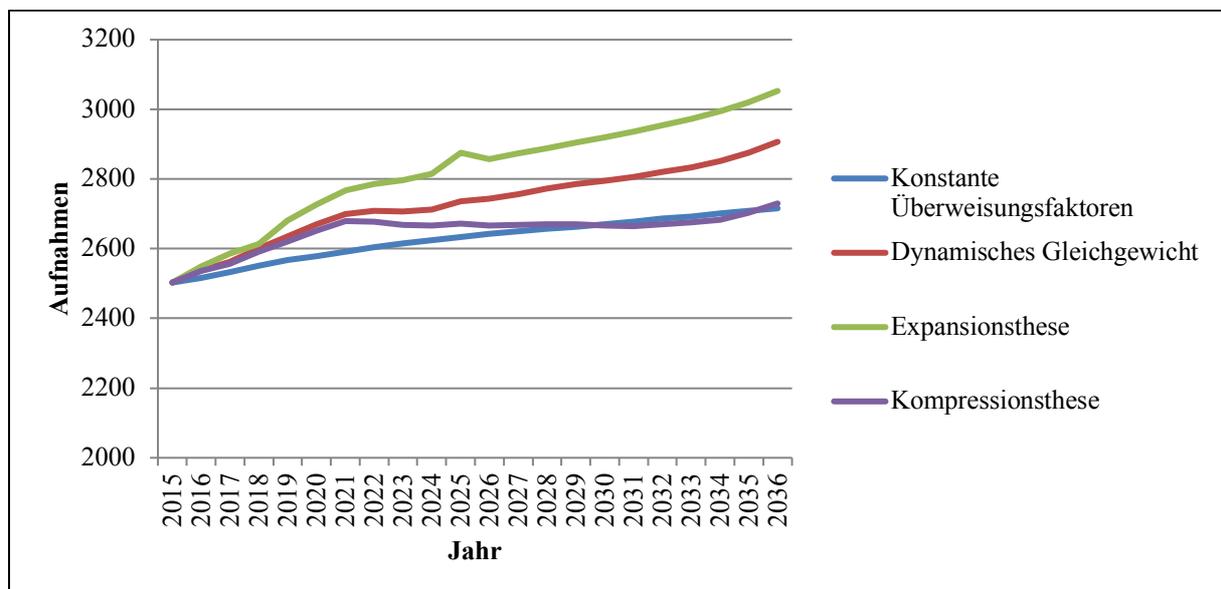


Abbildung 9: Projektion potentieller Aufnahmezahlen bei demographischer Basisprognose

Bei „Expansion der Morbidität“, also steigendem Überweisungsfaktor über 80-Jähriger und gleichbleibenden Überweisungsfaktoren in allen anderen Altersgruppen, würde die mögliche

Aufnahmezahl erwartungsgemäß am stärksten ansteigen, während die projizierten Zahlen bei den Szenarien „Dynamisches Gleichgewicht“ und „Kompressionsthese“ bis zum Jahr 2021 relativ ähnlich blieben und erst ab dem Jahr 2022 weniger Patienten bei Kompression der Morbidität eine intensivmedizinische Therapie benötigen könnten. Durch die nicht veränderten Überweisungsfaktoren im Szenario „Konstante Überweisungsfaktoren“ verläuft die Kurve der projizierten Aufnahmezahlen recht gleichmäßig. Auffällig ist, dass sich diese Kurve zweimal mit der der Kompressionsthese schneidet. So bliebe die Zahl möglicher Patienten bei Kompression der Morbidität, bei welcher das Risiko der 60-79-jährigen sukzessive sinkt und nur das Risiko der über 80-jährigen steigt, zwischen den Jahren 2022 und 2033 relativ konstant und stiege erst in den letzten drei Jahren der Projektion wieder etwas an, bis sie im Jahr 2036 wieder die Aufnahmezahl bei konstanten Überweisungsfaktoren überträfe.

Wie in der Methodik in Kapitel 2.3.7 erläutert, stellt die Zahl der potentiell möglichen Intensivpatienten nur den einen Teil dieser Projektion dar; entscheidender für eine realistische Einschätzung des künftigen Ressourcenaufwands ist die geschätzte Zahl der Patienten, die eine Intensivstation bestimmter Größe aufnehmen kann. Ausgehend von einer Bevorzugung beatmeter Patienten wurde diese Zahl unter Verwendung der in Tabelle 6 vorgestellten Formel, welche die prognostizierte Zahl beatmeter Patienten jeder Altersgruppe jeden Geschlechts, deren retrospektiv ermittelte durchschnittliche Aufenthaltszeit, die *Auslastungsquote*, sowie die Zahl der Tage im jeweiligen Jahr berücksichtigt, berechnet. Zur einfacheren Übersicht stellt die nachfolgende Tabelle die potentiellen Aufnahmezahlen aus der vorangegangenen Abbildung 9 den geschätzten Aufnahmezahlen für die Jahre 2020, 2025, 2030 und 2036 gegenüber:

Tabelle 14: Potentielle und geschätzte Aufnahmezahlen bei demographischer Basisprognose im Vergleich

Szenario	2020		2025		2030		2036	
	pot.	gesch.	pot.	gesch.	pot.	gesch.	pot.	gesch.
Konstanter Überweisungsfaktor	2579	1831 (71,0%)	2634	1846 (70,1%)	2670	1859 (69,6%)	2716	1872 (68,9%)
Dynamisches Gleichgewicht	2671	1863 (69,8%)	2737	1880 (68,7%)	2794	1672 (59,8%)	2907	1708 (58,8%)
Expansionsthese	2727	1883 (69,1%)	2875	1478 (51,4%)	2920	1492 (51,1%)	3053	1308 (42,8%)
Kompressionsthese	2652	1856 (70,0%)	2672	1860 (69,6%)	2666	1854 (69,5%)	2730	1676 (61,4%)

pot.=potentielle Aufnahmezahlen, gesch.=geschätzte Aufnahmezahlen

Die geschätzten, also prognostizierten realistisch zu erwartenden Aufnahmezahlen für die hier betrachtete Intensivstation unterscheiden sich unabhängig vom jeweiligen Szenario teilweise deutlich von der Zahl aller potenziell möglichen Aufnahmen. Dabei wird die Diskrepanz mit zunehmender Zeit größer, da über den gesamten Zeitraum von einer gleichgroßen Intensivstation ausgegangen wird. Dies hat letztlich auch Auswirkungen auf die Zusammensetzung des Patientenkollektivs. Da von einer Bevorzugung beatmeter Patienten ausgegangen wird, ist es zudem wahrscheinlich, dass in manchen Szenarien auch die Häufigkeit von Aufnahmen mit Beatmung steigen würde (siehe Abbildung 11).

Zunächst wird jedoch die Altersstruktur der wahrscheinlich aufgenommenen Patienten dargestellt. Hierzu wurde die übriggebliebene Bettenzahl hinzugezogen, die sich nach simulierter Aufnahme aller möglichen Patienten mit Beatmungstherapie ergibt. Wie in der Methodik in Kapitel 2.3.7 beschrieben, berechnet sich die Alters- und Geschlechtsstruktur dieser Patienten anhand der Zahl der potentiell möglichen Patienten nach Abzug der bereits aufgenommen mit Beatmungstherapie. Somit ergaben sich für die vier Morbiditätsszenarien bei demographischer Basisprognose folgende Patientenkollektive, die für die Jahre 2020, 2025, 2030 und 2036 erwartet werden können:

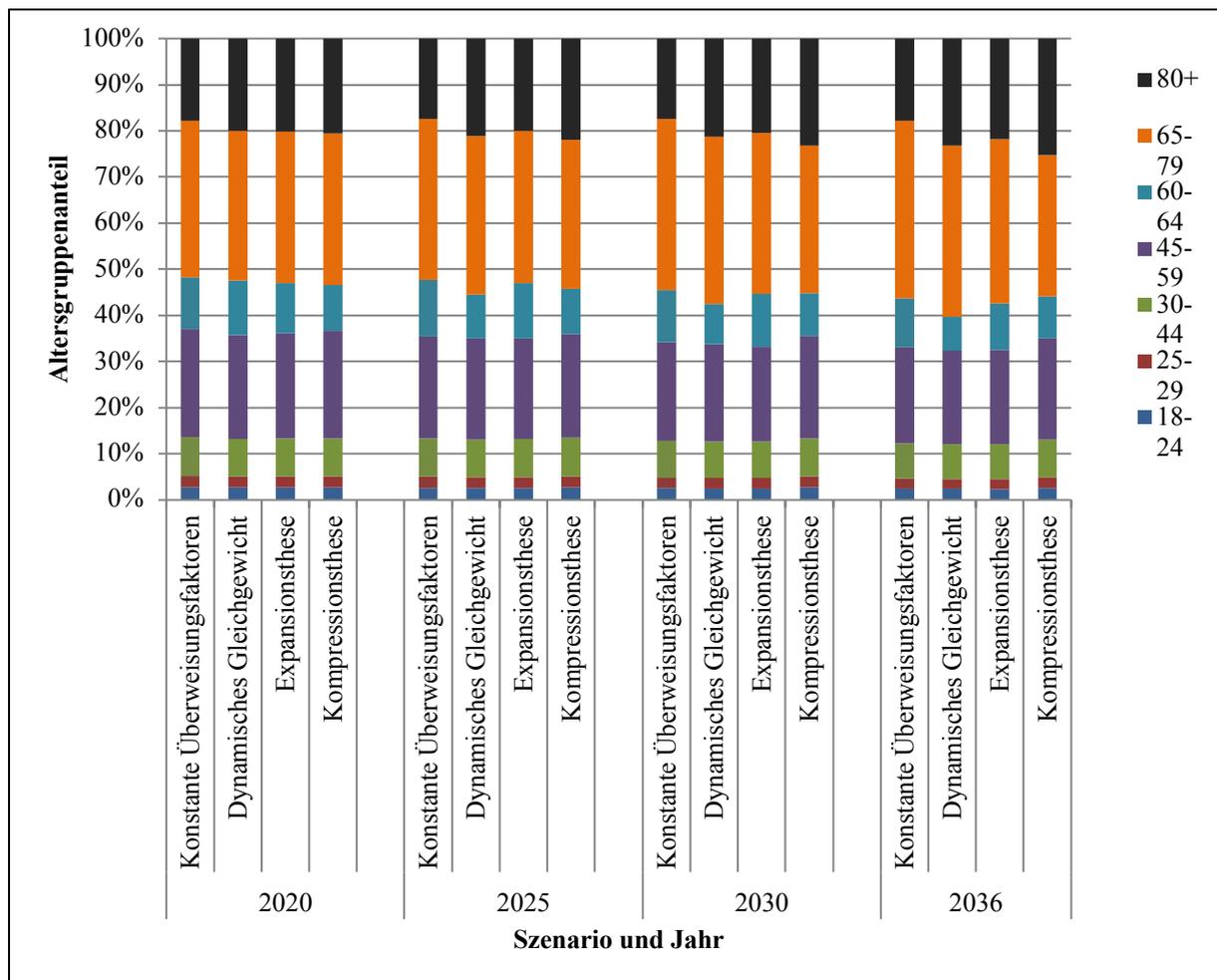


Abbildung 10: Geschätzte Altersstruktur der Intensivpatienten nach Morbiditätsszenario bei demographischer Basisprognose

Im Zeitverlauf wäre dabei bei allen vier Szenarien zur demographischen Basisprognose eine weitere Alterung des Patientenkollektivs beobachtbar. So würde der Anteil der Patienten mit einem Alter über dem retrospektiv errechneten Altersdurchschnitt von 63,8 Jahren, also jene in den Altersgruppen 65-79 und 80+, im Jahr 2020 noch bei knapp über 50% liegen und im Jahr 2036 bei allen Szenarien einen Anteil von knapp 60% erreichen. Auch der Anteil der hochbetagten Patienten von über 80 Jahren würde in den meisten Szenarien zunehmen, sodass diese Patienten je nach Szenario bis zu ein Fünftel aller Intensivpatienten stellen könnten. Nahezu unverändert bleiben die, wenn auch stets kleinen, Anteile jüngere Patienten bis einschließlich 29 Jahre.

Wie bereits erwähnt, ist die geschätzte Zahl der wahrscheinlich aufgenommenen Patienten sowie deren demographische Zusammensetzung maßgeblich von der Zahl der beatmeten Patienten abhängig, da diese in der Simulation als erstes aufgenommen werden. Somit ist es also auch wahrscheinlich, dass sich je nach Morbiditätsszenario der Anteil beatmeter Patienten ändern

wird. Abbildung 11 zeigt den Anteil beatmeter und nicht beatmeter Patienten für die vier Jahre, in welchen die Zahl der aufgenommenen Patienten geschätzt wurde:

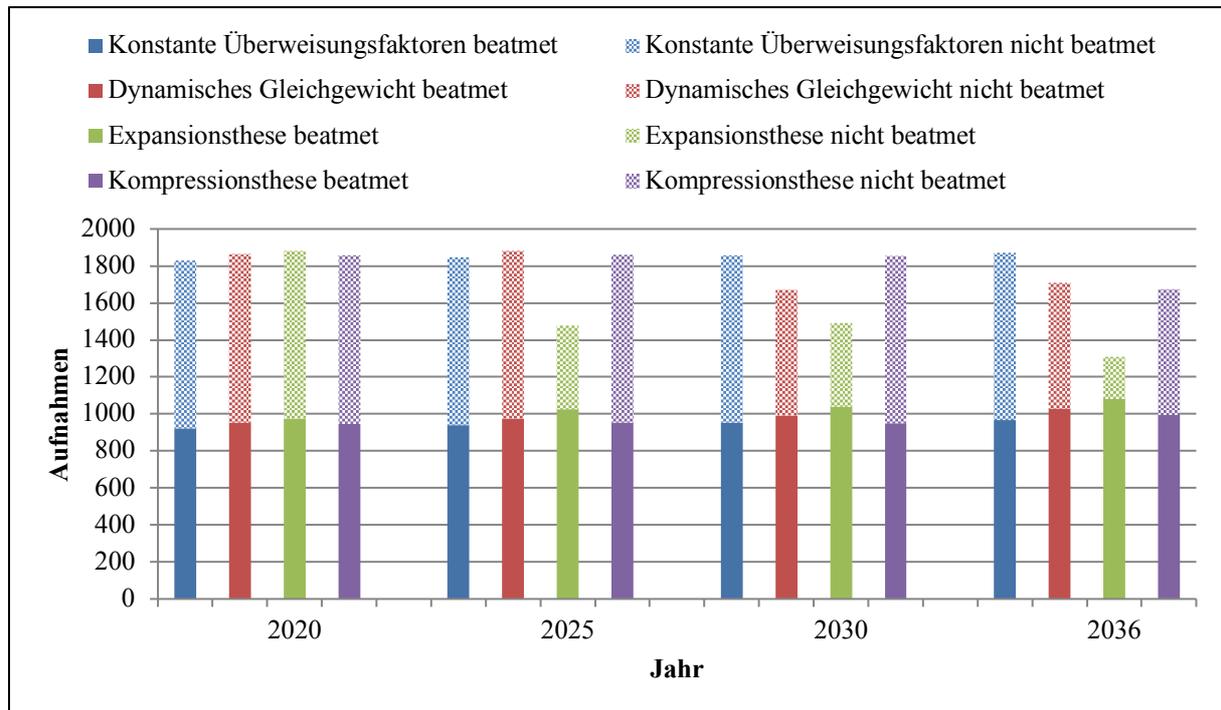


Abbildung 11: Geschätzte Aufnahmezahlen mit Behandlungshäufigkeit für Beatmung bei demographischer Basisprognose

Während im Szenario der konstanten Überweisungsfaktoren stets ca. die Hälfte der Patienten beatmet würde, stiege dieser Anteil im Szenario zur Expansionsthese von ebenfalls ca. 50% auf knapp über 80%. Die Behandlungshäufigkeiten in den Szenarien „Dynamisches Gleichgewicht“ und „Kompressionsthese“ entwickelten sich in etwa gleich, von jeweils ca. 50% im Jahr 2020 auf ca. 60% im Jahr 2036. Die absoluten Häufigkeiten beatmeter Patienten blieben jedoch nahezu konstant, einzig im Szenario zur Expansionsthese würde diese Zahl zwischen den Jahren 2020 und 2036 um knapp 100 Patienten zunehmen.

Um den künftig zu erwartenden Ressourcenaufwand für die wahrscheinlichen Aufnahmen noch genauer abbilden zu können, zeigen die nachfolgenden Tabellen Beispielergebnisse für alle berücksichtigten Therapiemodalitäten. Hierzu ist neben der bereits vorgestellten Behandlungshäufigkeit für Beatmung (siehe Abbildung 8) zudem auch die Behandlungshäufigkeit für Antibiotika wichtig, die sich ebenfalls zwischen beatmeten und nicht beatmeten Patienten unterscheidet (siehe Tabelle 12). Zunächst wird im Folgenden exemplarisch anhand des Projektionsjahrs 2030 der mit der Gesamtzahl der erwarteten Aufnahmen verbundene Ressourcenaufwand pro Szenario gezeigt:

Tabelle 15: Geschätzter Ressourcenaufwand im Jahr 2030 bei demographischer Basisprognose

Szenario	Aufnahmen	Davon beatmet	Beatmung und Antibiotika	Beatmung und Nierenersatz	Nur Antibiotika
Konstanter Überweisungsfaktor	1859	953 (51,3%)	499 (52,4%)	51 (5,3%)	202 (22,3%)
Dynamisches Gleichgewicht	1672	992 (59,3%)	562 (56,7%)	53 (5,3%)	152 (22,4%)
Expansionsthese	1492	1038 (69,6%)	541 (52,1%)	55 (5,3%)	101 (22,3%)
Kompressionsthese	1854	948 (51,1%)	494 (52,1%)	50 (5,3%)	199 (22,0%)

Vergleicht man die absoluten Häufigkeiten zwischen den vier Szenarien, lassen sich auf den ersten Blick kaum gravierende Unterschiede im Ressourcenaufwand feststellen. Mit einer Spannweite von 90 beatmeten Patienten im Jahr 2030 zeigen die Szenarien zur Expansions- und Kompressionsthese diesbezüglich noch die größten Differenzen. Allerdings sind mit beatmeten Patienten auch entsprechend längere Liegezeiten und somit auch eine längere unter Beatmung verbrachte Aufenthaltszeit verbunden, sodass der Ressourcenbedarf der Intensivstation auch bei vermeintlich geringen Unterschieden in der Fallzahl erheblich höher sein kann. Gemessen an den jeweiligen Behandlungshäufigkeiten wäre der Ressourcenaufwand bei Expansion der Morbidität entsprechend am höchsten. Dies liegt darin begründet, dass im Szenario zur Expansionsthese aufgrund der vielen beatmeten Patienten insgesamt zwar weniger Patienten aufgenommen würden, die beatmeten Patienten aber mehr Betten für längere Zeit in Anspruch nähmen. Die Behandlungshäufigkeiten für Antibiotika wären indes bei allen vier Szenarien relativ ähnlich. So würde etwas mehr als die Hälfte der beatmeten Patienten zusätzlich mit Antibiotika behandelt, während ca. ein Fünftel der nicht beatmeten Patienten eine Antibiotikatherapie erhielt. Dabei wäre für die Zahl bzw. den Anteil der mit Antibiotika behandelten Patienten nicht unbedingt der Beatmungsstatus ausschlaggebend, wie der Vergleich zwischen den Szenarien zum dynamischen Gleichgewicht und der Expansionsthese zeigt: Zwar würden in letzterem mehr Patienten beatmet, jedoch erhielten bei ersterem mehr beatmete Patienten zusätzlich Antibiotika. Auch die Zahl der Patienten mit benötigtem Nierenersatzverfahren dürfte sich zwischen den Szenarien kaum unterscheiden. Da der Einfachheit halber von einer altersgruppenunabhängigen, konstanten Behandlungshäufigkeit von 5,3% bei beatmeten Patienten ausgegangen wird (siehe Kapitel 3.4) und diese zugleich ca. 90% aller Patienten mit Nierenersatztherapie

ausmachen, können also zwischen 50 und 55 Patienten mit einer benötigten Nierenersatztherapie erwartet werden. Zuletzt lässt sich aus den Angaben der Tabelle noch der Anteil derer berechnen, die weder eine Beatmungs- noch eine Antibiotikatherapie erhalten würde. Diese Anteile lägen bei konstanten Überweisungsfaktoren und Kompression der Morbidität bei jeweils 38%, bei dynamischem Gleichgewicht bei 32% und bei Expansion der Morbidität bei 24%.

Als weiteres Rechenbeispiel wird nun das Szenario zum dynamischen Gleichgewicht genauer betrachtet. Die Auswahl dieses Szenarios begründet sich dadurch, dass es sowohl bei den potentiellen als auch bei den wahrscheinlichen Aufnahmezahlen im Gegensatz zu den anderen Szenarien kein Extrembeispiel darstellt und somit als vergleichsweise plausibel angesehen werden kann. Auch der Anteil derer, die eine Beatmungs- und/oder Antibiotikatherapie erhielten, läge mit 68% für das Jahr 2030, wie oben gezeigt, zwischen den Anteilen der anderen Szenarien. Zunächst wird, ebenfalls für das Jahr 2030, die genaue Zusammensetzung der Intensivstation bei diesem Szenario nach Geschlecht und Altersgruppen gezeigt:

Tabelle 16: Geschätzter Ressourcenaufwand zum Szenario „Dynamisches Gleichgewicht“ bei demographischer Basisprognose im Jahr 2030 nach Altersgruppen und Geschlecht

Altersgruppe	Alle Aufnahmen		Davon beatmet		Beatmung und Antibiotika		Nicht beatmet		Nur Antibiotika	
	m	w	m	w	m	w	m	w	m	w
18-24	26	16	15	10	8	5	11	6	2	0
25-29	21	17	13	12	7	6	8	5	1	1
30-44	78	55	51	34	27	17	27	21	4	3
45-59	220	131	135	83	76	42	85	48	19	7
60-64	96	50	58	32	33	14	38	18	11	3
65-79	374	232	220	131	125	63	154	101	51	19
80+	182	173	107	91	56	83	75	82	19	12
Gesamtaufnahmen	997	674	599	393	332	230	398	281	107	45

m=männlich, w=weiblich

Wie bereits aus der retrospektiven Analyse zur Beschreibung des Ist-Zustands auf der hier betrachteten Intensivstation hervorgeht (siehe Kapitel 3.1), wäre auch in diesem Szenario der Anteil männlicher Patienten mit knapp 60% höher als der der weiblichen Patienten. Auch hinsichtlich der Behandlungshäufigkeiten ließe sich ein Geschlechterunterschied ausmachen: Sowohl in der Subgruppe der beatmeten Patienten als auch in der Subgruppe der nicht beatmeten Patienten, die zusätzlich Antibiotika erhalten, läge der Anteil männlicher Patienten ebenfalls bei rund 60%. Von den Patienten, die zwar eine Antibiotika- aber keine Beatmungstherapie erhalten

würde, läge der Anteil mit ca. 70% männlicher Patienten sogar noch höher. Im Altersgruppenvergleich zeigt sich, dass mehr als die Hälfte der beatmeten Patienten sowie die, die zusätzlich Antibiotika erhalten, in beiden Geschlechtern mindestens 65 Jahre alt wären. Zwar kann bezüglich der Antibiotikatherapie von einer gleichhohen Therapieintensität im Altersgruppenvergleich ausgegangen werden, jedoch zeigte die retrospektive Analyse, dass 45-79-jährige Patienten häufiger, länger und mit einer höheren Intensität beatmet werden als über 80-jährige Patienten (siehe Kapitel 3.3). Da diese Patienten zusammen ca. zwei Drittel aller beatmeten Patienten ausmachen würden, ist also in diesem Fall von einem besonders hohen Ressourcenverbrauch auszugehen. Allerdings würde sich bei Betrachtung jeder Altersgruppe der anteilige Ressourcenverbrauch gemessen an behandelten Patienten mit der Altersgruppenzusammensetzung der aufgenommenen Patienten insgesamt decken. Es kann also davon ausgegangen werden, dass sich zusammen mit der Veränderung der demographischen Zusammensetzung der Intensivpatienten insgesamt die demographische Zusammensetzung der beatmeten bzw. mit Antibiotika behandelten Patienten analog dazu ändert.

Um den Ausblick auf den möglichen Ressourcenaufwand für das ausgewählte Szenario des dynamischen Gleichgewichts zu vervollständigen, zeigt die nächste Tabelle die Gesamtzahl der mit den hier betrachteten Therapien zu behandelnden Patienten im Zeitverlauf.

Tabelle 17: Geschätzter Ressourcenaufwand zum Szenario „Dynamisches Gleichgewicht“ bei demographischer Basisprognose im Zeitverlauf

Parameter	2020	2025	2030	2036
Aufnahmen	1863	1881	1672	1708
Davon beatmet	954	975	992	1028
Beatmung und Antibiotikatherapie	498	509	562	535
Beatmung und Nierenersatzverfahren	51	52	53	55
Nicht beatmet	909	906	680	680
Nicht beatmet und Antibiotikatherapie	200	198	152	152

Wie bereits in Abbildung 11 gezeigt wurde, würde die Zahl der beatmeten Patienten zwischen den Jahren 2020 und 2036 kontinuierlich ansteigen. Selbiges gilt, bis auf Ausnahme des letzten Prognosejahres, für die Zahl der zusätzlich mit Antibiotika behandelten beatmeten Patienten, während die Zahl derer, die neben der Beatmung auch eine Nierenersatztherapie erhalten, in etwa gleichbleibe. Insgesamt zeigt sich jedoch, dass sich das Patientenkollektiv im Laufe des betrachteten Prognosezeitraums dahingehend verändern könnte, dass sich die Zahl der

aufwändig therapierten Patienten mit entsprechend hohem Ressourcenverbrauch stetig vergrößert, während sich die Gesamtzahl der Aufnahmen aufgrund der langen Liegezeit dieser Patienten entsprechend verringert.

Mit der letzten Berechnung für die Projektion des Ressourcenaufwands bei demographischer Basisprognose wird die Frage nach der Zahl zusätzlich benötigter Betten beantwortet. Hierzu muss man die Differenz der Aufnahmen betrachten, die sich aus den potentiell möglichen Aufnahmen und der geschätzten Zahl der wahrscheinlich aufgenommenen Patienten ergibt (Tabelle 14). Da diese übrigen Patienten als nicht beatmete Patienten erachtet werden (alle beatmeten wurden in der Berechnung für die wahrscheinlichen Aufnahmen bereits berücksichtigt), kann die Zahl der zusätzlich benötigten Betten mittels des im letzten Abschnitt der Methodik (Kapitel 2.3.7) vorgestellten Rechenwegs einfach berechnet werden.

Tabelle 18: Geschätzte Zahl zusätzlich benötigter Betten für jedes Morbiditätsszenario bei demographischer Basisprognose auf einer 26-Betten-Station

Szenario	2020	2025	2030	2036
Konstanter Überweisungsfaktor	4	4	4	4
Dynamisches Gleichgewicht	4	4	5	6
Expansionsthese	4	7	7	8
Kompressionsthese	4	4	4	5

Sollen also im gesamten Projektionszeitraum bei demographischer Basisprognose alle potentiell möglichen Patienten aufgenommen werden, müssten je nach Morbiditätsszenario bis zum Jahr 2036 zwischen vier und acht zusätzliche Intensivbetten bereitgestellt werden. Dabei wäre der Bedarf an zusätzlichen Betten bei Expansion der Morbidität am höchsten, da hier der Anteil beatmeter Patienten mit langer Aufenthaltszeit und dafür benötigten Betten am höchsten wäre.

3.6 Ressourcenprojektion zur demographischen Projektion bei Zuzugsanstieg

Die zweite Variante der demographischen Prognose der Stadt Mannheim geht neben einer steigenden Lebenserwartung zusätzlich von einem Zuzugsanstieg aus, wodurch sich die Bevölkerung im Vergleich zur Basisprognose also nochmal vergrößert. Dies hat auch Auswirkungen auf die Zahlen der potentiellen Aufnahmen für jedes der vier Morbiditätsszenarien. Abbildung 12 zeigt die mögliche Entwicklung der potentiellen Aufnahmezahlen bis 2036:

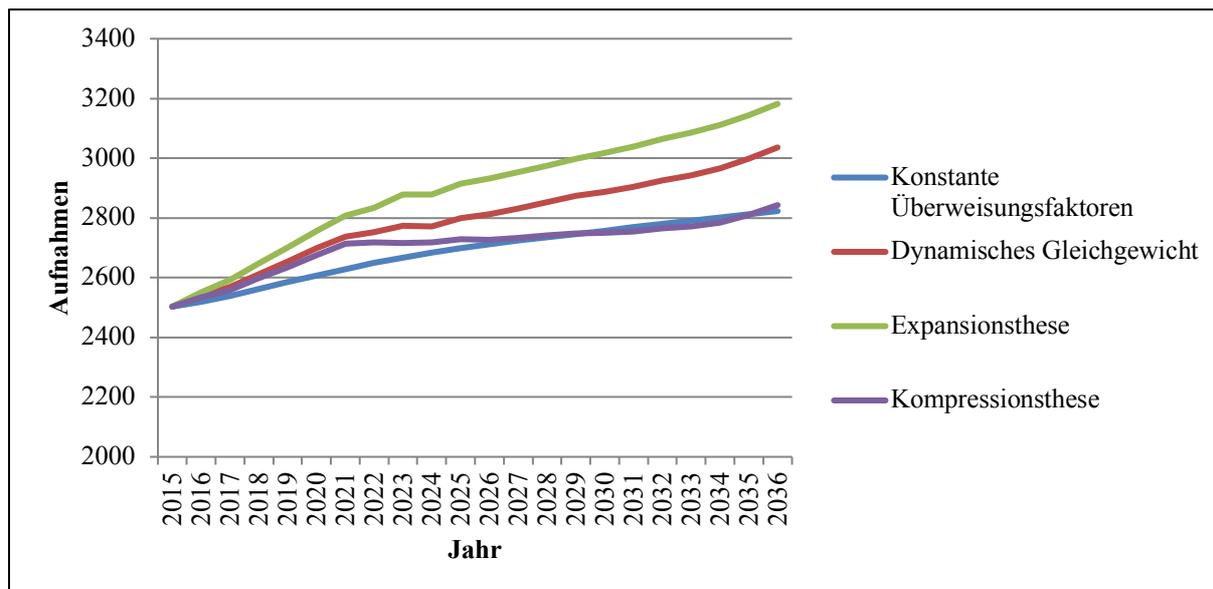


Abbildung 12: Projektion potentieller Aufnahmezahlen bei Zuzugsanstieg

Zwar unterscheiden sich die Kurven optisch nicht sonderlich von denen für die demographische Basisprognose (Abbildung 9), jedoch steigt, wie bereits erwähnt, die Zahl der potentiell möglichen Patienten in jedem Morbiditätsszenario an. Die Zahl der Aufnahmen, die bei demographischer Basisprognose im Jahr 2036 erreicht werden könnte, würde im Falle eines Zuzugsanstiegs bereits ca. im Jahr 2030 erreicht sein. Bis zum Endzeitpunkt der Projektion könnten je nach Morbiditätsszenario zwischen 2823 und 3182 Aufnahmen erwartet werden.

Auch bei den wahrscheinlichen Aufnahmezahlen bei Berücksichtigung der begrenzten Kapazität von in diesem Fall 26 Betten lassen sich Unterschiede im Vergleich zur Projektion für das demographische Basisszenario entdecken:

Tabelle 19: Potentielle und geschätzte Aufnahmezahlen bei Zuzugsanstieg im Vergleich

Szenario	2020		2025		2030		2036	
	pot.	gesch.	pot.	gesch.	pot.	gesch.	pot.	gesch.
Konstanter Überweisungsfaktor	2606	1843 (70,7%)	2698	1872 (69,4%)	2757	1870 (67,8%)	2823	1685 (59,7%)
Dynamisches Gleichgewicht	2698	1872 (69,4%)	2799	1676 (59,9%)	2888	1707 (59,1%)	3036	1530 (50,4%)
Expansionsthese	2756	1666 (60,5%)	2914	1493 (51,2%)	3018	1526 (50,6%)	3182	1355 (42,6%)
Kompressionsthese	2676	1865 (69,7%)	2729	1881 (68,9%)	2750	1886 (68,6%)	2843	1691 (59,5%)

pot.=potentielle Aufnahmezahlen, gesch.=geschätzte Aufnahmezahlen

Bereits im Jahr 2020 könnte im Falle einer Expansion der Morbidität die tatsächlich mögliche Aufnahmezahl also wesentlich sinken. Bei allen anderen Szenarien würde sich eine Absenkung der Aufnahmezahlen erst frühestens im Jahr 2025 („Dynamisches Gleichgewicht“) oder gar erst im Jahr 2036 („Konstante Überweisungsfaktoren“ und „Kompressionsthese“) ereignen. Dennoch wäre im Falle eines Zuzugsanstiegs mit einer größeren Diskrepanz zwischen potentiell möglichen und wahrscheinlichen Aufnahmen auf die Intensivstation zu rechnen.

Auf die demographische Zusammensetzung der wahrscheinlich zu erwartenden Aufnahmen in Abhängigkeit von den vier Morbiditätsszenarien würde sich der Zuzugsanstieg in der Basisbevölkerung allerdings weniger deutlich auswirken, wie nachfolgende Abbildung zeigt:

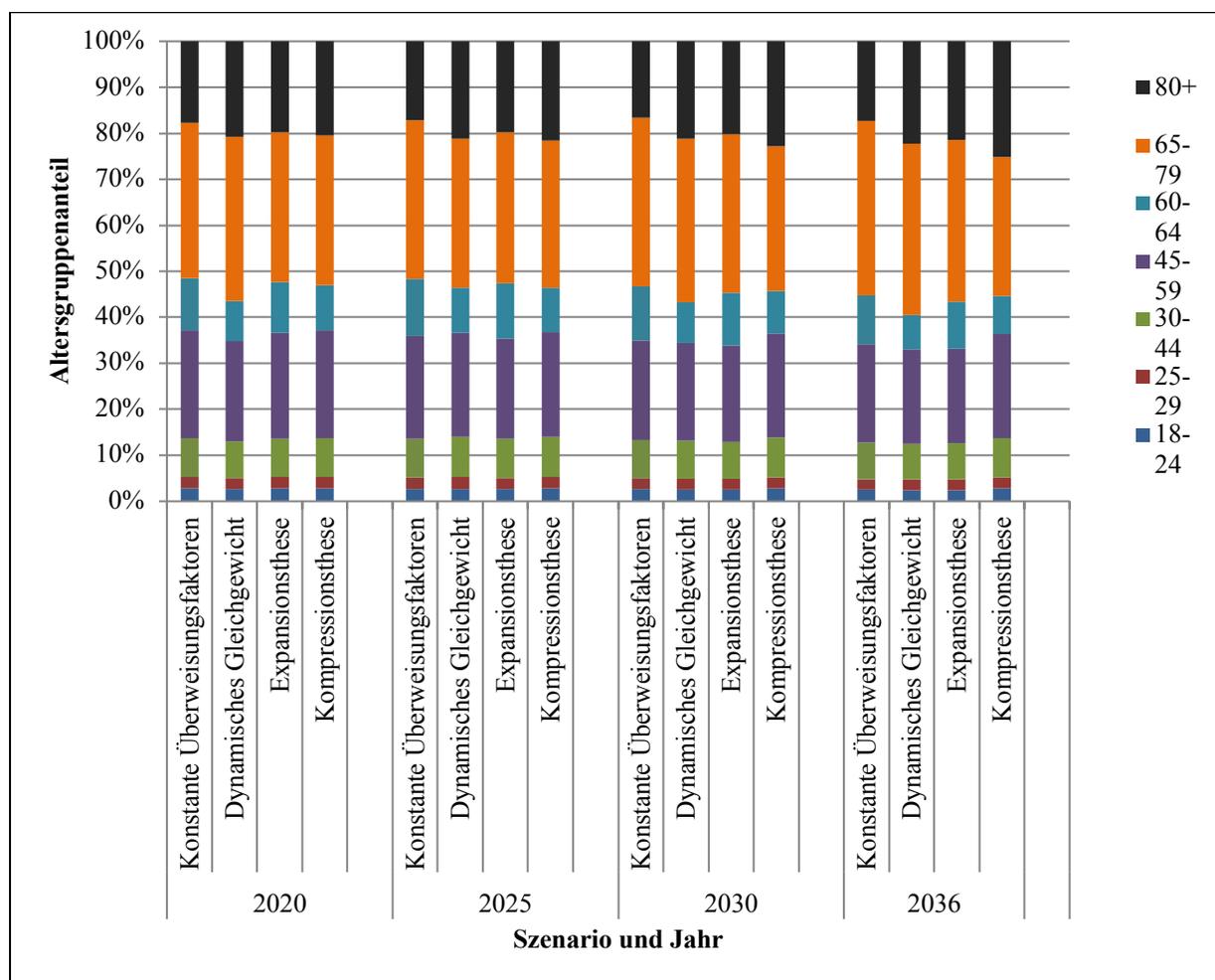


Abbildung 13: Geschätzte Altersstruktur der Intensivpatienten nach Morbiditätsszenario bei Zuzugsanstieg

So wäre der Alterungsprozess auf der Intensivstation relativ vergleichbar mit dem bei demographischem Basisszenario. Ältere Patienten ab 65 Jahren stellten auch hier über alle betrachteten Jahre hinweg mehr als die Hälfte des Patientenkollektivs, wobei sich der Anteil Schritt für Schritt bis zum Jahr 2036 auf knappe 60% in allen Szenarien annähern würde. Im gesamten

Projektionszeitraum wäre der Anteil über 80-jähriger im Szenario zur Kompressionsthese am größten, während szenarienunabhängig jüngere Patienten bis 45 Jahre unterrepräsentiert wären. Im Szenario zum dynamischen Gleichgewicht wäre in allen betrachteten Jahren der Anteil älterer Patienten am höchsten.

Im Falle der Behandlungshäufigkeiten zur maschinellen Beatmung lassen sich teils deutliche Unterschiede zur demographischen Basisprognose ausmachen, da hier in allen Szenarien der Anteil beatmeter Patienten im Laufe des Projektionszeitraums die 50%-Marke übersteigen würde:

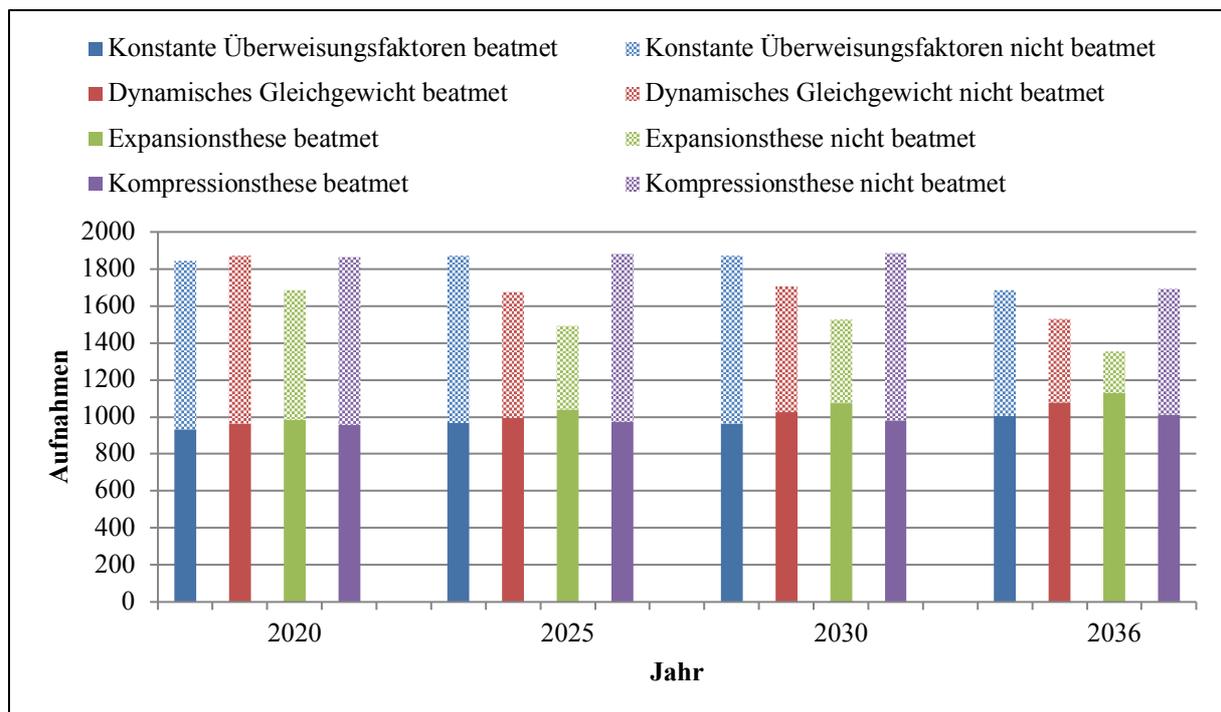


Abbildung 14: Geschätzte Aufnahmezahlen mit Behandlungshäufigkeit für Beatmung bei Zuzugsanstieg

Dabei zeigt auch hier die Berechnung zum Szenario der Expansionsthese den größten Anteil beatmeter Patienten, während sich in den Szenarien „Konstante Überweisungsfaktoren“ und „Kompressionsthese“ über alle Jahre hinweg beatmete und nicht beatmete Patienten in etwa gleichmäßig auf die Gesamtzahl der Aufnahmen aufteilen. Im Falle des Szenarios zum dynamischen Gleichgewicht würde erst die Zahl der Aufnahmen im Jahr 2025 bei gleichzeitig steigendem Anteil beatmeter Patienten sinken, dann im Jahr 2030 relativ konstant bleiben und im letzten Jahr der Projektion nochmals bei wiederum gleichzeitig steigendem Anteil beatmeter Patienten sinken. In allen Szenarien stiege zudem die Zahl beatmeter Patienten im Laufe der betrachteten 16 Jahre um ca. 100 Patienten an.

Um den zu erwartenden Ressourcenaufwand genauer darzustellen, soll hier wie auch im vorangegangenen Kapitel zur Prognose des Ressourcenaufwands bei demographischer Basisprognose ebenfalls exemplarisch das Jahr 2030 zur Gegenüberstellung der vier Morbiditätsszenarien hinzugezogen werden:

Tabelle 20: Geschätzter Ressourcenaufwand im Jahr 2030 bei Zuzugsanstieg

Szenario	Aufnahmen	Davon beatmet	Beatmung und Antibiotika	Beatmung und Nierenersatz	Nur Antibiotika
Konstanter Überweisungsfaktor	1870	964 (51,6%)	505 (52,4%)	51 (5,3%)	204 (22,5%)
Dynamisches Gleichgewicht	1707	1027 (60,2%)	536 (52,2%)	54 (5,3%)	151 (22,2%)
Expansionsthese	1526	1073 (70,3%)	560 (52,2%)	57 (5,3%)	101 (22,3%)
Kompressionsthese	1886	980 (52,0%)	510 (52,0%)	52 (5,3%)	198 (21,9%)

Im Szenario zur Expansionsthese wäre im Falle eines Zuzugsanstiegs also nicht nur die Zahl der beatmeten Patienten am höchsten, sondern auch die der zusätzlich mit Antibiotika und Nierenersatzverfahren behandelten Patienten. Auf dieses Szenario fiel also der größte Ressourcenaufwand bei gleichzeitig niedrigster Aufnahmezahl, gefolgt vom Szenario zum dynamischen Gleichgewicht. Ähnlich wie beim demographischen Basisszenario würde auch hier in allen Szenarien etwas mehr als die Hälfte der beatmeten Patienten zusätzlich mit Antibiotika behandelt, während ca. ein Fünftel der nicht beatmeten Patienten eine Antibiotikatherapie erhielte und die Zahl der Patienten mit Nierenersatzverfahren in etwa gleichgroß wäre. Zudem wäre auch hier der Anteil der Patienten ohne eine der hier ausgewählten Therapien in den Szenarien der Expansionsthese und des dynamischen Gleichgewichts am geringsten (23% bzw. 31%).

Als genaueres Rechenbeispiel für das Jahr 2030 wurde ebenfalls wieder das Szenario zum dynamischen Gleichgewicht der Morbidität ausgewählt. Wie im vorangegangenen Kapitel ist auch hier der genaue Ressourcenaufwand nach Altersgruppen und Geschlecht für die Beatmungs- und Antibiotikatherapie aufgelistet:

Tabelle 21: Geschätzter Ressourcenaufwand zum Szenario „Dynamisches Gleichgewicht“ bei Zuzugsanstieg im Jahr 2030 nach Altersgruppen und Geschlecht

Altersgruppe	Alle Aufnahmen		Davon beatmet		Beatmung und Antibiotika		Nicht beatmet		Nur Antibiotika	
	m	w	m	w	m	w	m	w	m	w
18-24	27	17	16	11	8	6	11	6	2	0
25-29	22	18	14	13	7	6	8	5	1	1
30-44	83	58	55	36	30	18	28	22	4	3
45-59	229	134	142	86	80	43	87	48	20	7
60-64	99	51	60	32	34	14	39	19	11	3
65-79	376	233	226	133	129	64	150	100	49	19
80+	184	177	109	94	57	40	75	83	19	12
Gesamtaufnahmen	1020	688	622	405	345	191	398	283	106	45

m=männlich, w=weiblich

Auch bei Zuzugsanstieg würde sich keine nennenswerte Veränderung im Anteil männlicher und weiblicher Patienten an den Gesamtaufnahmen zeigen. Selbiges gälte für die in der Simulation zuerst aufgenommenen beatmeten Patienten, bei denen der Anteil männlicher Patienten ebenfalls knapp 60% ausmachte. Im Gegensatz zur demographischen Basisprognose fiel jedoch der Anteil weiblicher Patienten, die neben der Beatmungstherapie zusätzlich auch Antibiotika erhielten, auf hier ca. 36%. Weibliche Patienten mit einer Doppeltherapie wären also auch hier unterproportional repräsentiert. Im Falle der Beatmung kann bei Zuzugsanstieg ebenfalls von einem hohen Ressourcenverbrauch bei Beatmungstherapie ausgegangen werden, da die betreffenden Altersgruppen mit hoher Behandlungshäufigkeit von 45-79 Jahren ca. zwei Drittel aller beatmeten Patienten ausmachen würden. Zudem wären mehr als die Hälfte der beatmeten und zusätzlich mit Antibiotika behandelten Patienten mindestens 65 Jahre alt.

Betrachtet man nun das Szenario des dynamischen Gleichgewichts im Zeitverlauf, so zeigt sich auch hier eine stetige Zunahme beatmeter Patienten sowohl in der absoluten als auch in der relativen Häufigkeit. Auch kann mit einer Zunahme von Patienten mit zusätzlicher Antibiotikatherapie und Nierenersatzverfahren gerechnet werden, wobei sich die Zahl der Patienten mit ausschließlicher Antibiotikatherapie halbieren würde:

Tabelle 22: Geschätzter Ressourcenaufwand zum Szenario „Dynamisches Gleichgewicht“ bei Zuzugsanstieg im Zeitverlauf

Parameter	2020	2025	2030	2036
Aufnahmen	1872	1676	1707	1530
Davon beatmet	963	996	1027	1077
Beatmung und Antibiotika	503	521	536	561
Beatmung und Nierenersatz	51	53	54	57
Nicht beatmet	909	680	680	453
Nur Antibiotika	202	145	151	101

Im Vergleich zur demographischen Basisprognose findet sich dabei besonders im letzten Jahr der Prognose ein entscheidender Unterschied. Wie bereits aus Abbildung 14 hervorgeht, nähme hier der Anteil beatmeter Patienten an den Gesamtaufnahmen von knapp 60% auf knapp 70% zu. Da somit weniger nicht beatmete Patienten auf die Intensivstation aufgenommen würden, fiel somit automatisch auch die Zahl der ausschließlich mit Antibiotika behandelten Patienten, während die Zahl der Patienten mit einer Doppeltherapie aus Beatmung und Antibiotika stiege, der Anteil von den beatmeten Patienten jedoch in etwa gleich bliebe.

Im letzten Schritt wurde ebenfalls die Zahl der zusätzlich benötigten Betten berechnet, die sich bei vollständiger Nachfragebefriedigung in einer stärker wachsenden Basisbevölkerung ergeben würden:

Tabelle 23: Geschätzte Zahl zusätzlich benötigter Betten für jedes Morbiditätsszenario bei Zuzugsanstieg auf einer 26-Betten-Station

Szenario	2020	2025	2030	2036
Konstanter Überweisungsfaktor	4	4	4	5
Dynamisches Gleichgewicht	4	5	6	7
Expansionsthese	5	7	7	9
Kompressionsthese	4	4	4	6

Dabei zeigt sich, dass besonders in den Szenarien zum dynamischen Gleichgewicht und der Expansionsthese die Zahl der benötigten Betten stärker anstiege als bei demographischer Basisprojektion. Im Gegensatz dazu bliebe die Zahl der benötigten Betten bei konstanten Überweisungsfaktoren sowie bei Kompression der Morbidität mit jeweils vier zusätzlichen Betten bis zum letzten Jahr des Projektionszeitraums konstant, bis schließlich im Jahr 2036 mit einer erneuten Vergrößerung des Bettenbedarfs gerechnet werden könnte.

3.7 Ressourcenprojektion zur demographischen Projektion bei Zuzugsminde- rung

Die letzte Variante der demographischen Prognosen der Stadt Mannheim geht von einer Zuzugsminde-
rung aus, wobei unabhängig davon auch hier mit einer steigenden Lebenserwartung
gerechnet wird. Folgerichtig führt diese Variante zu den niedrigsten Zahlen der Basisbevölke-
rung und somit auch der niedrigsten Zahl an potentiell möglichen Aufnahmen auf die Intensiv-
station.

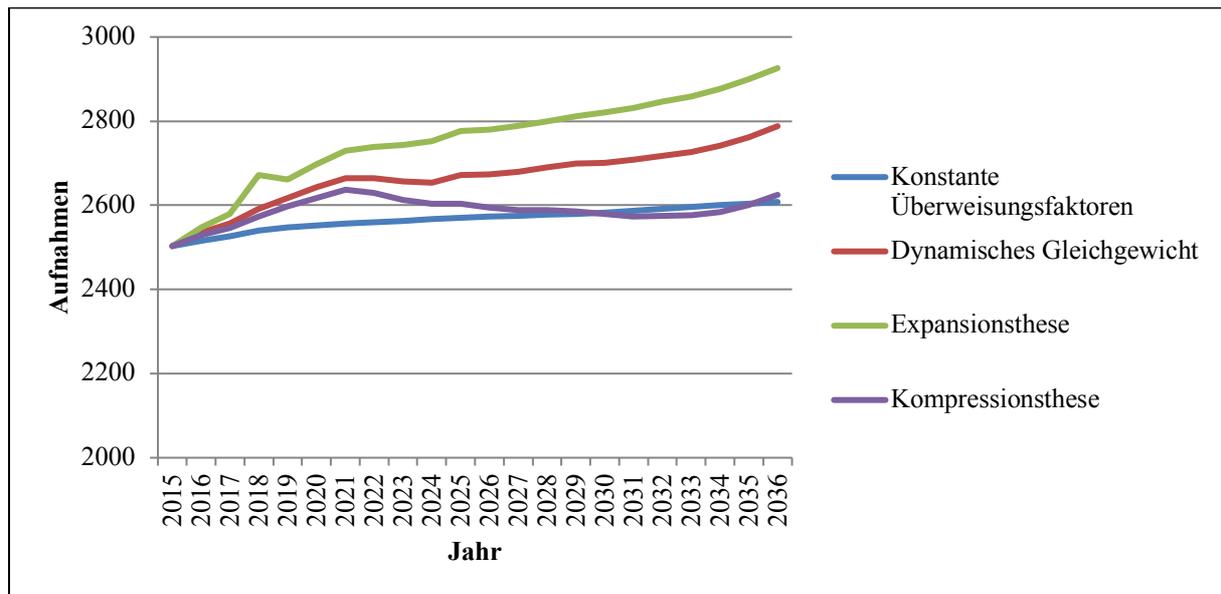


Abbildung 15: Projektion potentieller Aufnahmezahlen bei Zuzugsminde-
rung

Im Falle einer Zuzugsminde-
rung könnten im Projektionszeitraum bis 2036 weniger als 3000
potentielle Patienten aus der Basisbevölkerung intensivmedizinische Leistungen in Anspruch
nehmen. Auch die Kurvenverläufe sind dementsprechend kaum mit denen aus den anderen Sze-
narien vergleichbar, da sie weniger steil und im Falle des Szenarios der konstanten Überwei-
sungsfaktoren beinahe parallel zur Abszisse verlaufen. Lediglich in den ersten fünf bzw. letzten
drei Jahren des Projektionszeitraums lässt sich bei den Kurven der drei übrigen Morbiditätssze-
narien eine auffällige Steigung erkennen.

Durch die generell geringeren potentiellen Aufnahmezahlen ist zudem die Diskrepanz zur ge-
schätzten Zahl der wahrscheinlichen Aufnahmen in den ausgewählten Jahren 2020, 2025, 2030
und 2036 geringer als bei den anderen demographischen Prognosen:

Tabelle 24: Potentielle und geschätzte Aufnahmezahlen bei Zuzugsminderung im Vergleich

Szenario	2020		2025		2030		2036	
	pot.	gesch.	pot.	gesch.	pot.	gesch.	pot.	gesch.
Konstanter Überweisungsfaktor	2552	2049 (80,3%)	2570	2050 (79,8%)	2583	2045 (79,2%)	2608	2059 (79,0%)
Dynamisches Gleichgewicht	2643	1851 (70,0%)	2672	1857 (69,5%)	2701	1864 (69,0%)	2788	1892 (67,9%)
Expansionsthese	2698	1872 (69,4%)	2776	1671 (60,2%)	2820	1683 (59,7%)	2926	1715 (58,6%)
Kompressionsthese	2618	1843 (70,4%)	2603	2061 (79,2%)	2579	2051 (79,5%)	2625	2064 (78,6%)

pot.=potentielle Aufnahmezahlen, gesch.=geschätzte Aufnahmezahlen

So könnten je nach Szenario bis zu 80% der potentiell möglichen Intensivpatienten tatsächlich auf die Intensivstation aufgenommen werden. Auch lassen sich, mit Ausnahme der Expansionsthese, kaum Unterschiede im Verhältnis potentieller und wahrscheinlicher Aufnahmezahlen zwischen den einzelnen Jahren erkennen. Im Falle der Kompressionsthese würde sich gar der Anteil erhöhen, was durch den Rückgang potentieller Patienten erklärt werden kann.

Die Altersstruktur der wahrscheinlich aufgenommenen Patienten würde sich unabhängig vom jeweiligen Morbiditätsszenario kaum von den anderen beiden demographischen Prognosen des Zuzugsanstiegs und der Basisprojektion unterscheiden. Auch hier kann davon ausgegangen werden, dass bis zum Jahr 2036 der Anteil älterer Patienten ab 65 Jahren stets zunehmen und einen Anteil von knapp 60% erreichen wird:

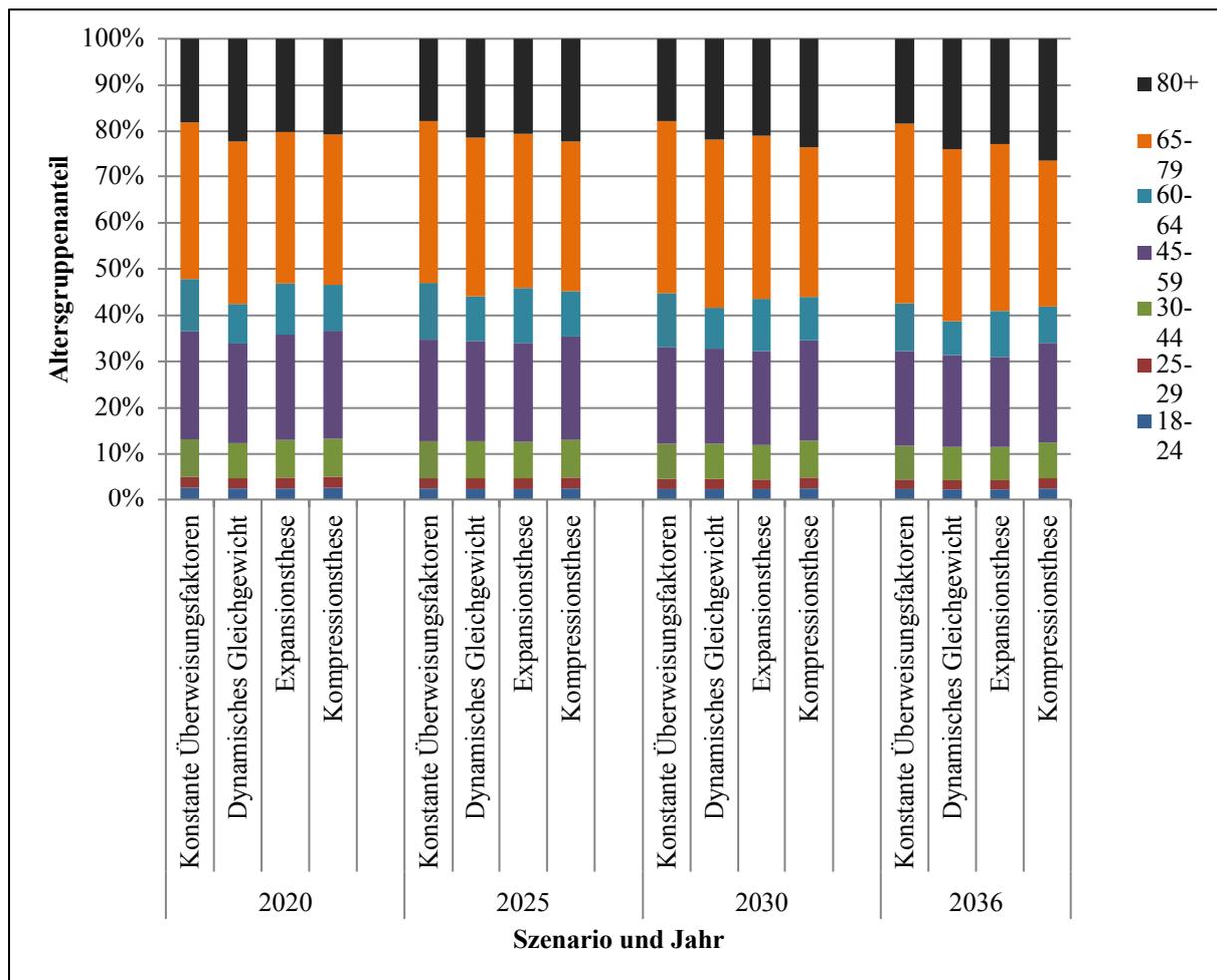


Abbildung 16: Geschätzte Altersstruktur der Intensivpatienten nach Morbiditätsszenario bei Zuzugsminderung

Allerdings scheint bei Zuzugsminderung die demographische Alterung in der Bevölkerung der Intensivpatienten etwas schneller voranzuschreiten. So könnte im Falle einer Kompression der Morbidität der Anteil hochbetagter Patienten ab einem Alter von 80 Jahren auf knappe 30% im Jahr 2036 wachsen.

Ein anderes Bild ergibt sich jedoch bei Betrachtung des Ressourcenaufwands, insbesondere der maschinellen Beatmung. Hier zeigt sich, dass der Anteil beatmeter Patienten bei den wahrscheinlich aufgenommenen Patienten unabhängig vom jeweiligen Morbiditätsszenario im Gegensatz zu den anderen beiden demographischen Prognosen nicht weiterwachsen würde:

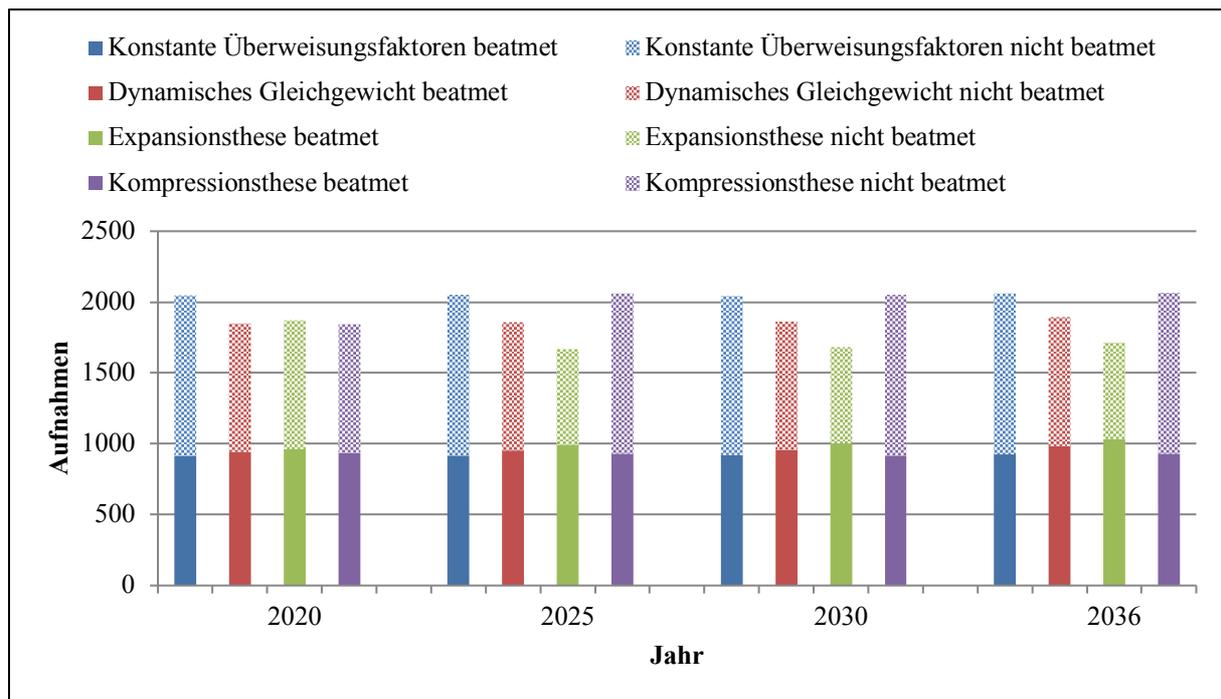


Abbildung 17: Geschätzte Aufnahmezahlen mit Behandlungshäufigkeit für Beatmung bei Zuzugsminderung

So läge der Anteil beatmeter Patienten im Falle konstanter Überweisungsfaktoren stets bei unter 50%, während bei Kompression der Morbidität dieser Anteil ebenfalls ab dem Jahr 2025 erreicht werden würde. Für die anderen beiden Szenarien Dynamisches Gleichgewicht und Expansionsthese könnten hingegen kaum Veränderungen erwartet werden, wobei der Anteil beatmeter Patienten in diesen Fällen etwas mehr als die Hälfte ausmachen würde.

Für das exemplarisch ausgewählte Jahr 2030 zeigt sich, dass auch bei Zuzugsminderung im Falle der Antibiotikatherapie kaum Unterschiede in den Behandlungshäufigkeiten zwischen den einzelnen Szenarien zu erwarten sind:

Tabelle 25: Geschätzter Ressourcenaufwand im Jahr 2030 bei Zuzugsminde rung

Szenario	Aufnahmen	Davon beatmet	Beatmung und Antibiotika	Beatmung und Nierenersatz	Nur Antibiotika
Konstanter Überweisungsfaktor	2045	921 (45,0%)	483 (52,4%)	49 (5,3%)	254 (22,6%)
Dynamisches Gleichgewicht	1865	958 (51,4%)	501 (52,3%)	51 (5,3%)	202 (22,0%)
Expansionsthese	1683	1003 (59,6%)	524 (52,2%)	53 (5,3%)	154 (22,7%)
Kompressionsthese	2051	918 (44,8%)	478 (52,1%)	49 (5,3%)	246 (21,7%)

So kann auch hier davon ausgegangen werden, dass etwas mehr als die Hälfte der beatmeten Patienten zusätzlich mit Antibiotika behandelt würde, während der Anteil der ausschließlich mit Antibiotika behandelten Patienten ebenfalls bei rund einem Fünftel läge. Durch die generell niedrigere Zahl beatmter Patienten bei Zuzugsminde rung würde hier ebenfalls die Zahl der Patienten mit benötigtem Nierenersatzverfahren leicht abnehmen, sich in der Gesamtzahl zwischen den einzelnen Morbiditätsszenarien jedoch auch kaum unterscheiden. Der Anteil an Patienten die weder beatmet noch mit Antibiotika behandelt werden könnten wäre zwar auch im Falle einer Zuzugsminde rung im Szenario zur Expansionsthese am geringsten, läge aber mit ca. 31% über den Anteilen welche in den vorangegangenen demographischen Projektionen errechnet wurde.

Für das genauere Rechenbeispiel zum Szenario „Dynamisches Gleichgewicht“ im Projektionsjahr 2030 kann auch bei Zuzugsminde rung in der Basisbevölkerung ein Unterschied in der Behandlungshäufigkeit zwischen männlichen und weiblichen Patienten festgestellt werden. So läge der Anteil männlicher Patienten wie in den Rechenbeispielen der vorangegangenen Kapitel sowohl bei den Gesamtaufnahmen als auch bei beatmeten und zusätzlich mit Antibiotika behandelten Patienten bei rund 60%, während der Anteil derjenigen männlichen Patienten, die ausschließlich mit Antibiotika behandelt werden könnte, ebenfalls bei knapp 70% liegen würde:

Tabelle 26: Geschätzter Ressourcenaufwand zum Szenario „Dynamisches Gleichgewicht“ bei Zuzugsminderung im Jahr 2030 nach Altersgruppen und Geschlecht

Altersgruppe	Alle Aufnahmen		Davon beatmet		Beatmung und Antibiotika		Nicht beatmet		Nur Antibiotika	
	m	w	m	w	m	w	m	w	m	w
18-24	29	17	15	9	8	5	14	8	3	1
25-29	22	19	12	12	6	6	10	7	1	1
30-44	82	60	48	32	26	16	34	28	5	4
45-59	240	144	128	80	73	40	112	64	25	9
60-64	108	55	56	30	32	13	52	25	15	4
65-79	418	264	214	128	122	62	204	136	67	25
80+	205	202	104	90	54	38	101	112	26	16
Gesamtaufnahmen	1104	761	577	381	321	180	527	380	142	60

M=männlich, w=weiblich

Zudem betrüge der Anteil beatmeter Patienten mit einer vergleichsweise hohen Behandlungsintensität (Alter zwischen 45 und 79 Jahren) auch hier ca. zwei Drittel, sodass auch bei Zuzugsminderung von einem hohen Ressourcenverbrauch ausgegangen werden könnte.

Insgesamt zeigt sich für das Szenario des Dynamischen Gleichgewichts jedoch ein äußerst geringer Anstieg im Ressourcenverbrauch im Verlauf des Projektionszeitraums. Während sowohl die Zahl der Gesamtaufnahmen als auch die Zahl der beatmeten Patienten um lediglich knapp 40 steigen könnte, könnten im Vergleich zwischen den Jahren 2020 und 2036 lediglich 23 zusätzliche Patienten erwartet werden, die neben ihrer Beatmung auch eine Antibiotikatherapie erhalten würden:

Tabelle 27: Geschätzter Ressourcenaufwand zum Szenario „Dynamisches Gleichgewicht“ bei Zuzugsminderung im Zeitverlauf

Parameter	2020	2025	2030	2036
Aufnahmen	1851	1857	1864	1892
Davon beatmet	942	951	958	986
Beatmung und Antibiotika	491	498	501	514
Beatmung und Nierenersatz	50	50	51	52
Nicht beatmet	909	906	906	906
Nur Antibiotika	203	202	202	203

Die Zahl der Patienten mit einer ausschließlichen Antibiotikatherapie sowie diejenigen, die zusätzlich zur Beatmung auch eine Nierenersatztherapie erhalten würden, bliebe indes in diesem Zeitraum in etwa gleich. Somit zeigt das demographische Szenario der Zuzugsminderung im Vergleich zu den anderen beiden Prognoseszenarien einen kaum wahrnehmbaren Trend im Ressourcenverbrauch gemessen an der Zahl der mit den hier betrachteten Therapiemodalitäten behandelten Patienten.

Selbige Schlussfolgerung kann auch für die zusätzlich benötigten Betten für eine vollständige Nachfragebefriedigung gezogen werden. Zwar wären auch im Falle einer Zuzugsminderung zusätzliche Kapazitäten vonnöten, jedoch wäre die Zahl der zusätzlichen Betten geringer als bei einem Zuzugsanstieg oder der demographischen Basisprognose:

Tabelle 28: Geschätzte Zahl zusätzlich benötigter Betten für jedes Morbiditätsszenario bei Zuzugsminderung auf einer 26-Betten-Station

Szenario	2020	2025	2030	2036
Konstanter Überweisungsfaktor	3	3	3	3
Dynamisches Gleichgewicht	4	4	4	4
Expansionsthese	4	5	6	6
Kompressionsthese	4	3	3	3

Vergleicht man beispielsweise die Zahl zusätzlich benötigter Betten im Szenario der Expansionsthese zwischen den drei demographischen Prognoseszenarien, so würden im Jahr 2036 drei bzw. zwei Betten weniger benötigt als bei Zuzugsanstieg (9 Betten) oder demographischem Basisszenario (8 Betten). Selbiges gälte für die Szenarien „Dynamischen Gleichgewicht“ und „Kompressionsthese“, während bei konstanten Überweisungsfaktoren insgesamt die wenigsten Betten zusätzlich nötig wären (3 Betten, verglichen mit 4 (Basisprognose) bzw. 5 (Zuzugsanstieg) Betten). Somit würde sich also ein zusätzlicher Bettenbedarf zwischen 3 und 9 Betten ergeben, was bei einer 26-Betten-Station eine Kapazitätserhöhung zwischen 11,5% bis 34,6% bedeutet.

4 Diskussion

Diese Arbeit hat sich der Frage nach den Auswirkungen des demographischen Wandels auf den Ressourcenaufwand in der Intensivmedizin auf zwei Wegen genähert. In einer retrospektiven Analyse elektronischer Patientendaten einer ausgewählten operativen Intensivstation konnte ein erster Überblick über den Ist-Zustand sowie über Trends gewonnen werden, die sich bezüglich demographischer Merkmale des Patientenkollektivs, beschreibender Parameter wie der Liegedauer und Krankheitsschwere der Patienten sowie ihres Ressourcenverbrauchs ergeben haben. Ausgehend von diesen Erkenntnissen konnten zudem für den weiteren Verlauf der Analyse wichtige Informationen über etwaige Unterschiede in der Therapie von Patienten unterschiedlichen Geschlechts und Alters ermittelt werden. Dabei wurde exemplarisch die Beatmungs- und Antibiotikatherapie sowie Nierenersatzverfahren betrachtet, welche für die Intensivmedizin typisch sind. Im Anschluss wurden die retrospektiv gewonnenen Erkenntnisse mit Prognosen für die weitere Bevölkerungsentwicklung der Stadt Mannheim verknüpft, um die mögliche Zusammensetzung der betrachteten Intensivstation in den kommenden Jahren zu simulieren. Dabei spielte wiederum der retrospektiv ermittelte Ressourcenverbrauch eine gewichtige Rolle, da die Auswahl der aufgenommenen Patienten aus einem Kollektiv potentiell intensivpflichtiger Patienten in eine ressourcenbegrenzte Intensivstation in diesem Modell von der Wahrscheinlichkeit einer benötigten Beatmungstherapie abhängig war. Somit konnte auch der Aufnahmeprozess annähernd simuliert werden, sodass anzunehmen ist, dass die hier vorgestellte Methode näher an der zu erwartenden Realität liegt als manche zuvor angewendete Konzepte. So konnte auch die genaue Aufteilung der zur Verfügung stehenden Betten auf männliche und weibliche Patienten unterschiedlicher Altersgruppen mitsamt ihrer benötigten Therapien exemplarisch prognostiziert werden, um die künftige demographische Zusammensetzung des zu erwartenden Patientenkollektivs sowie des Ressourcenaufwands als Ganzen genau abbilden zu können. Schlussendlich konnten zudem Aussagen über die Zahl zusätzlich benötigter Betten für eine vollständige Nachfragebefriedigung aller potentiell intensivpflichtigen Patienten getroffen werden.

4.1 Grundparameter und Repräsentativität der Kohorte

In einem ersten Überblick über die Kohorte der insgesamt 14.219 Aufnahmen der Jahre 2007-2012 wurden die demographische Zusammensetzung, die Liegedauer, sowie Krankheitschwere und Pflegeaufwand der behandelten Patienten betrachtet. Das Patientenkollektiv scheint dabei hinsichtlich der demographischen Merkmale typisch für eine Intensivstation zu sein. So finden sich auch in anderen Studien in diesem Setting ähnliche Verteilungen, besonders

hinsichtlich des Geschlechts der Patienten (Fowler et al., 2007; Valentin et al., 2003). Gleiches gilt für die Altersverteilung zwischen den Geschlechtern. Während in allen anderen Altersgruppen männliche Patienten die Mehrheit stellten, zeigte sich in der ältesten Gruppe der über 80-jährigen ein umgekehrtes Mehrheitsverhältnis, welches ebenfalls mit anderen Intensivstationen vergleichbar ist (Flaatten et al., 2017; Reinikainen et al., 2007). Auch bezüglich der Altersverteilung insgesamt, hier mit einem Durchschnittsalter von 63,8 und einem medianen Alter von 66,8 Jahren, finden sich Gemeinsamkeiten mit anderen Intensivstationen (Flaatten et al., 2017).

Für den weiteren Verlauf der Analyse war zudem die Entwicklung der Aufnahmezahlen sowie der Liegedauer wichtig. Dabei zeigte sich ein gegenläufiger Trend von sinkenden Aufnahmezahlen und steigender durchschnittlicher Liegedauer im Zeitverlauf, wobei die mediane Aufenthaltszeit nahezu unverändert blieb. Wie in der Vorstellung der Ergebnisse erwähnt, ist die Aufenthaltszeit in der betrachteten Kohorte stark durch Patienten mit langer Liegedauer nach oben verzerrt. Nichtsdestotrotz zeigt die mediane Aufenthaltszeit von 0,9 Tagen, dass innerhalb des betrachteten Zeitraums wohl überwiegend Patienten zur einfachen Überwachung nach chirurgischen Eingriffen auf die Intensivstation aufgenommen wurden. Die rückläufige Entwicklung der Aufnahmezahlen bei gleichzeitigem Anstieg der durchschnittlichen Aufenthaltszeit könnte jedoch mit einer Veränderung des Patientenkollektivs einhergegangen sein. Darauf könnte auch die leicht steigende mediane Aufenthaltszeit im letzten Jahr des Beobachtungszeitraums hindeuten. Weissman weist darauf hin, dass viele zum Teil auch unvorhersehbare Faktoren das Geschehen auf einer Intensivstation beeinflussen können, wie etwa neue administrative Vorgaben, Veränderungen in der Infrastruktur, oder medizinisch-technische Innovationen (Weissman, 2000). Zwar lassen sich solche Veränderungen nicht direkt in der elektronischen Patientenakte nachweisen, jedoch könnte man eine sich verändernde Aufnahmepraxis in der betrachteten Intensivstation vermuten, die verstärkt auf komplexere Fälle mit hoher Krankheitschwere und längerer Aufenthaltszeit setzt. Dabei könnten, wie von Weissman erläutert, auch veränderte Vorgaben wie etwa eine angestrebte Erhöhung des Case Mix-Index ursächlich sein; auch Veränderungen auf anderen Stationen, insbesondere chirurgischen, innerhalb des Krankenhauses, wie z.B. die Spezialisierungen auf komplexere Krankheitsbilder die auch die Intensivmedizin beeinflussen, könnte zu einer Anpassung der Aufnahmepraxis führen. So ging dieser Trend auch mit einer Zunahme der Krankheitschwere gemessen am mittleren SAPS II-Score einher, wobei indes der Pflegeaufwand gemessen am mittleren TISS-10-Score unverändert blieb.

Insgesamt kann die Kohorte der in den Jahren 2007-2012 aufgenommenen Patienten hinsichtlich ihrer demographischen Merkmale also als repräsentativ für andere Intensivstationen betrachtet werden. Bezüglich der durchschnittlichen bzw. medianen Liegedauer, der mittleren Krankheitsschwere und Pflegeaufwands, sowie der vergangenen Trends hin zu einer geringeren Aufnahmezahl mit gleichzeitig steigender Liegedauer und Krankheitsschwere können indes keine allgemeingültigen Aussagen getroffen werden. Wie bereits in der Einleitung dieser Arbeit sowie in Bezug auf Weissmann erwähnt, sind diese Parameter von einer Vielzahl weiterer Faktoren abhängig. Nichtsdestotrotz repräsentiert die hier betrachtete Station die operative Intensivmedizin eines Krankenhauses der Maximalversorgung, sodass davon ausgegangen werden kann, dass die hier in der retrospektiven Analyse betrachtete Versorgungsrealität durchaus auch auf andere Krankenhäuser dieser Grundgesamtheit zutrifft. Auch die demographische Struktur der für diese Projektion verwendeten Basisbevölkerung ist nicht untypisch sondern mit anderen Landkreisen und kreisfreien Städten vergleichbar (Menning et al., 2010). Der hier dargestellte demographische Wandel bzw. die Projektion dessen der Stadt Mannheim ist also ebenfalls mit dem anderer Städte und deren umliegender Gebiete vergleichbar.

4.2 Die Antibiotikatherapie im Altersgruppenvergleich

Für die genauere Betrachtung der Versorgungsrealität auf der ausgewählten Intensivstation wurden mit der Antibiotikatherapie, der Beatmung und dem Nierenersatz drei für die Intensivmedizin typische Therapiemodalitäten herangezogen. Bezüglich der Antibiotikatherapie lag die Auswahl zur Analyse in dieser Arbeit in der besonderen Anfälligkeit von Intensivpatienten für Infektionen begründet. So können Infektionen vor allem durch häufig eingesetzte invasive Therapiemethoden hervorgerufen werden, was gleichzeitig eine höhere Wahrscheinlichkeit zur Verbreitung antibiotikaresistenter Keime zur Folge hat (Vitrato et al., 2014; Walther et al., 2002). Besonders die Beatmung gilt als Risikofaktor für eine Infektion (beatmungsassoziierte Pneumonie) und ist daher ein häufiger Grund zur Indikation der Antibiotikatherapie auf Intensivstationen (Fihman et al., 2015; Meyer et al., 2007). Daneben gelten postoperative Wundinfektionen sowie Harnwegsinfektionen als häufige Gründe nosokomialer Infektionen in Krankenhäusern allgemein (Behnke et al., 2013). Der Verdacht bzw. die Bestätigung multiresistenter Keime führen zudem zu einer weiteren Erhöhung des Antibiotikaverbrauchs, welcher wiederum die weitere Ausbreitung multiresistenter Keime zusätzlich begünstigen kann (Fihman et al., 2015).

Auf der hier betrachteten Intensivstation betrug die Prävalenz der Antibiotikatherapie über den gesamten Beobachtungszeitraum 32,7%. Diese Prävalenz unterscheidet sich in zweifacher Hinsicht deutlich von den Prävalenzzahlen der zweiten nationalen Prävalenzstudie zu

nosokomialen Infektionen und Antibiotika-Anwendung in Deutschland: So lag die Gesamtprävalenz der Antibiotikatherapie in allen teilnehmenden Krankenhäusern der Prävalenzstudie bei 25,5%, während die Prävalenz auf den darunter befindlichen Intensivstationen gar bei 50,5% lag (Behnke et al., 2013). Somit lag der Ressourcenverbrauch bei Antibiotika in der Operativen Intensivstation der Universitätsmedizin Mannheim deutlich unter dem der für die nationale Prävalenzstudie herangezogenen Intensivstationen, wobei dort keine Unterscheidung zwischen den verschiedenen Arten von Intensivstationen, wie beispielsweise internistisch, chirurgisch oder neurologisch, nachvollzogen werden kann. Dennoch scheint der auffällige Unterschied in der Antibiotikatherapieprävalenz nicht außergewöhnlich zu sein: In einer Vergleichsstudie zum Einsatz von Antibiotika auf 30 schwedischen Intensivstationen kommen Walther et al. zu dem Ergebnis, dass es ebenfalls deutliche Unterschiede im Antibiotikaverbrauch zwischen den verschiedenen Stationen gab (Walther et al., 2002). Zwar präsentierten die Autoren keine Prävalenzahlen, sondern beziehen sich auf den Verbrauch gemessen in defined daily doses (DDD) (Maxwell et al., 1993), jedoch kann auch bei dieser Methode von entsprechend unterschiedlichen Anteilen behandelter Patienten zwischen den jeweiligen Stationen ausgegangen werden.

Eine weitere Auffälligkeit in der Prävalenz der Antibiotikatherapie konnte im Geschlechterverhältnis der behandelten Patienten ausgemacht werden. So war der überwiegende Teil männlich (65,5%), auch innerhalb der verschiedenen Altersgruppen. Hier stellt sich die Frage, inwieweit unterschiedliche Therapiemodalitäten auch im Geschlechtervergleich und somit nicht nur im Altersgruppenvergleich, wie primär in dieser Arbeit untersucht, in der Intensivtherapie zum Einsatz kommen könnten. Zwar wurde diese Fragestellung in Bezug auf die Antibiotikatherapie in der Literatur noch nicht eingehend untersucht, jedoch konnte bislang zumindest für die Intensivtherapie allgemein kein Unterschied in der Behandlung zwischen männlichen und weiblichen Patienten festgestellt werden (Fowler et al., 2007; Reinikainen et al., 2005; Valentin et al., 2003). Einzig Nachtigall et al. weisen in ihren Ergebnissen auch auf die Antibiotikatherapie hin, bei der sie in einer Sepsis-Kohorte keine Unterschiede feststellen (Nachtigall et al., 2011). Ein möglicher Erklärungsansatz für den hohen Anteil männlicher Patienten könnte in deren stärkeren Anfälligkeit für (nosokomiale) Infektionen liegen. So stellen einige Autoren ein höheres Risiko für beatmungsassoziierte Infektionen, Mediastinitis und gramnegative Infektionen bei Männern fest (Chelazzi et al., 2015; Combes et al., 2009; Lewis et al., 2014). Dem gegenüber steht allerdings eine höhere Wahrscheinlichkeit für Harnwegsinfektionen bei weiblichen Patienten (Combes et al., 2009; Temiz et al., 2012). Zieht man jedoch alle möglichen Infektionen in Betracht, so ließe sich die höhere Prävalenz der Antibiotikatherapie bei Männern in dieser Kohorte tatsächlich über eine mögliche höhere Infektionsrate erklären. Mikrobiologische

Daten, die diese Vermutung bestätigen könnten, lagen jedoch zum Zeitpunkt der Analyse für diese Kohorte nicht vor.

Als weiterer Parameter in der Antibiotikatherapieanalyse wurden die verschiedenen Wirkstoffklassen betrachtet. Dabei stellte sich heraus, dass aufgrund des Verhältnisses von Patiententagen und Antibiotikatherapietagen in der Regel mehrere unterschiedliche Wirkstoffgruppen pro therapiertem Patient zum Einsatz kamen. Neben dem Makrolid Erythromycin, welches häufig als Prokinetikum eingesetzt wird, dominierten dabei vor allem Penicilline, Cephalosporine, Carbapeneme, Fluorchinolone und Imidazole den Antibiotikaverbrauch auf der hier betrachteten Intensivstation. Zwar ist die Häufigkeit der eingesetzten Wirkstoffe abhängig von den jeweils zugrundeliegenden Infektionen, jedoch decken sich die hier beobachteten Anteile der einzelnen Wirkstoffgruppen mitunter auch mit denen des in der Literatur berichteten Antibiotikaverbrauchs. So berichten Diaz-Martín et al. ebenfalls von einem hohen Verbrauch an β -Lactam-Antibiotika sowie Carbapenemen und Chinolonen in 77 spanischen Intensivstationen (Diaz-Martín et al., 2012). Auch die bereits zitierte Studie von Walther et al. berichtet von einem hohen Anteil an Cephalosporinen gefolgt von Penicillinen, Carbapenemen und Fluorchinolonen (Walther et al., 2002). Ähnliche Verteilung findet sich auch in weiteren, von Meyer et al. untersuchten deutschen Intensivstationen, wobei auch hier der Antibiotikaverbrauch insgesamt zwischen den Stationen stark unterschiedlich ist (Meyer et al., 2010).

Zwischen den verschiedenen Altersgruppen konnte indes kein relevanter Unterschied in der Therapieintensität ausgemacht werden. Somit zeigt sich, dass das Alter trotz unterschiedlich hoher beobachteter Behandlungshäufigkeit bei einmal begonnener Therapie keinen Einfluss auf die Intensität der Therapie hatte. Entscheidend für die Ressourcenbedarfsprojektion mit dem hier entwickelten Modell ist allerdings die der jeweiligen Altersgruppe zugrundeliegende Behandlungshäufigkeit der Antibiotikatherapie, die in der Altersgruppe der 65-79-jährigen am höchsten war. Bei entsprechend weiterwachsenden Anteilen dieser Patientengruppe hätte dies schließlich einen höheren Antibiotikaverbrauch zur Folge. Fraglich bleibt indes, wieso trotz unterschiedlicher Behandlungshäufigkeiten in der Antibiotikatherapie zwischen den verschiedenen Altersgruppen durch statistische Adjustierung eine gleichhohe Therapieintensität ermittelt werden konnten. Hierfür muss der Blick auf die jeweils vorausgehende Therapieentscheidung gelegt werden, die möglicherweise zuungunsten älterer Patienten ab dem 80. Lebensjahr fallen könnte. Dass gerade solche Patienten als „too sick to benefit“ (möglicherweise aber auch als „too good to benefit“) eingestuft werden, hat in der Literatur bereits Bestätigung gefunden (Garrouste-Orgeas et al., 2009). Zudem könnte die Entscheidung gegen eine

Antibiotikatherapie bei älteren Patienten auch vor dem Hintergrund der Gefahr der weiteren Resistenzbildung oder Vorenthaltung zugunsten von anderen, jüngeren Patienten mit besserer Prognose gefallen sein (Niederman and Berger, 2010). Nicht zuletzt ist diese Diskrepanz aber auch dadurch erklärbar, dass gerade die hochbetagten Patienten in der betrachteten Kohorte häufig wegen ihrer vorbestehenden Grunderkrankungen zur postoperativen Überwachung aufgenommen worden waren und sich diese Patientengruppe gleichzeitig durch eine niedrige Behandlungswahrscheinlichkeit mit Antibiotika auszeichnet.

4.3 Die Beatmungstherapie im Altersgruppenvergleich

Als zweite Therapiemodalität wurde die Beatmungstherapie ausgewählt. Diese Therapie ist nicht nur für den Ressourcenverbrauch auf einer Intensivstation allgemein von Bedeutung, sondern auch für die hier durchgeführte Projektion des künftigen Ressourcenbedarfs, dient doch die Beatmung hier als Auswahlkriterium für die Zahl wahrscheinlich aufgenommener Patienten. Besonders im Hinblick auf den demographischen Wandel und damit verbunden auf die Therapie älterer Patienten ist die Beatmung interessant. So deuten zum einen Lerolle et al. auf eine steigende Intensität, dort definiert als steigende Behandlungshäufigkeit, mechanischer Beatmung bei älteren Patienten im Zeitverlauf hin (Lerolle et al., 2010), zum anderen machen Farfel et al. und Esteban et al. deutlich, dass ältere beatmete Patienten eine besonders hohe Krankenhaussterblichkeit aufweisen (Esteban et al., 2004; Farfel et al., 2009).

Auf der operativen Intensivstation der Universitätsmedizin Mannheim konnte im Beobachtungszeitraum von 2007 bis 2012 eine Prävalenz der Beatmungstherapie von 32,2% gefunden werden. Auch hier lassen sich große Unterschiede zu Prävalenzzahlen in der Literatur finden: So beziffert eine prospektiv angelegte Studie mit Daten aus 87 österreichischen Intensivstationen, in der zwei Patientengruppen mit dem Alter von 80 Jahren als Trenngröße betrachtet wurden, die Beatmungsprävalenz in beiden Altersgruppen auf jeweils über 50% (55,0% für Patienten ≤ 80 , 50,3% für Patienten > 80 Jahre) (Ihra et al., 2012). Eine ähnlich hohe Prävalenz mit 52,0% liefern auch Bagshaw et al. aus Intensivstationen aus Australien und Neuseeland (Bagshaw et al., 2009). Allerdings wurden in diesen Studien ausschließlich Patienten mit einem Mindestaufenthalt von 24 Stunden (Bagshaw et al., 2009) bzw. einem gültigen SAPS II-Score (Ihra et al., 2012) in die Studie eingeschlossen, was den Anteil beatmeter Patienten sicherlich erhöht.

Ähnlich wie bei der Antibiotikatherapie konnte auch in der Beatmungstherapie ein wesentlich höherer Anteil männlicher Patienten beobachtet werden. Dieser lag zwar mit knapp 60% unter dem Anteil männlicher Patienten die mit Antibiotika behandelt wurden und ähnelt mehr dem Anteil männlicher Patienten in der Gesamtkohorte, jedoch stellt sich auch hier die Frage warum

ein deutlich geringerer Teil weiblicher Patienten überhaupt während ihres Aufenthaltes beatmet wurden. Aufschluss könnte die Geschlechterverteilung innerhalb der verschiedenen Altersgruppen in Bezug auf die Behandlungshäufigkeit geben. So wurde gezeigt, dass in nahezu allen Altersgruppen mehr Frauen als Männer beatmet wurden, womit eine systematisch geringere Behandlungshäufigkeit ausgeschlossen werden kann; einzig die Altersgruppen 30-44 Jahre sowie die beiden Gruppen ab dem Alter von 65 Jahren zeigten eine höhere Behandlungshäufigkeit männlicher Patienten. Dies ist besonders auch vor dem Hintergrund interessant, dass zum einen die Altersgruppe der 65-79-jährigen die größte der gesamten Kohorte ist, zum anderen weil in der Gruppe der über 80-jährigen eigentlich weibliche Patienten am häufigsten vertreten sind. Zwar wurde außerdem gezeigt, dass die Behandlungshäufigkeit mit zunehmendem Alter stetig abnimmt, doch birgt der hohe Anteil männlicher beatmeter Patienten in den beiden ältesten Altersgruppen für die Projektion des künftigen Ressourcenaufwands eine wichtige Erkenntnis, wie im weiteren Verlauf der Ergebnisdiskussion gezeigt wird.

Des Weiteren zeigen die Behandlungshäufigkeiten im Altersgruppenvergleich Ähnlichkeiten mit publizierten Häufigkeiten aus anderen Studien. Während die Behandlungshäufigkeit der hier betrachteten Intensivstation zwischen 31,2% (≥ 80 -jährige) und 41,8% (25-29-jährige) lag, berichten beispielsweise Brandenburg et al. und Boumendil et al. von ähnlich hohen Behandlungshäufigkeiten für ≥ 80 -jährige Patienten (28,3% bzw. 33,5%) (Boumendil et al., 2005; Brandenburg et al., 2013). Dass jedoch ältere Patienten im Vergleich zu anderen Altersgruppen eine geringere Behandlungshäufigkeit aufweisen, findet sich ebenfalls in der Literatur wieder (Andersen and Kvåle, 2012; Bagshaw et al., 2009; Boumendil et al., 2005; Brandenburg et al., 2013; Ihra et al., 2012). Die geringere Behandlungshäufigkeit ging dabei auch mit einer kürzeren medianen Beatmungsdauer einher. Lag das Maximum von 21 Beatmungsstunden noch in der Gruppe der 45-59-jährigen, so sank die Beatmungszeit in der Gruppe der ≥ 80 -jährigen auf das Minimum von 15 Stunden. Auch Andersen und Kvåle berichten von einer geringeren medianen Beatmungszeit ≥ 80 -jähriger Patienten im Vergleich zu jüngeren, wobei die Autoren ausschließlich Patienten mit einem Mindestaufenthalt von 24 Stunden in ihre Berechnung aufnahmen, was auch die höheren medianen Beatmungszeiten von ca. 19 Stunden für ≥ 80 -jährige und ca. 46 Stunden für 50-79-jährige Patienten erklären könnte (Andersen and Kvåle, 2012). Neben der abnehmenden Behandlungshäufigkeit und -dauer konnte zudem ein Muster in der Behandlungsintensität maschineller Beatmung festgestellt werden. Verglichen mit ≥ 80 -jährigen beatmeten Patienten zeigte das hier angewendete zero-inflated Poisson Modell eine höhere Behandlungsintensität bei Patienten in den Altersklassen zwischen 45 und 79 Jahren, während die Behandlungsintensität bei Patienten zwischen 18 und 44 Jahren geringer war. Dies ist umso

bemerkenswerter, da sowohl die Behandlungshäufigkeit als auch die mediane Beatmungszeit bei jüngeren Patienten stets höher war als die der höchsten Altersgruppe. Da die Behandlungsintensität in diesem Modell aber letztlich in gewissem Maße abhängig von der Liegedauer ist, würde dies also bedeuten, dass bei jüngeren Patienten zwischen 18 und 44 Jahren ein geringerer Anteil ihrer Aufenthaltszeit exponiert war, was sich, mit Ausnahme der Altersgruppe der 25-29-jährigen, auch bestätigte (siehe Tabelle 10).

Betrachtet man alle Ergebnisse der Beatmungsanalyse für die größte Altersgruppe der 65-79-jährigen, so kann festgehalten werden, dass diese Gruppe einen vergleichsweise eher moderaten Ressourcenverbrauch in der Beatmungstherapie für sich beansprucht. Eine künftige mögliche Steigerung des Ressourcenverbrauchs in der Beatmungstherapie, die maßgeblich durch diese Altersgruppe beeinflusst werden könnte, würde also hauptsächlich durch eine wachsende Zahl an Patienten herbeigeführt werden und weniger durch die in dieser Gruppe gefundenen Therapiemerkmale.

4.4 Nierenersatzverfahren im Therapiegruppenvergleich

Als letzte Therapiemodalität wurden Nierenersatzverfahren untersucht. Hier betrug die Prävalenz im Beobachtungszeitraum 2,1%, was sich auch mit in der Literatur genannten Zahlen deckt. So beziffern beispielsweise Prasad et al. die Prävalenz von akutem Nierenversagen in drei kanadischen Intensivstationen auf knapp 16%, während ca. 4% der gesamten betrachteten Kohorte letztlich per Nierenersatzverfahren therapiert wurde (Prasad et al., 2016). Auffällig war in der deskriptiven Betrachtung, dass die hiesige Patientengruppe eine vergleichsweise lange Aufenthaltszeit hatte, was sicherlich auch auf die Komplexität und Schwere der klinischen Situation von Patienten mit Nierenversagen zurückzuführen sein dürfte. Zusammen mit der Tatsache, dass knapp der Hälfte der Aufenthaltszeit exponiert war, lässt die lange Liegedauer dieser schwerkranken Patienten auch auf einen hohen Ressourcenbedarf schließen, zumal fast alle dieser Patienten auch zusätzlich beatmet waren. Zwar könnte der hohe Ressourcenbedarf aufgrund der anteilsmäßig geringen Menge an Patienten leicht unterschätzt werden, doch geht ein langer Aufenthalt mit zusätzlichen Begleittherapien auch oft mit einem vergleichsweise hohen Pflegeaufwand sowie einem erhöhten Risiko von Folgekomplikationen und nosokomialen Infektionen einher (Houllé-Veyssière et al., 2016). Diese Umstände machen diese Patientengruppe also besonders prädestiniert für einen genaueren Einblick in etwaige Therapieunterschiede sowie die Hinzunahme in die Projektion des künftigen Versorgungsbedarfes.

Eine weitere Auffälligkeit lag im deutlich geringeren Anteil an Patienten ≥ 80 Jahren in dieser Gruppe. Auch die von Prasad et al. untersuchte Kohorte war mit einem Durchschnittsalter von

ca. 59 Jahren vergleichsweise jung (Prasad et al., 2016), obwohl insbesondere ältere Patienten eigentlich eine hohe Anfälligkeit für akutes Nierenversagen aufweisen (Bagshaw et al., 2007; Chronopoulos et al., 2010) und somit eher für eine Nierenersatztherapie in Frage kommen könnten. Zwar wurde bei dieser Analyse auf einen umfangreichen Altersgruppenvergleich verzichtet, jedoch zeigt schon der auffällig geringe Anteil über 80-jähriger Patienten mit Nierenersatztherapie, dass hochbetagte Patienten entweder ein geringeres Risiko oder aber keinen vergleichbaren Zugang zu dieser Therapie auf der betrachteten Intensivstation hatten. Letzte Vermutung könnte dabei wieder auf den Aufnahmeprozess bzw. auf die Kriterien „too good/bad to benefit“ zurückzuführen sein. Ebenso wäre es möglich, dass ältere Patienten, welche ohnehin dialysepflichtig sind, eher auf einer Normalstation mit einem Nierenversagen behandelt werden und sich die Nierenersatztherapie auf der operativen Intensivstation eher auf schwerwiegende, akute Fälle beschränkt. So bescheinigen auch Vargas et al., dass die Epidemiologie der Nierenersatzverfahren aufgrund der verschiedenen möglichen Settings noch undefiniert ist (Vargas et al., 2017). Als weitere Möglichkeit ist zudem auch hier die bereits für die Antibiotikatherapie (siehe Kapitel 4.2) diskutierte häufige postoperative Überwachung älterer Patienten, bei welchen das Risiko eines Nierenersatzverfahrens eher gering ist, zu nennen.

Letztlich entscheidend für die Beurteilung der Therapieintensität war in diesem Falle abweichend der Beatmungsstatus. Hier zeigte sich im adjustierten Modell, dass die Therapieintensität nicht von einer zusätzlichen Beatmung abhängig ist. Da knapp 90% der therapierten Patienten zusätzlich beatmet war, lässt dies auf eine Korrelation dieser beiden Therapien schließen, was somit den Ressourcenaufwand potentiell vergrößern könnte. Nichtsdestotrotz schlägt jedoch nach wie vor der mit der langen Liegedauer sowie der häufigen Doppeltherapie mit maschineller Beatmung automatisch hohe Ressourcenverbrauch bei Patienten mit Nierenersatzverfahren zu Buche, welcher künftig durch die potentiell wachsende Zahl an Patienten weiter steigen dürfte.

4.5 Diskussion des Rechenmodells zur Prognose des Ressourcenbedarfs

Die in der retrospektiven Analyse ermittelten Ergebnisse stellen letztlich die Grundlage für das hier entwickelte Projektionsmodell zur Abschätzung des künftigen Ressourcenbedarfs in der Intensivmedizin dar. Im Vergleich zu anderen Projektionsmodellen aus der Literatur (Angus et al., 2000; Needham et al., 2005; Corke et al., 2009) unterscheidet sich diese Methode dabei vor allem hinsichtlich der Vielschichtigkeit und Komplexität, die es möglich macht, die genaue Bettenbelegung auf der Station sowie den damit verbundenen Ressourcenaufwand zu einem beliebigen Zeitpunkt zu prognostizieren. Zudem besticht dieses Modell damit, die drei

bekannten Morbiditätstheorien mit zu verknüpfen und dadurch mögliche Veränderungen in der Krankheitslast der Basisbevölkerung abzubilden. Somit beschränkt sich dieses Modell beispielsweise also auch nicht auf eine bloße Verknüpfung demographischer Prognosen mit standardisierten Raten oder anderen Maßzahlen, wie es in einigen Studien unternommen wird (Needham et al., 2005; Reinikainen et al., 2007). Wie in der Einleitung unter Kapitel 1.3 erläutert, würde eine solche Fortschreibung zwar den möglichen Bedarf in einer Bevölkerung insgesamt bei sonst unveränderten Parametern darstellen, jedoch würde dies die Versorgungsrealität in einem System begrenzter Ressourcen nicht genau widerspiegeln.

Grundgedanke der hier vorgestellten Methode war daher, den Verlegungsprozess auf die Intensivstation mithilfe eines zusätzlichen Faktors zu simulieren, der den vorrangigen Bedarf intensivmedizinischer Behandlung impliziert, sowie die tatsächliche Auslastung der Station mit zu berücksichtigen. Die Stationsauslastung, die als der Anteil der Bettenstunden definiert wurde in denen die Patienten tatsächlich das Bett physisch belegten, betrug hier 80,7%. Somit unterscheidet sich diese Quote nur geringfügig vom häufig definierten Ziel der 85%igen Auslastung in Krankenhäusern allgemein (Green, 2002; Hagen et al., 2013) und in der Literatur bezifferten mittleren Auslastungen in Intensivstationen von beispielsweise 75% (Green, 2002) oder 83% (McManus et al., 2004). Mithilfe der Beatmungstherapie als Voraussetzung für eine bevorzugte Aufnahme konnte schließlich die nicht unbegrenzt mögliche Aufnahme aufgrund beschränkter Kapazitäten simuliert werden. Dabei ist die Beatmung als Proxy zu verstehen, der eine Simulation der Bettenzuweisung möglich macht. Zwar zeigen Orsini et al., dass die Wahrscheinlichkeit für eine Aufnahme auf die Intensivstation letztlich mit der Krankheitsschwere in positivem Zusammenhang steht (Orsini, 2014); jedoch erweist sich die Beatmung letztlich als pragmatischere Wahl, da somit gleichzeitig ein wichtiger Parameter für den Ressourcenbedarf verarbeitet wird.

Darüber hinaus zeigt diese Vorgehensweise Ähnlichkeiten mit anderen, etablierten Methoden der Ressourcenschätzung aus der Literatur. Als besonderer Einfluss soll an dieser Stelle die Warteschlangentheorie genannt werden. Dieses mathematische Modell findet in der Modellierung von Wirtschaftsabläufen Anwendung, um beispielsweise die Auslastung im unregelmäßigen Kundenverkehr zu quantifizieren (Terwiesch et al., 2011). Aber auch in Simulationen für das Krankenhaussystem findet sich die Warteschlangentheorie wieder (Hagen et al., 2013; Mathews and Long, 2015; McManus et al., 2004; Yang et al., 2013). Übersetzt auf dieses System sind dabei drei Parameter entscheidend: Die Aufnahmezeit, die Liegedauer, und die Zahl der Betten (McManus et al., 2004; Yang et al., 2013). Idealerweise würden Patienten in

geordneten Zeitabläufen aufgenommen, hätten die gleichen Beschwerden und würde die gleiche Behandlung bei gleicher Liegedauer erhalten (Hagen et al., 2013). Um aber die Realität mit ihren ungeplanten Aufnahmen, unterschiedlichen Beschwerden und ungleichen Liegezeiten besser abbilden zu können, zeigen verschiedene Studien mögliche statistische Verteilungen von Warte- und Liegezeiten, sowie verschiedene Methoden und Parameter für eine bevorzugte Aufnahme innerhalb der Warteschlange. Eine Übersicht über einige dieser Überlegungen zeigen Hagen et al. in ihrer Vergleichsstudie zu Warteschlangenmodellen für unterschiedliche Intensivstationen (Hagen et al., 2013).

Der wohl entscheidende Unterschied zu den Modellen der Warteschlangentheorie liegt bei der hier vorgestellten Methode jedoch in der ausschließlich prospektiven Ausrichtung durch die Verknüpfung mit demographischen Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung im Einzugsgebiet. Zwar lassen sich mithilfe der Warteschlangentheorie interne Abläufe im gegenwärtigen Stationsbetrieb optimieren, jedoch ziehen sie nicht automatisch mögliche Veränderung sowohl in der demographischen Zusammensetzung potentieller Patienten als auch in der Krankheitslast der Allgemeinbevölkerung in Betracht. Von einer Dynamik dieser beiden Parameter ausgehend, kann das hier entwickelte Modell letztlich flexibel jede mögliche Veränderung in Betracht ziehen und untereinander kombinieren, wobei sich einige der vorgestellten Szenarien sicherlich als etwas wahrscheinlicher darstellen als andere. So würde man eher von einem weiteren Bevölkerungszuwachs im hier betrachteten Einzugsgebiet als von einem Bevölkerungsrückgang ausgehen, wird letzteres doch einzig vom Szenario der Zuzugsminderung angenommen. Lediglich in der Entwicklung der Krankheitslast kann eine eindeutige Tendenz, wie bereits in der Einleitung unter Kapitel 1.2 erwähnt, nicht erkannt werden, zumal gängige Theorien und Überlegungen zur Entwicklung der Krankheitslast ohnehin nur schwer auf die Intensivmedizin mit ihren spezielleren Krankheitsfällen übertragen werden können.

Mit der Expansions- und Kompressionsthese wurden zwei Theorien in das Modell integriert, die letztlich zwei Extreme darstellen, während das Dynamische Gleichgewicht gewissermaßen bezüglich seiner Annahmen zwischen diesen beiden Extremen liegt. Somit könnte die Entwicklung der Krankheitslast im Sinne des Dynamischen Gleichgewichts möglicherweise die realistischste Variante sein, wie auch die EU-Kommission in ihrer Vorausberechnung von Gesundheitsausgaben annimmt (Economic Policy Committee and the European Commission (DG EC-FIN), 2016). Wie erwähnt, ist auch die von ihr verwendete Rechenmethode eine Grundlage für das hiesige Modell. Durch stetiges Anheben des Überweisungsfaktors in älteren Altersgruppen bzw., je nach Morbiditätsszenario, Absenken des Überweisungsfaktors in einigen

Altersgruppen, konnte das Risiko, auf die Intensivstation aufgenommen zu werden, bei möglicherweise steigender oder sinkender Krankheitslast im Zuge der demographischen Alterung annähernd simuliert werden. Dies entspricht also in etwa der Methode der EU-Kommission für die Angleichung der steigenden Lebenserwartung eines Landes an die vom Bruttoinlandsprodukt abhängigen Gesundheitsausgaben (Economic Policy Committee and the European Commission (DG ECFIN), 2016).

Somit ergibt sich für die Replikation dieser Methode auf anderen Intensivstationen eine Art Baukasten, der aus zwei wesentlichen Werkzeugen besteht, welche eine Simulation für den künftigen Versorgungsbedarf bis zu einer wie hier gezeigten Komplexität möglich machen können. Diese beiden Werkzeuge stellen Datensätze zur bisherigen und möglichen künftigen demographischen Entwicklung der Bevölkerung im Einzugsgebiet der Intensivstation sowie zum bisherigen Ressourcenaufwand für Intensivpatienten, idealerweise in Form einer elektronischen Patientenakte dar. Für die Genauigkeit der Methode ist zum einen entscheidend, ob beide Datensätze nach Geschlecht und Altersgruppen gegliedert sind, da sich, wie gezeigt wurde, der Ressourcenbedarf nicht nur zwischen verschiedenen Altersgruppen, sondern auch zwischen den beiden Geschlechtern unterscheiden kann. Zum anderen sollte die Datengrundlage aus der Intensivstation genügend Informationen über den Einsatz verschiedener Therapien geben, nicht zuletzt, um einen Proxy für die bevorzugte Aufnahme in der prospektiven Ressourcensimulation zu generieren, wie hier mit der Beatmung geschehen. Zudem ist eine vorausgehende retrospektive Betrachtung des Versorgungsgeschehens sowie insbesondere der Entwicklung der Aufnahmen nötig. Nur so kann letztlich die Ressourcenprojektion zusätzlich mit den drei Theorien der Morbiditätsentwicklung anhand des Überweisungsfaktors verknüpft werden und für mögliche externe Veränderungen flexibel bleiben.

4.6 Zusammenfassung: Die Auswirkungen des demographischen Wandels auf den künftigen Versorgungsbedarf in der Intensivmedizin

Wie bereits angedeutet, kann für die künftige demographische Entwicklung sowie für das weitere Morbiditätsgeschehen am ehesten die Basisprognose bzw. die Theorie des Dynamischen Gleichgewichts angenommen werden. Obwohl beide Entwicklungen keine Extreme darstellen, hätte eine Kombination für die Zusammensetzung der Intensivstation in den nächsten Jahren dennoch deutliche Konsequenzen.

Im Ergebnis zeigt das Szenario des Dynamischen Gleichgewichts im Vergleich zwischen den jeweiligen demographischen Szenarien stets ähnliche Resultate für den künftigen

Ressourcenbedarf. So würde die Aufnahmezahl im Vergleich zu den anderen Morbiditätsszenarien moderat ansteigen, sowie die benötigte zusätzliche Bettenzahl mindestens vier bis, je nach demographischem Szenario, sieben zusätzliche Betten betragen, was einer Kapazitätserhöhung von 15,4% bis 26,9% entsprechen würde. Anders als in den anderen Morbiditätsszenarien hätte allerdings eine Entwicklung der zukünftigen Patientenzahl bei dynamischem Gleichgewicht der Morbidität zur Folge, dass die Alterung auf der Intensivstation am stärksten zunehmen würde. Zwar wäre bei Kompression der Morbidität der Anteil der über 80-jährigen Patienten höher, jedoch wäre der Altenquotient bei Hinzunahme der Altersgruppe 65-79 im Szenario des Dynamischen Gleichgewichts insgesamt am höchsten. Sollte als dieses Szenario von allen Morbiditätsszenarien als das wahrscheinlichste angenommen werden, würde dies für das künftige Patientenkollektiv die größten Veränderungen mit sich ziehen.

Unter dem Aspekt der für dieses künftige Patientenkollektiv aufzubringenden Ressourcen könnte, neben der Zahl an zusätzlichen Betten von bis zu sieben, auch vor allem die Beatmungstherapie erst recht häufiger eingesetzt werden als bislang. So würde im Vergleich zu den anderen Szenarien die Zahl der beatmeten Patienten am zweithöchsten sein und lediglich im Falle einer Expansion der Morbidität übertroffen werden. Würde sich zudem die Basisbevölkerung gemäß der Basisprognose entwickeln, so würde zusätzlich auch der Anteil derjenigen Patienten steigen, die neben der Beatmungstherapie auch zusätzlich Antibiotika erhalten. Unmittelbare Folgen dieses erhöhten Ressourcenaufwands wären höhere Ausgaben sowie ein höherer Personalaufwand.

Besonderes Augenmerk sollte hinsichtlich der demographischen Entwicklung der wahrscheinlich aufgenommenen Patienten auf die Intensivstation auf die Gruppe älterer Männer ab dem 65. Lebensjahr gelegt werden. Nicht nur wird der Anteil der Männer in der älteren Bevölkerung generell künftig stark ansteigen (Statistisches Bundesamt, 2015); auch auf der Intensivstation würde sich diese demographische Veränderung entsprechend bemerkbar machen. Stellen männliche Intensivpatienten ohnehin schon mehr als die Hälfte der Patienten, und damit einhergehend oftmals einen entsprechend höheren Ressourcenverbrauch, so würde ein Zuwachs in ebenjenen stark ressourcenbeanspruchenden Altersgruppen die Intensivstation künftig vor noch größere Herausforderungen stellen.

Die „Intensivstation der Zukunft“, wie sie in dieser Arbeit skizziert werden sollte, würde also von einer weiter voranschreitenden Alterung gekennzeichnet, wie sie auch in der Allgemeinbevölkerung zu beobachten sein wird. Wesentlicher Unterschied wäre hier jedoch das höhere Durchschnittsalter sowie die Dominanz von Patienten in der Altersgruppe von 65 bis unter 80

Jahren, die nach wie vor den Großteil der Intensivversorgung in Anspruch nehmen würden. Zudem könnte das Patientenkollektiv der Intensivstation der Zukunft noch männlicher werden, da ein wesentlich größerer Teil der männlichen Bevölkerung ein hohes Alter erreichen und somit potentiell intensivmedizinische Versorgung in Anspruch nehmen könnte. Vor allem die ressourcenintensive Beatmungstherapie würde zudem häufiger eingesetzt, was zugleich mit einem sich verändernden Patientenkollektiv in Hinblick auf die Krankheitsschwere und sonstiger eingesetzter Therapien führen könnte.

Würden also die Patienten auf der Intensivstation der Zukunft älter und kränker, müsste bei gleichbleibenden Kapazitäten die Zahl der Betten entsprechend erhöht werden, um auch alle weiteren Patienten, die beispielsweise nur zur Nachbeobachtung nach operativen Eingriffen oder ohne invasive Therapie wie die künstliche Beatmung aufnehmen zu können. Dies stellt gleichzeitig die Frage nach der übergreifenden Ausrichtung bzw. strukturellen Veränderung des gesamten Krankenhausbetriebes. So skizzieren Vincent und Creteur in ihren Überlegungen zum Krankenhaus der Zukunft unter anderem, dass durch die voranschreitende Digitalisierung nicht nur die Telemedizin einen immer höheren Stellenwert einnehmen wird, sondern dadurch auch Personal reduziert werden könnte (Vincent and Creteur, 2017). Zudem vermuten die Autoren, dass die Intensivstation in einem immer spezialisierteren Krankenhaus künftig nicht mehr als feste, eigenständige Station existieren könnte, sondern dass einzelne Betten bei Bedarf zu Intensivbetten umfunktioniert werden könnten (Vincent and Creteur, 2017). Doch unabhängig vom tatsächlichen Standort der Betten sind auch Vincent und Creteur davon überzeugt, dass aufgrund der zunehmenden Krankheitsschwere und damit einhergehenden spezialisierten Behandlung im Krankenhaus der Zukunft generell mehr Intensivbetten benötigt werden (Vincent and Creteur, 2017).

4.7 Stärken und Limitationen der Arbeit

Diese Arbeit und ihre zugrundeliegende Methodik beinhalten mehrere Stärken, aber auch Limitationen. So liegt es in der Natur einer Projektion, dass ihre Gültigkeit nicht grundsätzlich angenommen werden kann. Zwar werden hier verschiedene Szenarien vorgestellt, die gewissermaßen, je nach Eintreffen der jeweiligen demographischen oder epidemiologischen Prognose, als Alternativen zueinander gesehen werden können; jedoch besteht trotz alledem eine nicht zu verleugnende Ungenauigkeit, die besonders durch nicht vorhersagbare Ereignisse hervorgerufen werden können. Wie bereits mit Bezug auf Weissman erwähnt wurde, sind es vor allem externe Faktoren die den künftigen Stationsbetrieb beeinflussen können und eine Vorhersage des Versorgungsgeschehens erschweren (Weissman, 2000). Eine mögliche fachliche

Verlagerung des Krankenhauses mit Neuausrichtung auf bestimmte Disziplinen und ein damit einhergehendes verändertes Patientenkollektiv kann nur schwer in ein mathematisches Modell integriert werden, ebenso wie der technologische Fortschritt, der beispielsweise zu effizienteren Therapien und somit unter anderem zu kürzeren Liegezeiten führen könnte.

Zudem beruhen sämtliche Berechnungen, aus denen sich schlussendlich die geschätzte Bettenbelegung ergibt, hauptsächlich auf Durchschnittswerten retrospektiv ermittelter Daten. Zwar ist anzunehmen, dass sich diese Parameter zumindest in naher Zukunft nicht so grundlegend ändern, dass sie die Berechnungsgrundlage dieser Simulation extrem verzerren könnten; jedoch könnten diese Mittelwerte eine möglicherweise bereits in der Vergangenheit eingesetzte Dynamik unterschlagen. Dies könnte erst recht der Fall sein, da der hier betrachtete Zeitraum für die retrospektive Analyse bereits einige Jahre zurückliegt und sich die Gegebenheiten auf der betrachteten Station schon unmittelbar nach dem Jahr 2012 verändert haben könnten. Somit könnte die Aussagekraft der ermittelten Werte zusätzlich geschmälert sein und damit auch die Aussagekraft der Projektionsergebnisse negativ beeinflussen. Auch bezüglich der ermittelten Therapieunterschiede, hier besonders in puncto Behandlungshäufigkeit und -intensität, muss darauf hingewiesen werden, dass die ermittelten Ergebnisse möglicherweise einem selection bias unterliegen könnten, da ältere intensivpflichtige Patienten durch Selektion beim Aufnahmeprozess auf die Intensivstation und damit auch in Studien auf der Intensivstation oftmals nicht repräsentativ für die Gesamtheit der intensivpflichtigen Patienten sind (Vargas et al., 2017).

Ein weiterer Nachteil der Methodik ergibt sich aus der Komplexität, die auf der gegenseitigen Abhängigkeit mehrerer Parameter beruht. Als erstes sei hier der Überweisungsfaktor genannt, der zum einen ebenfalls ein Mittelwert darstellt und zum anderen suggeriert, dass die Patienten unmittelbar ohne Umwege über eine Normalstation auf die Intensivstation aufgenommen werden. Ohne diesen Überweisungsfaktor, der aus einer vorangehenden retrospektiven Analyse hervorgehen muss, können keine Berechnungen zu den potentiell möglichen Aufnahmen in Verknüpfung mit demographischen Prognoseszenarien gemacht werden. Diese potentiell möglichen Aufnahmen sind wiederum nötig, um den Aufnahmeprozess auf eine Station mit begrenzten Kapazitäten zu simulieren, für dessen Durchführung wiederum möglichst detaillierte Informationen über geschlechts- und altersabhängige Liegedauer, Behandlungshäufigkeit (wie hier zur Beatmung als Proxy zur bevorzugten Aufnahme), sowie die Auslastungsquote als Teil der Formel vorliegen müssen. Fehlt einer dieser Parameter oder ist er nicht genügend ausdifferenziert (wie z.B. eine fehlende Trennung nach Geschlecht oder nur wenige Altersgruppen), so

wird das Modell schnell ungenauer. Als zweites sei die Übertragung der retrospektiv ermittelten Ergebnisse bezüglich etwaiger Therapieunterschiede im Altersgruppenvergleich genannt. Diese müssen ebenfalls in statistisch robuster Form vorliegen und möglichst differenziert zwischen verschiedenen Patientengruppen, wie eben unterschieden nach Geschlecht und Altersgruppe, unterscheiden. Nur so lassen sich mögliche Konsequenzen eines sich wandelnden Patientenkollektivs aus rein demographischer Sicht auch hinsichtlich des künftigen Versorgungsbedarfes und Ressourcenaufwands ableiten.

Somit ist diese Methode stark von der vorhandenen Datenmenge und -qualität abhängig, wodurch sie mitunter schwer zu reproduzieren sein könnte. Dennoch zeigt sich bei einmal vorhandener Datenmenge, dass sich dieses Modell in besonderer Weise von übrigen, bereits vorgestellten Vorgehensweisen abhebt. So ist trotz der Vielschichtigkeit der Berechnung der verschiedenen Projektionsszenarien kein hoher mathematischer Aufwand nötig, da sämtliche Formeln und Rechenwege einfach nachzuvollziehen und zu reproduzieren sind. Dass zudem die genaue Berechnung der Belegung der Station in Bezug auf demographische Daten der Patienten sowie deren erhaltene Therapien möglich ist, ist eine weitere Stärke dieser Methode, da sie somit der unterschiedlichen Versorgung im Vergleich zwischen den beiden Geschlechtern und verschiedenen Altersgruppen Rechnung trägt. Des Weiteren ist diese Methode nicht von bestimmten Voraussetzungen einer Intensivstation abhängig, sondern ist letztlich das Produkt aus der demographischen Entwicklung des Einzugsgebietes, möglichen (oder keinen) Veränderungen in der Krankheitslast der Bevölkerung, sowie den bisherigen Entwicklungen der jeweils betrachteten Station. Da mit dem Überweisungsfaktor, der Auslastungsquote, der Liegedauer, sowie den Behandlungshäufigkeiten letztlich nur Parameter zum Einsatz kommen, die ohnehin an die spezifischen Gegebenheiten der jeweiligen Station angepasst sind, könnte diese Methode im Grunde auch auf andere Arten von Intensivstationen übertragen werden.

Eine weitere Stärke dieser Arbeit liegt in der besonderen Betrachtungsweise von Therapieunterschieden zwischen verschiedenen Altersgruppen. Die im retrospektiven Teil angewandte Methode der zero-inflated Poisson-Regression erlaubt, Aussagen nicht bloß auf Basis von Häufigkeitsunterschieden im Therapiezugang zu treffen, sondern eine Differenzierung bei einmal herbeigeführter Therapie zu treffen. Somit überzeugt diese statistische Methode mit einer differenzierteren Interpretationsmöglichkeit von etwaigen Unterschieden zwischen alten und jungen Patienten, die ein neues Licht auf die klinische Bedeutung solcher Ergebnisse werfen könnte.

Zuletzt bleibt zu erwähnen, dass kein Modell in der Lage ist, die Realität exakt abzubilden oder gar zu prognostizieren. Die Stärke des in dieser Arbeit vorgestellten Modells ist vielmehr dadurch gegeben, dass es die komplexen Zusammenhänge zwischen demographischer Entwicklung, möglicher Morbiditätsentwicklung, und der bereits vorhandenen Realität einer Intensivstation verknüpft und somit eine Grundlage für die künftige Ressourcenplanung bieten kann.

4.8 Fazit

Diese Arbeit verfolgte zwei Ziele. Das erste Ziel bezog sich auf mögliche Alters- und Geschlechtsunterschiede in der Therapiehäufigkeit und -intensität. Wie gezeigt wurde, scheint in der Beatmungstherapie ein Unterschied in der Therapieintensität zwischen den verschiedenen Altersgruppen zu bestehen, während für die Antibiotikatherapie kein solcher Unterschied gefunden werden konnte. So konnte eine höhere Beatmungsintensität bei 45-79-jährigen im Vergleich zu über 80-jährigen beatmeten Patienten nachgewiesen werden. Diese zusammengefasste Altersgruppe stellt den Großteil der aktuellen sowie künftigen Population der Intensivpatienten dar und würde somit auch in Zukunft zumindest in Bezug auf die Beatmung für einen entsprechend hohen Ressourcenverbrauch sorgen. Allerdings zeigten die für jede der drei demographischen Prognosen erstellten Altersstrukturen der künftigen Intensivpatienten, dass im Laufe des Projektionszeitraums bis zum Jahr 2036 mit einer Zunahme der Altersgruppe ≥ 80 Jahre zu rechnen ist. Bei in etwa gleichbleibender Größe der Altersgruppen bis 45 Jahren würde dies also mit einem entsprechend geringeren Ressourcenaufwand einhergehen, da die Behandlungshäufigkeit bei Patienten ≥ 80 Jahren für die hier betrachteten Therapiemodalitäten vergleichsweise gering war. Besonders im Falle einer Kompression der Morbidität, unabhängig vom jeweiligen demographischen Szenario, könnte dieser Effekt beobachtet werden. Dabei muss beachtet werden, dass in diesem Modell nicht der medizinisch-technische Fortschritt sowie anderweitige Veränderungen im jeweiligen Therapieansatz berücksichtigt werden konnten, sodass auch bei einer leichten Abnahme dieser ressourcenstarken Altersgruppe mit einem möglicherweise unverändert hohem oder gar höherem Ressourcenverbrauch bei fortschreitender Alterung der Intensivpatienten gerechnet werden könnte. Wie bereits in Bezug auf Lerolle et al. erwähnt, nahm bereits in den vergangenen Jahren die Therapieintensität (wenn auch in dieser Studie anders definiert (Lerolle et al., 2010)) bei Patienten ≥ 80 Jahren stetig zu, sodass diese in Zukunft einen ähnlich hohen Ressourcenverbrauch verursachen könnten.

Das zweite Ziel bezog sich auf die Modellentwicklung zur Projektion des künftigen Ressourcenbedarfs. Unter Hinzunahme von Bevölkerungsprognosedaten und unter Berücksichtigung

unterschiedlicher Szenarien zur Entwicklung der Morbidität ist es gelungen, die genaue Zusammensetzung der zugrundeliegenden Intensivstation in den kommenden Jahren zu modellieren. Mit der Simulation des Aufnahmeprozesses bei vorausgesetzter Bevorzugung beatmeter Patienten war es möglich, die genaue Zahl an Patienten mitsamt der hier betrachteten weiteren Therapiemodalitäten zu projizieren. Dies schloss auch die Modellierung der künftigen Altersstruktur der Intensivpatienten ein. Wie bereits vorweggenommen, würde der Anteil der hochbetagten Patienten mit einem Alter ≥ 80 Jahren in diesen Projektionen bis zum Jahr 2036 stetig ansteigen. Auch wenn der prozentuale Zugewinn dieser Altersgruppe eher marginal ist, würde sich das Durchschnittsalter dennoch nach oben korrigieren und zu einer Veränderung des Patientenkollektivs führen. Es kann also davon ausgegangen werden, dass der demographische Wandel auch weiterhin auf der Intensivstation bemerkbar sein wird, jedoch aufgrund des ohnehin höheren Durchschnittsalters in einem anderen Ausmaß. Des Weiteren sollte im hier entwickelten Modell der künftige Bedarf an evtl. zusätzlich benötigten Intensivbetten beleuchtet werden. Hier zeigte sich, dass unabhängig von den hier vorgestellten Szenarien und Prognosen der Bettenbedarf bis zum Jahr 2036 voraussichtlich steigen wird. Dies würde in erster Linie auf den erhöhten Anteil an Patienten mit benötigter Beatmungstherapie zurückzuführen sein, welche mit ihrer entsprechend langen Liegezeit den Großteil der Intensivstation in Anspruch nehmen würden. Je nach Szenario könnten für die hier betrachtete 26-Betten-Station also bis zu neun zusätzliche Betten benötigt werden, um den Grundbedarf einer intensivmedizinischen Behandlung auf Grundlage der hier betrachteten Basisbevölkerung erfüllen zu können.

Zuletzt stellt sich die Frage nach der Übertragbarkeit des in dieser Arbeit entwickelten Modells auf andere Krankenhäuser der Maximalversorgung und deren operativen Intensivstationen. Diese Frage kann eindeutig bejaht werden. So besteht der Vorteil der hier verwendeten Methode darin, dass diese von den jeweiligen Gegebenheiten der betrachteten Station sowie der demographischen Zusammensetzung der Bevölkerung im Einzugsgebiet des entsprechenden Krankenhauses direkt abhängig ist. Die oben gezeigten Ergebnisse stellen, wie mehrfach erwähnt, beispielhafte Ergebnisse dar, wie sie für die operative Intensivstation der Universitätsmedizin Mannheim angenommen werden können. Ausgehend von der jeweiligen Versorgungsrealität einer anderen Station könnten mitunter unterschiedliche Ergebnisse ermittelt werden, erst Recht da es im internationalen Vergleich große Unterschiede in der Intensivmedizin gibt (Wunsch et al., 2008). Für die Replikation der hier vorgestellten Methode sind lediglich gewisse Grundvoraussetzungen nötig: demographische Daten der Bevölkerung im Einzugsgebiet sowie diesbezüglicher Bevölkerungsprognosen, die Zahl der Aufnahmen auf die Station (möglichst unterschieden nach Alter und Geschlecht), sowie die Behandlungshäufigkeiten der betrachteten

Patienten mit ausgewählten Therapien (wie etwa der Beatmungstherapie als Marker für eine bevorzugte Aufnahme). Je nach Datenbasis sowie Datenqualität lässt sich diese Methode entsprechend genau durchführen; eine Aufteilung nach Altersgruppen und Geschlecht wäre dabei nicht zwingend notwendig, würde jedoch die Ergebnisqualität erheblich erhöhen.

Insgesamt stellt die in dieser Arbeit entwickelte Methode zur Abschätzung der Auswirkungen des demographischen Wandels auf den zukünftigen Versorgungsaufwand in der Intensivmedizin also ein praktikables und detailliertes Modell dar, mit dessen Hilfe sich die mögliche Zusammensetzung des künftigen Patientenkollektivs, des für dieses Kollektiv benötigten Versorgungsbedarfs, sowie die Zahl der zusätzlich benötigten Betten einfach berechnen lässt.

5 Zusammenfassung

Der demographische Wandel und die damit verbundene fortschreitende Alterung der Bevölkerung stellen die wesentlichen Säulen der sozialen und gesundheitlichen Sicherungssysteme vor große Herausforderungen. Besonders im Gesundheitssystem wird sich die steigende Zahl älterer Patienten bemerkbar machen, welche ohnehin schon einen großen Teil der Ressourcen sowohl in der ambulanten als auch in der stationären Versorgung in Anspruch nehmen.

Im stationären Bereich kommen somit auch auf die Intensivmedizin große Veränderungen zu. So ist die Intensivmedizin schon jetzt eine der ressourcenintensivsten Disziplinen im Krankenhaussektor und könnte in Zukunft vor einen noch höheren Ressourcenbedarf gestellt werden. Eine möglicherweise steigende Zahl an (älteren) Patienten in der stationären Versorgung allgemein könnte also auch zu einer steigenden Zahl an Patienten mit benötigten intensivmedizinischer Versorgung führen, was eine Abschätzung der Folgen des demographischen Wandels auf die Intensivstation unabdingbar macht.

In dieser Arbeit wurde sowohl der Ist-Zustand etwaiger Therapieunterschiede zwischen älteren und jüngeren Patienten beleuchtet, als auch die gewonnenen Ergebnisse mittels Verknüpfung mit demographischen Prognosen und Theorien zur künftigen Morbiditätsentwicklung in die Zukunft projiziert.

Basierend auf der Analyse elektronischer Patientenakten der operativen Intensivstation der Universitätsmedizin Mannheim konnte gezeigt werden, dass bereits jetzt einige Unterschiede in der Therapie jüngerer und älterer Patienten existieren. Zwar ist die jeweilige Intensität der einmal eingesetzten Therapie nicht immer unterschiedlich, jedoch zeigen sich oftmals Unterschiede in den Behandlungshäufigkeiten, die letztlich ausschlaggebend für den Ressourcenverbrauch sind. Zudem wurde deutlich, dass bei fortschreitender demographischer Alterung sowie einer Morbiditätsentwicklung etwa im Sinne der Theorie des Dynamischen Gleichgewichts ein höherer Anteil insbesondere von beatmeten Patienten auf der Intensivstation zu erwarten ist. Dies würde letztlich auch zur Folge haben, dass eine Kapazitätserweiterung unumgänglich würde, um weitere potentielle Patienten noch aufnehmen zu können.

Das hier entwickelte Rechenmodell zur Abschätzung des künftigen Ressourcenbedarfes auf Basis elektronischer Patientenakten stellt somit ein realitätsnahes und leicht zu übertragenes Modell dar, mit dessen Hilfe die möglichen Folgen des demographischen Wandels auf den eigenen Stationsbetrieb simuliert werden können.

6 Literaturverzeichnis

Andersen, F.H., and Kvåle, R. (2012). Do elderly intensive care unit patients receive less intensive care treatment and have higher mortality? *Acta Anaesthesiol. Scand.* 56, 1298–1305.

Angus, D.C., Kelley, M.A., Schmitz, R.J., White, A., and Popovich, J. (2000). Current and Projected Workforce Requirements for Care of the Critically Ill and Patients With Pulmonary Disease: Can We Meet the Requirements of an Aging Population? *JAMA* 284, 2762.

Bagshaw, S.M., George, C., and Bellomo, R. (2007). Changes in the incidence and outcome for early acute kidney injury in a cohort of Australian intensive care units. *Crit. Care* 11, R68.

Bagshaw, S.M., Webb, S.A., Delaney, A., George, C., Pilcher, D., Hart, G.K., and Bellomo, R. (2009). Very old patients admitted to intensive care in Australia and New Zealand: a multicentre cohort analysis. *Crit. Care* 13, R45.

Behnke, M., Hansen, S., Leistner, R., Diaz, L.A.P., Gropmann, A., Sohr, D., Gastmeier, P., and Piening, B. (2013). Nosocomial Infection and Antibiotic Use. *Dtsch. Aerzteblatt Online*.

Beier, D., Weiß, C., Hagman, M., Balaban, Ü., Thiel, M., and Schneider-Lindner, V. (2019). Is antibacterial treatment intensity lower in elderly patients? A retrospective cohort study in a German surgical intensive care unit. *BMC Health. Serv. Res.* 19, 367

Berrington, A. (2010). Antimicrobial prescribing in hospitals: be careful what you measure. *J. Antimicrob. Chemother.* 65, 163–168.

Boumendil, A., Aegerter, P., Guidet, B., and the CUB-Rea Network (2005). Treatment Intensity and Outcome of Patients Aged 80 and Older in Intensive Care Units: A Multicenter Matched-Cohort Study. *J. Am. Geriatr. Soc.* 53, 88–93.

Boumendil, A., Somme, D., Garrouste-Orgeas, M., and Guidet, B. (2007). Should elderly patients be admitted to the intensive care unit? *Intensive Care Med.* 33, 1252-1262.

Brandberg, C., Blomqvist, H., and Jirwe, M. (2013). What is the importance of age on treatment of the elderly in the intensive care unit?: Elderly patients in the ICU. *Acta Anaesthesiol. Scand.* 57, 698–703.

Busch, M.A., Schienkiewitz, A., Nowossadeck, E., and Gößwald, A. (2013). Prävalenz des Schlaganfalls bei Erwachsenen im Alter von 40 bis 79 Jahren in Deutschland: Ergebnisse der

Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1). Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz 56, 656–660.

Chelazzi, C., Pettini, E., Villa, G., and De Gaudio, A.R. (2015). Epidemiology, associated factors and outcomes of ICU-acquired infections caused by Gram-negative bacteria in critically ill patients: an observational, retrospective study. *BMC Anesthesiol.* 15, 125.

Chronopoulos, A., Rosner, M.H., Cruz, D.N., and Ronco, C. (2010). Acute kidney injury in elderly intensive care patients: a review. *Intensive Care Med.* 36, 1454–1464.

Combes, A., Luyt, C.-E., Trouillet, J.-L., Nieszkowska, A., and Chastre, J. (2009). Gender impact on the outcomes of critically ill patients with nosocomial infections. *Crit. Care Med.* 37, 2506–2511.

Corke, C., de Leeuw, E., Lo, S.K., and George, A. (2009). Critical Care and Resuscitation. *Crit. Care Resusc.* 11, 257-260.

Diaz-Martin, A., Martinez-Gonzalez, M.L., Ferrer, R., Ortiz-Leyba, C., Piacentini, E., Lopez-Pueyo, M.J., Martin-Loeches, I., Levy, M.M., Artigas, A., and Garnacho-Montero, J. (2012). Antibiotic prescription patterns in the empiric therapy of severe sepsis: combination of antimicrobials with different mechanisms of action reduces mortality. *Crit. Care* 16, R223.

Doblhammer, G., and Dethloff, A. (2012). Die demografische Entwicklung in Deutschland als Herausforderung für das Gesundheitswesen. In *Versorgungs-Report 2012 - Schwerpunkt: Gesundheit Im Alter*, C. Günster, J. Klose, and N. Schmacke, eds. (Stuttgart: Schattauer GmbH), pp. 3–22.

Doblhammer, G., and Kreft, D. (2011). Länger leben, länger leiden?: Trends in der Lebenserwartung und Gesundheit. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 54, 907–914.

Economic Policy Committee and the European Commission (DG ECFIN) (2016). The impact of ageing on public expenditure: projections for the EU25 Member States on pensions, health care, longterm care, education and unemployment transfers (2004-2050) (Brüssel).

Esteban, A., Anzueto, A., Frutos-Vivar, F., Alía, I., Ely, E.W., Brochard, L., Stewart, T.E., Apezteguía, C., Tobin, M.J., Nightingale, P., et al. (2004). Outcome of older patients receiving mechanical ventilation. *Intensive Care Med.* 30, 639–646.

- Farfel, J.M., Franca, S.A., Sitta, M. d. C., Filho, W.J., and Carvalho, C.R.R. (2009). Age, invasive ventilatory support and outcomes in elderly patients admitted to intensive care units. *Age Ageing* 38, 515–520.
- Fihman, V., Messika, J., Hajage, D., Tournier, V., Gaudry, S., Magdoud, F., Barnaud, G., Billard-Pomares, T., Branger, C., Dreyfuss, D., et al. (2015). Five-year trends for ventilator-associated pneumonia: Correlation between microbiological findings and antimicrobial drug consumption. *Int. J. Antimicrob. Agents* 46, 518–525.
- Finger, J.D., Busch, M.A., Du, Y., Heidemann, C., Knopf, H., Kuhnert, R., Lampert, T., Mensink, G.B.M., Neuhauser, H.K., Rosario, A.S., et al. (2016). Time Trends in Cardiometabolic Risk Factors in Adults. *Dtsch. Aerzteblatt Online*.
- Flaatten, H., de Lange, D.W., Artigas, A., Bin, D., Moreno, R., Christensen, S., Joynt, G.M., Bagshaw, S.M., Sprung, C.L., Benoit, D., et al. (2017). The status of intensive care medicine research and a future agenda for very old patients in the ICU. *Intensive Care Med.* 43, 1319–1328.
- Fleig, V., Wolff, M., and Weigand, M.A. (2011). Scoring-Systeme in der Intensivmedizin. *Anaesthesist* 60, 963–974.
- Fowler, R.A., Sabur, N., Li, P., Juurlink, D.N., Pinto, R., Hladunewich, M.A., Adhikari, N.K.J., Sibbald, W.J., and Martin, C.M. (2007). Sex-and age-based differences in the delivery and outcomes of critical care. *Can. Med. Assoc. J.* 177, 1513–1519.
- Fries, J.F. (1980). Aging, natural death, and the compression of morbidity. *N. Engl. J. Med.* 303, 130–135.
- Garrouste-Orgeas, M., Boumendil, A., Pateron, D., Aegerter, P., Somme, D., Simon, T., and Guidet, B. (2009). Selection of intensive care unit admission criteria for patients aged 80 years and over and compliance of emergency and intensive care unit physicians with the selected criteria: An observational, multicenter, prospective study. *Crit. Care Med.* 37, 2919–2928.
- Gerste, B. (2012). Die Inanspruchnahme von Gesundheitsleistungen im Alter. In *Versorgungs-Report 2012 - Schwerpunkt: Gesundheit Im Alter*, C. Günster, J. Klose, and N. Schmacke, eds. (Stuttgart: Schattauer GmbH), pp. 67–98.

Gößwald, A., Schienkiewitz, A., Nowossadeck, E., and Busch, M.A. (2013). Prävalenz von Herzinfarkt und koronarer Herzkrankheit bei Erwachsenen im Alter von 40 bis 79 Jahren in Deutschland: Ergebnisse der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1). *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 56, 650–655.

Green, L.V. (2002). How many hospital beds? *Inquiry* 39, 400–412.

Gruenberg, E.M. (1977). The Failures of Success. *Milbank Mem. Fund Q. Health Soc.* 55, 3-24.

Hagen, M.S., Buchman, T.G., and Lee, E.K. (2013). Priority Queuing Models for Hospital Intensive Care Units and Impacts to Severe Case Patients. *AMIA Annu. Symp. Proc.* 2013, 841-850.

Houllé-Veyssière, M., Courtin, A., Zeroual, N., Gaudard, P., and Colson, P.H. (2016). Continuous venovenous renal replacement therapy in critically ill patients: A work load analysis. *Intensive Crit. Care Nurs.* 36, 35–41.

Ihra, G.C., Lehberger, J., Hochrieser, H., Bauer, P., Schmutz, R., Metnitz, B., and Metnitz, P.G.H. (2012). Development of demographics and outcome of very old critically ill patients admitted to intensive care units. *Intensive Care Med.* 38, 620–626.

Kahn, J.M., Le, T., Angus, D.C., Cox, C.E., Hough, C.L., White, D.B., Yende, S., and Carson, S.S. (2015). The Epidemiology of Chronic Critical Illness in the United States*: *Crit. Care Med.* 43, 282–287.

Karabatsou, D., Tsironi, M., Tsigou, E., Boutzouka, E., Katsoulas, T., and Baltopoulos G. (2016). Variable cost of ICU care, a micro-costing analysis. *Intensive Crit Care Nurs.* 35, 66-73.

Lahiri, S., Mayer, S.A., Fink, M.E., Lord, A.S., Rosengart, A., Mangat, H.S., Segal, A.Z., Claassen, J., and Kamel, H. (2015). Mechanical Ventilation for Acute Stroke: A Multi-state Population-Based Study. *Neurocrit. Care* 23, 28–32.

Lerolle, N., Trinquart, L., Bornstain, C., Tadié, J.-M., Imbert, A., Diehl, J.-L., Fagon, J.-Y., and Guérot, E. (2010). Increased intensity of treatment and decreased mortality in elderly patients in an intensive care unit over a decade. *Crit. Care Med.* 38, 59–64.

- Lewis, S.C., Li, L., Murphy, M.V., and Klompas, M. (2014). Risk factors for ventilator-associated events: a case-control multivariable analysis. *Crit. Care Med.* *42*, 1839–1848.
- Lindner, H.A., Balaban, U., Sturm, T., Weiss, C., Thiel, M., and Schneider-Lindner, V. (2016). An Algorithm for Systemic Inflammatory Response Syndrome Criteria-Based Prediction of Sepsis in a Polytrauma Cohort. *Crit. Care Med.* *44*, 2199–2207.
- Manton, K.G. (1982). Changing Concepts of Morbidity and Mortality in the Elderly Population. *Milbank Mem. Fund Q. Health Soc.* *60*, 183-244.
- Mathews, K.S., and Long, E.F. (2015). A Conceptual Framework for Improving Critical Care Patient Flow and Bed Use. *Ann. Am. Thorac. Soc.* *12*, 886–894.
- Maxwell, M., Heaney, D., Howie, J.G., and Noble, S. (1993). General practice fundholding: observations on prescribing patterns and costs using the defined daily dose method. *BMJ* *307*, 1190–1194.
- McManus, M.L., Long, M.C., Cooper, A., and Litvak, E. (2004). Queuing Theory Accurately Models the Need for Critical Care Resources. *Anesthesiology* *100*, 1271–1276.
- Menning, S., Nowossadeck, E., and Maretzke, S. (2010). Report Altersdaten - Regionale Aspekte der demografischen Alterung.
- Meyer, E., Buttler, J., Schneider, C., Strehl, E., Schroeren-Boersch, B., Gastmeier, P., Ruden, H., Zentner, J., Daschner, F.D., and Schwab, F. (2007). Modified guidelines impact on antibiotic use and costs: duration of treatment for pneumonia in a neurosurgical ICU is reduced. *J. Antimicrob. Chemother.* *59*, 1148–1154.
- Meyer, E., Schwab, F., Schroeren-Boersch, B., and Gastmeier, P. (2010). Dramatic increase of third-generation cephalosporin-resistant *E. coli* in German intensive care units: secular trends in antibiotic drug use and bacterial resistance, 2001 to 2008. *Crit. Care* *14*, R113.
- Meyer, E., Gastmeier, P., Deja, M., and Schwab, F. (2013). Antibiotic consumption and resistance: data from Europe and Germany. *Int. J. Med. Microbiol. IJMM* *303*, 388–395.
- Nachtigall, I., Tafelski, S., Rothbart, A., Kaufner, L., Schmidt, M., Tamarkin, A., Kartachov, M., Zebedies, D., Trefzer, T., Wernecke, K.-D., et al. (2011). Gender-related outcome

difference is related to course of sepsis on mixed ICUs: a prospective, observational clinical study. *Crit. Care Lond. Engl.* 15, R151.

Needham, D.M., Bronskill, S.E., Calinawan, J.R., Sibbald, W.J., Pronovost, P.J., and Laupacis, A. (2005). Projected incidence of mechanical ventilation in Ontario to 2026: Preparing for the aging baby boomers*: *Crit. Care Med.* 33, 574–579.

Nguyen, Y.-L., Angus, D.C., Boumendil, A., and Guidet, B. (2011). The challenge of admitting the very elderly to intensive care. *Ann. Intensive Care* 1, 29.

Niederman, M.S., and Berger, J.T. (2010). The delivery of futile care is harmful to other patients: *Crit. Care Med.* 38, S518–S522.

Orsini (2014). Triage of Patients Consulted for ICU Admission During Times of ICU-Bed Shortage. *J. Clin. Med. Res.* 6, 463-468.

Peters, E., Pritzkeleit, R., Beske, F., and Katalinic, A. (2010). Demografischer Wandel und Krankheitshäufigkeiten: Eine Projektion bis 2050. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 53, 417–426.

Pisani, M.A. (2009). Analytic Reviews: Considerations in Caring for the Critically Ill Older Patient. *J. Intensive Care Med.* 24, 83–95.

Polk, R.E., Fox, C., Mahoney, A., Letcavage, J., and MacDougall, C. (2007). Measurement of adult antibacterial drug use in 130 US hospitals: comparison of defined daily dose and days of therapy. *Clin. Infect. Dis. Off. Publ. Infect. Dis. Soc. Am.* 44, 664–670.

Prasad, B., Urbanski, M., Ferguson, T.W., Karreman, E., and Tangri, N. (2016). Early Mortality on Continuous Renal Replacement Therapy (CRRT): The Prairie CRRT Study. *Can. J. Kidney Health Dis.* 3, 124.

Reinikainen, M., Niskanen, M., Uusaro, A., and Ruokonen, E. (2005). Impact of gender on treatment and outcome of ICU patients. *Acta Anaesthesiol. Scand.* 49, 984–990.

Reinikainen, M., Uusaro, A., Niskanen, M., and Ruokonen, E. (2007). Intensive care of the elderly in Finland. *Acta Anaesthesiol. Scand.* 51, 522–529.

Robert Koch-Institut (2011). Kleinräumige Bedarfsprognosen - Eine Machbarkeitsstudie für Deutschland (Berlin: Robert Koch-Institut).

Robert Koch-Institut (2016). Bericht zum Krebsgeschehen in Deutschland 2016 (Berlin: Robert Koch-Institut).

Roeder, N., and Volkert, T. (2014). Wirtschaftliche Aspekte des deutschen DRG-Systems und deren Auswirkungen auf die Organisationsentwicklung. In *Intensivmedizin*, H. van Aken, K. Reinhart, T. Welte, and M. Weigand, eds. (Stuttgart: Thieme Verlag KG), pp. 59–64.

Rowland, D.T. (2008). *Demographic methods and concepts* (New York: Oxford University Press).

Schmacke, N. (2012). Alter und Krankheit: eine Frage neuer Versorgungsformen, nicht nur für alte Menschen. In *Versorgungs-Report 2012 - Schwerpunkt: Gesundheit Im Alter*, C. Günster, J. Klose, and N. Schmacke, eds. (Stuttgart: Schattauer GmbH), pp. 33–50.

Stadt Mannheim (2016). *Bevölkerungsprognose 2036 in kleinräumiger Gliederung* (Mannheim: Stadt Mannheim).

Statistisches Bundesamt (2010). *Demografischer Wandel in Deutschland - Auswirkungen auf Krankenhausbehandlung und Pflegebedürftige* (Wiesbaden: Statistisches Bundesamt).

Statistisches Bundesamt (2011). *Demografischer Wandel in Deutschland, Heft 1, 2011* (Wiesbaden: Statistisches Bundesamt).

Statistisches Bundesamt (2015). *Bevölkerung Deutschlands bis 2060 - 13. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung* (Wiesbaden: Statistisches Bundesamt).

Statistisches Bundesamt (2016). *Ältere Menschen in Deutschland und der EU, 2016* (Wiesbaden: Statistisches Bundesamt).

Temiz, E., Piskin, N., Aydemir, H., Oztoprak, N., Akduman, D., Celebi, G., and Kokturk, F. (2012). Factors associated with catheter-associated urinary tract infections and the effects of other concomitant nosocomial infections in intensive care units. *Scand. J. Infect. Dis.* 44, 344–349.

Terwiesch, C., KC, D., and Kahn, J.M. (2011). Working with capacity limitations: operations management in critical care. *Crit. Care* 15, 308.

Trachte, F., Sperlich, S., and Geyer, S. (2015). Kompression oder Expansion der Morbidität?: Entwicklung der Gesundheit in der älteren Bevölkerung. *Z. Für Gerontol. Geriatr.* 48, 255–262.

Unger, R. (2006). Trends in active life expectancy in Germany between 1984 and 2003—a cohort analysis with different health indicators. *J. Public Health* 14, 155–163.

Valentin, A., Jordan, B., Lang, T., Hiesmayr, M., and Metnitz, P.G.H. (2003). Gender-related differences in intensive care: A multiple-center cohort study of therapeutic interventions and outcome in critically ill patients*: *Crit. Care Med.* 31, 1901–1907.

Vargas, N., Tibullo, L., Landi, E., Carifi, G., Pirone, A., Pippo, A., Alviggi, I., Tizzano, R., Salsano, E., Di Grezia, F., et al. (2017). Caring for critically ill oldest old patients: a clinical review. *Aging Clin. Exp. Res.* 29, 833–845.

Vincent, J.-L., and Creteur, J. (2017). The hospital of tomorrow in 10 points. *Crit. Care* 21, 93.

Vitrat, V., Hautefeuille, S., Janssen, C., Bougon, D., Sirodot, M., and Pagani, L. (2014). Optimizing antimicrobial therapy in critically ill patients. *Infect. Drug Resist.* 7, 261–271.

Walther, S.M., Erlandsson, M., Burman, L.G., Cars, O., Gill, H., Hoffman, M., Isaksson, B., Kahlmeter, G., Lindgren, S., Nilsson, L., et al. (2002). Antibiotic prescription practices, consumption and bacterial resistance in a cross section of Swedish intensive care units. *Acta Anaesthesiol. Scand.* 46, 1075–1081.

Weissman, C. (2000). Factors influencing changes in surgical intensive care unit utilization: *Crit. Care Med.* 28, 1766–1771.

Wunsch, H., Angus, D.C., Harrison, D.A., Collange, O., Fowler, R., Hoste, E.A.J., de Keizer, N.F., Kersten, A., Linde-Zwirble, W.T., Sandiumenge, A., et al. (2008). Variation in critical care services across North America and Western Europe*: *Crit. Care Med.* 36, 2787-e8.

Yang, M., Fry, M.J., Raikhelkar, J., Chin, C., Anyanwu, A., Brand, J., and Scurlock, C. (2013). A Model to Create an Efficient and Equitable Admission Policy for Patients Arriving to the Cardiothoracic ICU*: *Crit. Care Med.* 41, 414–422.

Eigene Publikationen im Zusammenhang mit dieser Arbeit

Beier, D., Weiß, C., Hagman, M., Balaban, Ü., Thiel, M., and Schneider-Lindner, V. (2019). Is antibacterial treatment intensity lower in elderly patients? A retrospective cohort study in a German surgical intensive care unit. *BMC Health. Serv. Res.* 19, 367

7 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Theorien der Veränderung der in Krankheit verbrachten Lebenszeit.....	22
Abbildung 2: Verbindung der demographischen Prognosen mit den Morbiditätsszenarien...	25
Abbildung 3: Entwicklung der Aufnahmezahl und Liegedauer in den Jahren 2007-2012	39
Abbildung 4: Entwicklung der Basisbevölkerung und der Überweisungsraten in den Jahren 2007-2012	40
Abbildung 5: Entwicklung der Krankheitsschwere und des Pflegeaufwands in den Jahren 2007-2012	41
Abbildung 6: Prozentuale Verteilung der Therapietage nach Wirkstoffklassen, 2007-2012..	42
Abbildung 7: Durchschnittliche Behandlungshäufigkeit mit Antibiotika nach Geschlecht und Altersgruppe, 2007-2012	43
Abbildung 8: Durchschnittliche Behandlungshäufigkeit maschineller Beatmung nach Geschlecht und Altersgruppe, 2007-2012	45
Abbildung 9: Projektion potentieller Aufnahmezahlen bei demographischer Basisprognose	50
Abbildung 10: Geschätzte Altersstruktur der Intensivpatienten nach Morbiditätsszenario bei demographischer Basisprognose.....	53
Abbildung 11: Geschätzte Aufnahmezahlen mit Behandlungshäufigkeit für Beatmung bei demographischer Basisprognose.....	54
Abbildung 12: Projektion potentieller Aufnahmezahlen bei Zuzugsanstieg.....	59
Abbildung 13: Geschätzte Altersstruktur der Intensivpatienten nach Morbiditätsszenario bei Zuzugsanstieg	60
Abbildung 14: Geschätzte Aufnahmezahlen mit Behandlungshäufigkeit für Beatmung bei Zuzugsanstieg	61
Abbildung 15: Projektion potentieller Aufnahmezahlen bei Zuzugsminderung.....	65
Abbildung 16: Geschätzte Altersstruktur der Intensivpatienten nach Morbiditätsszenario bei Zuzugsminderung.....	67
Abbildung 17: Geschätzte Aufnahmezahlen mit Behandlungshäufigkeit für Beatmung bei Zuzugsminderung.....	68

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mittlere Überweisungsfaktoren einzelner Altersgruppen und mittlere Überweisungsraten für die gesamte männliche und weibliche Basisbevölkerung	20
Tabelle 2 Potentielle männliche Intensivpatienten in 2025, konstante Überweisungsfaktoren, Basisprognose	26
Tabelle 3: Potentielle männliche Intensivpatienten in 2025, Dynamisches Gleichgewicht, Basisprognose	28
Tabelle 4: Potentielle männliche Intensivpatienten in 2025, Expansionsthese, Basisprognose... ..	29
Tabelle 5: Potentielle männliche Intensivpatienten in 2025, Kompressionsthese, Basisprognose	30
Tabelle 6: Beispiel für die Zahl benötigter Betten für männliche, über 80-jährige beatmete Patienten im Jahr 2025 bei demographischer Basisprognose und konstanten Überweisungsfaktoren auf einer 26-Betten-Station	32
Tabelle 7: Formelübersicht für Projektion des künftigen Ressourcenaufwands	34
Tabelle 8: Prozentuale Verteilung der Aufnahmen nach Altersgruppen und Geschlecht, 2007-2012	38
Tabelle 9: Ratenverhältnisse exponierter Patiententage mit 95%-Konfidenzintervall nach zero-inflated Poisson-Regression nach Altersgruppen, 2007-2012	44
Tabelle 10: Beatmungszeiten beamteter Patienten nach Altersgruppen und Geschlecht, 2007-2012	46
Tabelle 11: Ratenverhältnisse der Beatmungsstunden mit 95%-Konfidenzintervall nach zero-inflated Poisson-Regression nach Altersgruppen, 2007-2012	47
Tabelle 12: Behandlungshäufigkeiten für Antibiotika bei beatmeten und nicht beatmeten Patienten, 2007-2012	48
Tabelle 13: Ratenverhältnisse der Häufigkeit von Nierenersatzverfahren mit 95%-Konfidenzintervall nach zero-inflated Poisson-Regression nach Beatmungsstatus, 2007-2012.. ..	49
Tabelle 14: Potentielle und geschätzte Aufnahmezahlen bei demographischer Basisprognose im Vergleich	51
Tabelle 15: Geschätzter Ressourcenaufwand im Jahr 2030 bei demographischer Basisprognose	55
Tabelle 16: Geschätzter Ressourcenaufwand zum Szenario „Dynamisches Gleichgewicht“ bei demographischer Basisprognose im Jahr 2030 nach Altersgruppen und Geschlecht	56

Tabelle 17: Geschätzter Ressourcenaufwand zum Szenario „Dynamisches Gleichgewicht“ bei demographischer Basisprognose im Zeitverlauf.....	57
Tabelle 18: Geschätzte Zahl zusätzlich benötigter Betten für jedes Morbiditätsszenario bei demographischer Basisprognose auf einer 26-Betten-Station.....	58
Tabelle 19: Potentielle und geschätzte Aufnahmezahlen bei Zuzugsanstieg im Vergleich....	59
Tabelle 20: Geschätzter Ressourcenaufwand im Jahr 2030 bei Zuzugsanstieg	62
Tabelle 21: Geschätzter Ressourcenaufwand zum Szenario „Dynamisches Gleichgewicht“ bei Zuzugsanstieg im Jahr 2030 nach Altersgruppen und Geschlecht	63
Tabelle 22: Geschätzter Ressourcenaufwand zum Szenario „Dynamisches Gleichgewicht“ bei Zuzugsanstieg im Zeitverlauf.....	64
Tabelle 23: Geschätzte Zahl zusätzlich benötigter Betten für jedes Morbiditätsszenario bei Zuzugsanstieg auf einer 26-Betten-Station.....	64
Tabelle 24: Potentielle und geschätzte Aufnahmezahlen bei Zuzugsminderung im Vergleich... ..	66
Tabelle 25: Geschätzter Ressourcenaufwand im Jahr 2030 bei Zuzugsminderung.....	69
Tabelle 26: Geschätzter Ressourcenaufwand zum Szenario „Dynamisches Gleichgewicht“ bei Zuzugsminderung im Jahr 2030 nach Altersgruppen und Geschlecht.....	70
Tabelle 27: Geschätzter Ressourcenaufwand zum Szenario „Dynamisches Gleichgewicht“ bei Zuzugsminderung im Zeitverlauf.....	70
Tabelle 28: Geschätzte Zahl zusätzlich benötigter Betten für jedes Morbiditätsszenario bei Zuzugsminderung auf einer 26-Betten-Station.....	71

8 Lebenslauf

PERSONALIEN

Name und Vorname	Beier, Dominik
Geburtsdatum	12.11.1988
Geburtsort	Lüdenscheid
Familienstand	ledig

SCHULISCHER WERDEGANG

1999-2008	Burggymnasium Altena
21.06.2008	Abitur

UNIVERSITÄTER WERDEGANG

2008/09-2012	Integrierte Sozialwissenschaften an der Technischen Universität Braunschweig
21.06.2012	Bachelor of Arts (B.A.)
2012/13-2014/15	Public Health an der Universität Bielefeld
24.09.2014	Master of Science (M.Sc.)

BERUFLICHER WERDEGANG

November 2014 - Oktober 2017	Akademischer Mitarbeiter an der Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin der Universitätsmedizin Mannheim / Medizinische Fakultät Mannheim
November 2017 - März 2018	Clinical Affairs Manager bei Olympus Europa SE & Co. KG
Seit April 2018	Epidemiologe an der InGef – Institut für angewandte Gesundheitsforschung Berlin GmbH

9 Danksagung

Als erstes möchte ich meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Manfred Thiel für die Bereitstellung des Themas sowie für die ausgezeichnete Betreuung sehr herzlich danken. Insbesondere während meiner aktiven Zeit als Akademischer Mitarbeiter der Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin konnte ich mich stets bei aufkommenden Fragen zu meiner Arbeit an ihn wenden, sodass ich gerne auf diese Zeit zurückblicke.

Ein großes Dankeschön möchte ich auch Frau Prof. Dr. Christel Weiß aussprechen, die mich bei statistischen und mathematischen Herausforderungen stets herausragend beraten hat. Ihre Geduld und Hilfsbereitschaft waren für mich enorm wertvoll und ein wichtiger Faktor für das Gelingen meiner Arbeit.

Ein besonderer Dank geht auch an Frau Dr. Dr. Verena Schneider-Lindner. Als Leiterin der Forschungsgruppe Klinische Epidemiologie der Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin hat sie mich hervorragend in die Arbeit mit den elektronischen Patientenakten eingeführt und unterstützt. Ihre Hilfsbereitschaft auch im weiteren Verlauf dieser Arbeit habe ich sehr geschätzt.

Zudem möchte ich auch allen weiteren ehemaligen Kolleginnen und Kollegen der Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin danken, die mich während meiner Zeit dort unterstützt und motiviert haben. Es war mir eine große Freude, Teil dieses Teams zu sein.

Ein weiteres Dankeschön geht an alle meine Freunde und Verwandte, die mich begleitet und unterstützt haben. Besonders möchte ich mich bei Theresa und bei meinen Eltern bedanken, die meine Motivation stets hochgehalten haben und immer für mich da waren.