

Aus der Augenklinik und Poliklinik
Klinik der Ludwig-Maximilians-Universität München
Direktor: Prof. Dr. med. Siegfried Priglinger, FEBO

**Optimierung der Terminvergabe ambulanter Patienten eines
Universitätsklinikums mittels Simulation und Big Data**

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
André König
aus
Buxtehude
2020

**Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München**

Berichterstatter: Priv. Doz. Dr. med. Karsten Kortüm, FEBO

Mitberichterstatterinnen: Prof. Dr. Eva Rehfues
Priv. Doz. Dr. Britta Herbig

Dekan: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel

Tag der mündlichen Prüfung: 13.02.2020

Inhaltsverzeichnis

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	I
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	II
TABELLENVERZEICHNIS	IV
1 EINLEITUNG	1
1.1 Die Universitätsaugenklinik der LMU und ihre Ambulanzen.....	2
1.2 Definition von Wartezeit und Gesamtaufenthaltsdauer	3
1.3 Konsequenzen langer Wartezeiten	5
1.4 Terminplanung	6
2 MATERIAL UND METHODEN.....	10
2.1 Begriffsbestimmungen des Operations Research	10
2.1.1 Simulation/ discrete event simulation.....	10
2.1.2 Prozessanalyse	11
2.1.3 Patientenpfad.....	11
2.1.4 Prozesszeiten	11
2.2 Smart-Eye-Data Datenbank (SMEYEDAT DB)/ Big Data.....	12
2.2.1 Bewegungszeiten	13
2.3 Schritte zur Durchführung einer Simulationsstudie	13
2.3.1 Definition der Problemstellung.....	16
2.3.2 Festlegen eines Ziels.....	16
2.3.3 Beobachten der Abläufe und Gespräche mit dem Personal der Ambulanz.....	16

2.3.4	Erstellen eines Flussdiagramms der Abläufe.....	17
2.3.4.1	Patientenanmeldung und Anlegen der Akte	19
2.3.4.2	Prozessablauf der Makulasprechstunde	19
2.3.4.3	Prozessablauf der Allgemein- und Spezialambulanz	21
2.3.4.4	Ist-Zustand der Terminvergabe in den untersuchten Ambulanzen.....	22
2.3.5	Sammeln von Daten	22
2.3.5.1	Sammeln von historischen Metadaten (SMEYEDAT DB)	22
2.3.5.2	Sammeln von manuell gemessenen Daten (Prozesszeiten) ..	25
2.3.6	Erstellen eines Simulationsmodells	26
2.3.6.1	Erstellen des Basismodells	28
2.3.6.2	Integration der Prozesszeiten in das Simulationsmodell	32
2.3.6.3	Programmieren des Patientenpfades im Modell.....	36
2.3.7	Verifikation und Validation des Simulationsmodells.....	39
2.3.8	Experimentieren.....	40
2.4	Szenarien	41
2.4.1	Szenarien der Allgemeinambulanz	41
2.4.2	Szenarien der Makulasprechstunde (Montag und Donnerstag)....	43
2.4.3	Szenarien der Makulasprechstunde (Dienstag, Mittwoch und Freitag)	44
3	ERGEBNISSE	45
3.1	Ergebnisse der Verifikation und Validation.....	45

3.1.1	Ergebnisse der Verifikation.....	45
3.1.2	Ergebnisse der Validation.....	45
3.2	Ermittlung der benötigten Replikationsanzahl.....	51
3.2.1	Mindestanzahl der Replikationen für die Allgemeinambulanz.....	52
3.2.2	Mindestanzahl der Replikationen für die Makulasprechstunde (Montag und Donnerstag).....	52
3.2.3	Mindestanzahl der Replikationen für die Makulasprechstunde (Dienstag, Mittwoch und Freitag).....	53
3.3	Auswertung der Ergebnisse aus den Simulationsmodellen.....	53
3.3.1	Basismodell der Allgemeinambulanz.....	53
3.3.2	Szenarien der Allgemeinambulanz.....	54
3.3.3	Basismodell der Makulasprechstunde (Montag und Donnerstag).	55
3.3.4	Szenarien der Makulasprechstunde (Montag und Donnerstag)....	56
3.3.5	Basismodell Makulasprechstunde (Dienstag, Mittwoch und Freitag)	57
3.3.6	Szenarien der Makulasprechstunde (Dienstag, Mittwoch und Freitag).....	58
3.4	Ergebnisse nach Implementierung eines neuen Terminmodells für die Allgemeinambulanz.....	58
4	DISKUSSION.....	61
4.1	Zusammenfassung der Hauptergebnisse.....	61
4.2	Ursachen für eine lange Wartezeit und Gesamtaufenthaltsdauer.....	61
4.3	Kritische Diskussion des Operations Research.....	63

4.4	Kritische Diskussion der DES als Methode	63
4.5	Kritische Diskussion von Big Data/ SMEYEDAT	65
4.6	Kritische Diskussion der Ergebnisse und Aussicht.....	66
5	ZUSAMMENFASSUNG	69
6	LITERATURVERZEICHNIS.....	70
7	CURRICULUM VITAE	75
8	DANKSAGUNG	76
9	EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG	77

Abkürzungsverzeichnis

AA	Assistenzarzt
ADZ	Augendiagnostikzentrum
bzw.	beziehungsweise
DES	discrete event simulation
df	degrees of freedom
Ø	durchschnittliche
et al.	und andere
etc.	et cetera
ggf.	gegebenenfalls
GSAD	Gesamtaufenthaltsdauer
HAA	hinterer Augenabschnitt
i.s.h.med	Industry Solution Healthcare Medizinische Dokumentation
KIS	Krankenhausinformationssystem
LMU	Ludwig-Maximilians-Universität
min	Minute
n	Anzahl
o. g.	oben genannt/e/er/en/s
OA	Oberarzt
OCT	Optische Kohärenztomographie
OE	Organisationseinheit
OR	Operations Research
PAS	Patientenaufrufsystem
SAP	Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung
SD	Standardabweichung
Sig.	Signifikanz
SMEYEDAT DB	Smart-Eye-Data Datenbank
u. a.	unter anderem
v. a.	vor allem
VAA	vorderer Augenabschnitt
vs.	versus
VU	Voruntersuchung
z. B.	zum Beispiel

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Ablauf einer Simulationsstudie	15
Abbildung 2.2: Flussdiagramm	18
Abbildung 2.3: i.s.h.med Benutzeroberfläche	21
Abbildung 2.4: Objektgenerator in FlexSim	27
Abbildung 2.5: FlexSim-Modell der Ambulanzen der Augenklinik, Vogelperspektive	29
Abbildung 2.6: FlexSim-Modell der Ambulanzen der Augenklinik, 3-D-Ansicht	30
Abbildung 2.7: Grundriss der Allgemeinambulanz/ Spezialprechstunde	31
Abbildung 2.8: Grundriss der Makulasprechstunde	31
Abbildung 2.9: Populationskenngrößen HAA	32
Abbildung 2.10: Automated Fitting-Funktion in FlexSim	33
Abbildung 2.11: Histogramm in ExpertFit; Vergleich der Verteilungen der Messwerte des HAA (dunkelblaue Balken) mit der Betaverteilung (hellblaue Balken)	34
Abbildung 2.12: Anderson-Darling-Test für die Betaverteilung HAA	35
Abbildung 2.13: Patientenpfad in FlexSim	36
Abbildung 2.14: Übersicht Arbeits- und Pausenzeiten eines Assistenzarztes der Allgemeinambulanz im Simulationsmodell	38
Abbildung 2.15: Dashboard	40
Abbildung 3.1: Verteilung der GSAD (in min) innerhalb der Datengruppen (Meta- vs. Simulationsdaten), Allgemeinambulanz (Montag bis Freitag)	49

Abbildung 3.2: Verteilung der GSAD (in min) innerhalb der Datengruppen (Meta- vs. Simulationsdaten), Diabetes-/ Retinaambulanz (Donnerstag)	49
Abbildung 3.3: Verteilung der GSAD (in min) innerhalb der Datengruppen (Meta- vs. Simulationsdaten), Makulasprechstunde (Dienstag, Mittwoch und Freitag)	50
Abbildung 3.4: Verteilung der GSAD (in min) innerhalb der Datengruppen (Meta- vs. Simulationsdaten), Makulasprechstunde (Montag und Donnerstag)	50
Abbildung 3.5: StatFit; errechnete Anzahl der Replikationen für das Basismodell der Allgemeinambulanz	52
Abbildung 3.6: Terminmodell aus FlexSim; Basismodell der Allgemeinambulanz	53
Abbildung 3.7: Optimiertes Terminvergabemodell der Allgemeinambulanz nach Implementierung.....	59

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Übersicht Metadaten der Allgemeinambulanz (Montag bis Freitag)	24
Tabelle 2.2: Übersicht Metadaten der Makulasprechstunde (Montag und Donnerstag sowie Dienstag, Mittwoch und Freitag)	24
Tabelle 2.3: Übersicht Metadaten der Diabetes-/ Retinasprechstunde (Donnerstag)	25
Tabelle 2.4: Übersicht manuell gemessene Daten (Prozesszeiten)	26
Tabelle 2.5: Übersicht Prozesszeiten mit ermittelten Verteilungsfunktionen	36
Tabelle 2.6: Übersicht Terminmodelle der Allgemeinambulanz (Montag bis Freitag)	42
Tabelle 2.7: Übersicht Terminmodelle der Makulasprechstunde (Montag und Donnerstag).....	43
Tabelle 2.8: Übersicht Terminmodelle der Makulasprechstunde (Dienstag, Mittwoch und Freitag)	44
Tabelle 3.1: Kolmogorow-Smirnow-Test auf Normalverteilung, Signifikanz- Korrektur nach Lilliefors. Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$	46
Tabelle 3.2: Deskriptive Statistik der Validation.....	47
Tabelle 3.3: Mann-Whitney-U-Test zum Vergleich unabhängiger Stichproben, asymptomatische Signifikanzen werden angezeigt. Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$	48
Tabelle 3.4: Vergleich Metadaten mit Simulationsdaten (Basismodell) der Allgemeinambulanz (Montag bis Freitag)	54
Tabelle 3.5: Ergebnisse der getesteten Szenarien der Allgemeinambulanz (Montag bis Freitag)	55

Tabelle 3.6: Vergleich Metadaten mit Simulationsdaten (Basismodell) der Makulasprechstunde (Montag und Donnerstag).....	56
Tabelle 3.7: Ergebnisse der Makulasprechstunde (Montag und Donnerstag) ..	57
Tabelle 3.8: Vergleich Metadaten mit Simulationsdaten (Basismodell) der Makulasprechstunde (Dienstag, Mittwoch und Freitag).....	57
Tabelle 3.9: Ergebnisse der Makulasprechstunde (Dienstag, Mittwoch und Freitag)	58
Tabelle 3.10: Vergleich der Metadaten vor sowie nach erfolgter Umstellung des Terminmodells der Allgemeinambulanz (Montag bis Freitag).....	60

1 Einleitung

Ein relevantes Problem in Notaufnahmen und Ambulanzen sind häufig lange Wartezeiten bzw. daraus resultierend eine lange Gesamtaufenthaltsdauer (GSAD) der Patienten im Krankenhaus. Dieser Umstand führt in vielen Fällen z. B. zu Patientenunzufriedenheit, Unzufriedenheit der Mitarbeiter, Einbußen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit des Klinikums oder zu schlechterer Versorgung zeitkritischer Krankheitsbilder. Die Ursachen für lange Wartezeiten der Patienten sind vielfältig. Probleme können z. B. eine nicht optimale Terminvergabe, aber auch Fehler innerhalb der Prozesse der Patientenversorgung sowie im Personalmanagement (auch Personalmangel) sein. Häufig ist es ein Zusammenspiel mehrerer Faktoren.

Die Idee zu dieser wissenschaftlichen Arbeit entstand durch Gespräche mit dem Personal der Ambulanzen der Augenklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU). Die Mitarbeiter nahmen eine lange Aufenthaltsdauer der Patienten innerhalb der Ambulanzen wahr. Diese subjektiven Beobachtungen konnten im Verlauf durch Auswertungen von Datensätzen bestätigt werden. In den geführten Gesprächen wurden neben personellen Engpässen und strukturellen Problemen vor allem eine nicht optimale Terminvergabe als mögliche Ursache eruiert. Die Terminvergabe wurde dabei als Ansatzpunkt zur Verkürzung der Patientenaufenthaltsdauer festgelegt. Die Vorteile einer optimierten Terminvergabe sind zum einen eine kostengünstige Implementierung im klinischen Alltag und zum anderen eine erhoffte signifikante Verkürzung der Aufenthaltsdauer für die Patienten.

Um die Gesamtaufenthaltsdauer der Patienten zu minimieren, gibt es in der Forschung verschiedene Ansätze, zu denen u. a. „Operations Research“ (OR) zählt. Dieser Begriff bezeichnet „die Entwicklung und den Einsatz quantitativer Methoden zur Entscheidungsunterstützung“ [1, 2]. Ein „Werkzeug“ des OR ist die Simulation, welche als Methode in dieser Arbeit angewandt wurde. Zu den Themen Wartezeit in Kombination mit OR gibt es im deutschsprachigen Raum bisher wenige Arbeiten, die sich im Gesundheitswesen damit beschäftigen, Prozesse zu optimieren. Im angloamerikanischen Raum spielt das Thema Marktwirtschaft und Wettbewerb im Zusammenhang mit gesundheitspolitischen

Fragen schon seit längerem eine größere Rolle, was z. B. an der Anzahl bereits existierender Studien zu diesem Thema deutlich wird.

Dank der Einführung der elektronischen Patientenakte in der Augenklinik der LMU im Jahre 2014 und der Datenspeicherung innerhalb der Datenbanken (Smart-Eye-Data Datenbanken = SMEYEDAT DB) bestand das Ziel dieser Arbeit darin, mit Hilfe von „Big Data“ ein Simulationsmodell der untersuchten Ambulanzen der Augenklinik der LMU am Computer zu erstellen und zu validieren. Mit den validierten Simulationsmodellen sollten optimierte Terminraster getestet und im Idealfall als Pilotprojekt ein optimiertes Terminmodell für die Allgemeinambulanz im klinischen Alltag implementiert werden, wobei die Simulationsmodelle dabei als objektivierbare Entscheidungshilfe fungieren sollten.

1.1 Die Universitätsaugenklinik der LMU und ihre Ambulanzen

Die Universitätsaugenklinik der LMU ist „eine der größten Fachkliniken für Augenheilkunde in Europa. Jährlich werden zirka 50 000 Patienten behandelt und zirka 9000 Operationen durchgeführt. Zur Behandlung stehen derzeit 19 Ambulanzen und Spezialambulanzen zur Verfügung“ [3]. Durch die hohe Dichte an ambulanten Augenärzten und Augenzentren in und um München besteht ein enormer Wettbewerbsdruck, der in Zukunft bei noch stärkerer ambulanter Ausrichtung dieses Faches zunehmen wird. Um ihm standhalten zu können, ist es wichtig, dass Patienten nicht nur mit einem breiten Spektrum an Therapiemöglichkeiten geworben werden, sondern auch mit gut funktionierenden Abläufen innerhalb der Patientenversorgung. Hierbei sind die organisatorischen Herausforderungen, vor denen Ambulanzen im Allgemeinen und Ambulanzen eines Universitätsklinikums im Speziellen stehen, zu beachten. Dazu zählt u. a. eine hohe Anzahl nicht-terminierter Patienten in der Notfallambulanz, welche ein hohes Maß an Flexibilität fordert. Zudem ist die Augenklinik der LMU ein Lehrkrankenhaus mit vielen Assistenzärzten (sowie Famulanten und PJ-Studenten), die in den verschiedenen Ambulanzen arbeiten und sich häufig noch am Anfang ihrer Ausbildung befinden. Dies bedeutet, dass fast jeder Patient in der jeweiligen Ambulanz abschließend von einem Fach- oder Oberarzt supervisiert werden muss, bevor spezifische Therapieentscheidungen getroffen

oder die Patienten entlassen werden können. Neben der reinen Patientenbetreuung kommt noch die Lehre innerhalb des Universitätsklinikums hinzu sowie Forschungsprojekte und administrative Aufgaben, die einen erheblichen Anteil der Arbeitszeit von Ärzten ausmachen [4]. Zudem weist das Patientenkollektiv eines Universitätsklinikums häufig eine Vielzahl an teilweise komplexen Diagnosen auf und bedeutet damit einhergehend einen größeren Aufwand in Hinsicht auf die Therapie.

Nach Auswertung der Datensätze und in Rücksprache mit dem Klinikpersonal wurden die Allgemeinambulanz, die Makulasprechstunde sowie die Diabetes-/Retinaambulanz als die zu untersuchenden Ambulanzen ausgewählt, da hier das größtmögliche Optimierungspotential in Bezug auf die Terminvergabe gesehen wurde.

Die Allgemeinambulanz ist gekennzeichnet durch ein breit aufgestelltes Patientenkollektiv, welches aus neuen und bereits bekannten Patienten mit unterschiedlichsten Diagnosen besteht. Die Patienten der Allgemeinambulanz haben bereits einen Termin, entweder zur Kontrolle nach einer Operation, nach telefonischer Vereinbarung oder z. B. als Erstüberweisung von einem ambulanten Augen- bzw. Hausarzt. Nach erfolgter Erstuntersuchung können Patienten dann ggf. in die verschiedenen Spezialambulanzen vermittelt und weiterbehandelt werden. Daraus resultiert ein spezifisches Patientenkollektiv für die Spezialambulanzen und die Makulasprechstunde, weswegen die Abläufe und Prozesse im Gegensatz zur Allgemeinambulanz standardisierter sind. Eine Besonderheit der Diabetes-/ Retinaambulanz im Gegensatz zur Allgemeinambulanz und Makulasprechstunde sind dabei nicht-terminierte Patienten. Die genauen Abläufe innerhalb der einzelnen Ambulanzen werden ab Kapitel [2.3.4.1](#) erläutert.

1.2 Definition von Wartezeit und Gesamtaufenthaltsdauer

Der Begriff Wartezeit kann im Zusammenhang mit Patienten einer Ambulanz unterteilt werden in „erste Wartezeit“ und „wahre Wartezeit“ [5]. Die erste Wartezeit bezeichnet die Zeit, die der Patient bis zum Behandlungsbeginn wartet, wenn er z. B. vor der Terminzeit in der Ambulanz erscheint. Die wahre Wartezeit ist die Zeitspanne von der Terminzeit bis zum Behandlungsbeginn. Die erste

Wartezeit ist deshalb relevant, da empirische Studien aufgezeigt haben, dass die Mehrzahl der Patienten zu früh anstatt zu spät zum vereinbarten Termin erscheinen [5-7]. Dies wiederum kann zu einem ungewollten Stau im Wartezimmer führen, der ggf. Auswirkung auf die nachfolgenden Termine hat [8]. In Bezug auf die Augenklinik der LMU ist es relevant, dass Patienten einen Anmeldetermin bekommen. Dieser ist zu unterscheiden von einem Behandlungstermin. Der Patient muss im Voraus darüber aufgeklärt werden, dass die Terminzeit nicht mit der Behandlungszeit, das heißt mit der Zeit der Arztkonsultation, korreliert. Dadurch können falsche Erwartungen vermieden werden [9]. Wie bereits erwähnt, ist es wichtig, die Anmeldezeit einzuhalten, da Patienten, die zu früh oder zu spät kommen, den folgenden Ablauf der Prozesse unnötig verzögern könnten.

Aufgrund von aufeinanderfolgenden Diagnostik- und Behandlungsschritten innerhalb der untersuchten Ambulanzen entstehen mehrere einzelne Wartezeiten, welche im Rahmen der vorliegenden Arbeit als Gesamtaufenthaltsdauer zusammengefasst wurden.

Ein wesentlicher Grund, warum anstatt der ersten Wartezeit die Gesamtaufenthaltsdauer als Zielvariable gewählt wurde, sind die Datensätze aus den Datenbanken, die zum Auswerten und Experimentieren genutzt wurden. Anhand von „Bewegungszeiten“, die in den Datenbanken direkt aus dem Krankenhausinformationssystem (KIS) gespeichert werden, war es nicht möglich, die wahre Wartezeit der Patienten zu bestimmen. Die erste „Bewegung“ wird in der Datenbank gespeichert, wenn sich der Patient bei der Patientenverwaltung registriert und wieder im Wartezimmer Platz nimmt. Zuvor muss jeder Patient eine Wartenummer aus dem Ticketautomaten ziehen. Bis seine Nummer von der Patientenverwaltung aufgerufen wird, wartet der Patient bereits im Wartezimmer, jedoch wird dieser Zeitabschnitt noch nicht durch die Daten in der SMEYEDAT DB erfasst.

Als Gesamtaufenthaltsdauer ist im Folgenden die Zeitspanne vom Einlesen der Krankenversicherungskarte in der Patientenambulanz (erste Bewegung, die in der SMEYEDAT DB abgespeichert wird) bis zum Schreiben und Abspeichern des Entlassungsbriefes (letzte Bewegung, die in der SMEYEDAT DB gespeichert wird) definiert.

1.3 Konsequenzen langer Wartezeiten

Eine lange Gesamtaufenthaltsdauer von Patienten in Ambulanzen kann vielfältige Konsequenzen haben. Zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten beschreiben eine direkte Korrelation zwischen der Patientenzufriedenheit und langen Aufenthalten bzw. Wartezeiten in verschiedenen Ambulanzen [9-16]. Zudem existiert die Auffassung, dass die Quantität und vor allem die Qualität der Zeit, die der Patient beim Arzt verbringt, signifikanter für die Patientenzufriedenheit ist, als die verbrachte Zeit im Wartezimmer [10].

Die Unzufriedenheit der Patienten oder überfüllte Wartezimmer können außerdem einen Einfluss auf das Personal haben. Die medizinische Betreuung kann darunter leiden, da Ärzte gezwungen sind, während Stoßzeiten schneller zu arbeiten, um das hohe Pensum an Patienten zu betreuen, wie in einigen Studien beobachtet wurde [17-19]. Als Folge wird weniger Zeit pro Patient aufgewendet. Dies kann zu Fehlern bei der Diagnose oder Behandlung führen und sich zudem negativ auf die Arzt-Patienten-Beziehung auswirken.

Darüber hinaus stehen lange Wartezeiten und daraus resultierende Patientenunzufriedenheit in Korrelation mit den betriebswirtschaftlichen Aspekten, die eine Klinik erfüllen muss. In Hinsicht auf die Wettbewerbsfähigkeit von Kliniken und Praxen haben Bewertungsportale eine immer größer werdende Bedeutung. Die Universität Erlangen führte im Jahr 2013 eine Querschnittsstudie mit 1.505 Teilnehmern durch. Von allen Teilnehmern nutzten insgesamt 25,32 % (381 Teilnehmer) Bewertungsportale in der Vergangenheit. Von dieser Gruppe gaben 65,35 % (249 Teilnehmer) an, die Wahl eines bestimmten Arztes anhand der positiven Bewertungen getroffen zu haben. 52,23 % dieser Gruppe (199 Teilnehmer) hingegen entschieden sich aufgrund negativer Bewertungen gegen einen bestimmten Arzt [20].

Dass neben den Patientenerfahrungen auch Strukturdaten (z. B. Lage der Praxis/ Klinik oder Diagnose und Therapieangebot) und Prozesse (z. B. Wartezeit auf einen Termin oder Wartezeit bis zur Behandlung) für die Befragten eine große Rolle spielen, zeigt eine Umfrage des Meinungsforschungsinstituts Emnid aus dem Jahr 2016 mit dem Titel *Was Patienten – neben Erfahrungen anderer Patienten – auf Arztbewertungsportalen interessiert*. Dabei gaben die Befragten (n = 1.044) als häufigste Nennungen neben der Wartezeit auf einen Termin

(51 %) und der Erreichbarkeit der Praxis (49 %) an dritter Stelle die Wartezeit beim Arzt (43 %) als relevante Information aus Bewertungsportalen an [21].

Nur Kliniken und Praxen, die Patienten binden und neue Patienten akquirieren, bleiben auch wettbewerbsfähig. Dazu ist es notwendig, funktionierende Prozesse innerhalb der Klinik bzw. Ambulanz zu etablieren, um Kosten zu reduzieren und die Gesamtaufenthaltsdauer der Patienten so gering wie möglich zu halten [22].

1.4 Terminplanung

Welch und Bailey zählen zu den Pionieren, die den Zusammenhang zwischen einer Optimierung der Terminvergabe in Bezug auf die Wartezeit der Patienten und die Leerlaufzeit von Ärzten erforscht haben. Dabei fanden sie heraus, dass genau die Terminmodelle am effektivsten arbeiteten, bei denen die Patienten in festgelegten Intervallen einbestellt wurden. Die Intervallzeit entsprach dabei der mittleren Behandlungszeit, die der Arzt pro Patient benötigte. Dabei wurde der erste „Patientenslot“ mit zwei Terminen belegt, sodass der Arzt zu Beginn der Sprechstunde und im weiteren Verlauf ideal ausgelastet war [23]. Welchs und Baileys Annahme, dass die Zeit des Arztes kostbarer ist als die der Patienten und die Auslastung des Arztes oberste Priorität bei der Terminplanung haben sollte, hat sich dabei seit den 1950er Jahren relativiert [24]. Der ursprüngliche Ansatz war, dass eine optimale Auslastung der Arbeitszeit des Arztes ein wichtiger Kostenfaktor für das Klinikum ist. In seiner Arbeit aus dem Jahr 2008 stellt Lowes dahingegen das Kriterium der Patientenzufriedenheit über die Auslastung der Ärzte in Hinsicht auf eine optimale Terminplanung [25]. Schussfolgernd kann gesagt werden, dass bei der Optimierung der Terminplanung eine optimale Auslastung der Ressourcen sowie die Patientenzufriedenheit gleichermaßen berücksichtigt werden sollten.

In einer Übersichtsarbeit zum Thema Terminplanung in Ambulanzen erarbeiten Cayirli et al. allgemeine Regeln für die Terminierung von Patienten und geben an, dass das Problem bei vielen Arbeiten eine nicht universal anwendbare Terminplanung ist, die häufig spezifisch auf die untersuchte Ambulanz bzw. Klinik ausgelegt wird [26, 27]. Da Ambulanzen nach dem mathematischen Prinzip der Warteschleifentheorien („Queuing Systems“) ablaufen, bei dem sich die Patienten entweder in einer einzigen oder mehreren Warteschlangen aufhalten,

resultieren daraus mehrere Faktoren, die bei der Terminplanung miteinbezogen werden müssen [8, 28]. Dazu zählen vor allem die in Kapitel [4.2](#) ausführlich erläuterten Ursachen für lange Wartezeiten (z. B. eine suboptimale Terminvergabe, Unpünktlichkeit von Patienten oder die Behandlungszeit pro Patient). Ein weiterer Faktor, der bei der Terminplanung berücksichtigt werden muss, ist die Priorität, mit der die Patienten ins Behandlungszimmer gerufen werden („Queue Discipline“) [26]. Es muss unterschieden werden zwischen dem „first-come, first-served“-Prinzip und einem Abrufen der Patienten streng nach Priorität. Dabei haben die höchste Priorität im Allgemeinen Notfallpatienten, gefolgt von terminierten Patienten und – mit der niedrigsten Priorität – Patienten, die ohne Termin erscheinen („Walk-ins“) [29].

Weiterhin können die bereits terminierten Patienten in unterschiedliche Gruppen eingeteilt werden (Patienten mit Kontrolltermin nach OP, bekannte Patienten, neue Patienten etc.). Die Reihenfolgeplanung der Patienten kann laut Cayirli et al. einen signifikanteren Effekt auf die Wartezeit haben als die alleinige Wahl eines bestimmten Terminplanungsmodells [30].

In der Literatur wurde bereits eine Vielzahl an Terminplanungsmodellen untersucht [25, 26, 29-31]. Daraus resultieren u. a. die folgenden Möglichkeiten, Patienten einzubestellen:

1. Blockintervall:

Dies ist die simpelste Form mit dem geringsten organisatorischen Aufwand, um Patienten einzubestellen. Alle Patienten erscheinen im „Block“ zur Vormittags- bzw. Nachmittagsprechstunde und werden nach dem „first-come, first-served“-Prinzip aufgerufen. Dieses System führt unweigerlich zu einer langen Gesamtaufenthaltsdauer der Patienten, jedoch ebenfalls zu einer kompletten Auslastung der Ärzte ohne Leerlaufzeit durch z. B. unpünktliche Patienten [26].

2. Individualisierte Einbestellung mit festem Intervall:

Jeder Patient bekommt einen eigenen Termin. Die Intervalle zwischen den zu vergebenden Terminen sind auf eine bestimmte Zeit festgelegt. Diese sollte dem Mittelwert der zuvor gemessenen Behandlungsdauer pro Patient entsprechen [6, 23, 32].

3. Individualisierte Einbestellung mit festem Intervall und einem Initialblock:

Wie 2., jedoch wird zu Beginn der Sprechstundenzeit mehr als nur ein Patient einbestellt. Damit soll das Risiko für Leerlaufzeiten auf ärztlicher Seite minimiert werden. Welch et al. waren in den 1950ern die ersten, die den Vorteil dieses Terminmodells im Gegensatz zum zur damaligen Zeit weit verbreiteten Blockintervall-Modell untersuchten [8, 23].

4. Individualisierte Einbestellung im Block mit festem Intervall:

Die Patienten haben individualisierte Termine, jedoch können z. B. zwei Patienten zur selben Zeit im Block einbestellt werden. Die Intervallzeiten zwischen den Terminen sollten bei dieser Variante die Dauer der doppelten Behandlungszeit betragen, um lange Wartezeiten zu verhindern [33]. Dieses Modell scheint nur sinnvoll bei einer relativ kurzen Behandlungszeit pro Patient, da ansonsten mit hohen Wartezeiten zu rechnen ist.

5. Individualisierte Einbestellung im Block mit festem Intervall und einem Initialblock:

Wie 4. mit der zusätzlichen Einbestellung von Patienten zu Beginn der Sprechstundenzeit [26, 30].

6. Variable Blockgröße mit festem Intervall:

Die Patienten werden in Blöcken mit unterschiedlichen Patientenzahlen einbestellt bei fixierter Intervallzeit zwischen den Terminen [26, 30].

7. Individualisierte Einbestellung bei variablem Intervall:

Jeder Patient hat einen individuellen Termin. Die Intervallzeit zwischen den Terminen ist variabel [26, 30].

Es existiert eine Vielzahl an Varianten innerhalb der verschiedenen Terminmodelle, die jedoch noch nicht ausreichend untersucht wurde. Die Terminplanung in der vorliegenden Arbeit basiert auf den o. g. Terminmodellen mit spezifischen Abwandlungen in Bezug auf die jeweilig untersuchte Ambulanz. Mit Hilfe der Datenbanken (SMEYEDAT DB) konnten so z. B. Terminzeiten herausgefiltert werden, bei denen Patienten im Durchschnitt eine besonders lange Aufenthaltsdauer hatten.

Ein zentrales Problem bei der Terminoptimierung mit Hilfe theoretischer Modelle und Studien ist die bereits angesprochene fehlende Generalisierbarkeit. In den meisten Fällen beziehen sich die Studien auf eine bestimmte Ambulanz oder ein

Krankenhaus. Da die Ambulanzen untereinander in Hinsicht auf Abläufe, Ressourcen etc. divergieren, ist ein individueller Ansatz die einzige Möglichkeit einer adäquaten Terminoptimierung [26].

Probleme, die bei der Terminplanung auftreten können, sind u. a. die Überbuchung trotz nicht ausreichender Ressourcen und eine zu kurze Dauer der Einbestellintervalle in Bezug auf die Behandlungszeit pro Patient [19]. Einen positiven Einfluss auf die Terminplanung haben u. a. der pünktliche Beginn der Sprechstunde, das Vermeiden von Überbuchungen und das Analysieren des Patientenkollektivs z. B. in Hinsicht auf die Identifikation von Patienten, die ggf. mehr Zeit in Anspruch nehmen (Einteilung der Patienten in Gruppen und Reservierung verschiedener Slots im Terminplaner für die jeweils spezifische Gruppe).

2 Material und Methoden

2.1 Begriffsbestimmungen des Operations Research

Im Folgenden werden Begriffe genauer erläutert, die im Rahmen des OR zur Anwendung kommen. Dabei stellt die discrete event simulation (DES) in dieser Arbeit das Hauptinstrument zur Optimierung der Terminvergabe dar.

2.1.1 Simulation/ discrete event simulation

Nach einer vielzitierten Definition von Banks, einem der Pioniere auf dem Feld der Simulation, versteht man unter dem Begriff der Simulation ein dynamisches Modell, bei dem Systembeobachtungen durchgeführt und Daten zur Untersuchung dieses Systems gesammelt werden [34]. Simulation kann dazu genutzt werden, Hypothesen aufzustellen und diese zu testen, ohne dabei mit dem Ablauf des klinischen Alltags zu interferieren. Experimentell können „was-wäre-wenn-Fragen“ getestet und Lösungsansätze ausprobiert werden [35, 36]. Simulationsstudien werden bereits seit den späten 1950er Jahren in der Industrie und Logistik durchgeführt, wobei die Studien damals mit hohem Kostenaufwand sowie limitierten technischen Möglichkeiten verbunden waren. Erst Mitte der 1990er Jahre fokussierte sich die Forschung vermehrt auf den Einsatz von Simulationsprojekten zur Prozessanalyse und -optimierung im Krankenhaus [35, 37, 38]. Dank technischer Weiterentwicklung und stetiger Forschung finden Simulationsstudien immer häufiger Anwendung im klinischen Alltag, da die Kosten zur Durchführung einer dynamischen Simulation gesunken sind und der technische Aufwand weniger kompliziert ist. Mittlerweile befinden sich Simulationsprogramme auf dem Markt, mit denen gearbeitet werden kann, ohne dafür z. B. Fachkenntnisse von spezifischen Programmiersprachen besitzen zu müssen.

Es wird unterschieden u. a. zwischen continuous und discrete event simulation. Die kontinuierliche Simulation behandelt andauernde Prozesse wie z. B. das Pflanzenwachstum oder die Bewegung von Autos [1]. Die discrete event simulation befasst sich hingegen mit einer begrenzten Anzahl von Zeitpunkten. Hierbei handelt es sich um ein dynamisches System, bei dem sich Elemente oder Relationen im Zeitablauf ändern. Beispiele hierfür sind die Anzahl von Besuchern

einer Website oder, wie im Fall dieser Arbeit, die Gesamtaufenthaltsdauer von Patienten in einer Ambulanz im Rahmen von festen Sprechstundenzeiten [1, 2]. In einer Übersichtsarbeit von Roberts werden die häufig verwendeten Simulationsprogramme, die im Rahmen von Simulationsstudien innerhalb des Gesundheitssystems zur Anwendung kommen, aufgeführt. Zudem erläutert er den Stellenwert, den die DES im Bereich der Lösung von organisatorischen Problemen von z. B. Abläufen in Ambulanzen, Krankenhäusern oder Praxen einnimmt. Dabei bietet die DES die Möglichkeit, Warteprozesse in ein dynamisches Modell zu inkludieren, die entstehen, wenn die Nachfrage nach einem bestimmten Prozess dessen Kapazität übersteigt [39].

2.1.2 Prozessanalyse

Unter dem Begriff der Prozessanalyse versteht man die Analyse von Prozessen, Prozessabläufen und Patientenpfaden sowie der Auslastung der einzelnen Ressourcen. Als Ressource werden zum einen das Personal (Rezeptionistinnen, Pfleger, Ärzte etc.) und zum anderen die Räumlichkeiten (Behandlungszimmer, Wartezimmer, Röntgengerät etc.) definiert (siehe hierzu auch Kapitel [2.3.3](#) und [2.3.4](#) [40]).

2.1.3 Patientenpfad

Als Patientenpfad werden die einzelnen Schritte definiert, die der Patient vom Betreten des Krankenhauses bis zur Entlassung durchläuft. Im Rahmen dieser Arbeit wurde hierzu ein Flussdiagramm angefertigt (siehe hierzu auch Kapitel [2.3.4](#)), anhand dessen unterschiedliche Pfade für verschiedene Patientengruppen grafisch dargestellt werden. Das Flussdiagramm dient später als Grundlage für die Programmierung der Patientenpfade innerhalb des Simulationsmodells (siehe hierzu auch Kapitel [2.3.6](#)).

2.1.4 Prozesszeiten

Als Prozesszeit wurde in dieser Arbeit die Zeitspanne vom Beginn bis zur Beendigung eines Prozesses innerhalb der Ambulanz bzw. des Simulationsmodells definiert. Die Prozesszeiten wurden manuell gemessen und

mittels passender Verteilungsfunktion in das spätere Simulationsmodell integriert (siehe hierzu auch Kapitel [2.3.6.2](#)). Zu den Prozesszeiten zählen im Folgenden:

1. die Zeitspanne, in der sich der Patient in der Patientenverwaltung aufhält
2. die Anamnese und Untersuchung des vorderen Augenabschnitts (VAA) (hier wurde zusätzlich die Unterteilung in neuer bzw. bekannter Patient vorgenommen)
3. die OCT-Diagnostik
4. die Untersuchung des hinteren Augenabschnitts (HAA)
5. die Oberarzt-Untersuchung
6. die Voruntersuchung der Makulasprechstunde
7. die Hauptuntersuchung der Makulasprechstunde

2.2 Smart-Eye-Data Datenbank (SMEYEDAT DB)/ Big Data

Die SMEYEDAT DB wurde im Jahr 2014 durch eine Arbeitsgruppe aus Ärzten, Informatikern und Statistikern entwickelt, um im Rahmen von Big Data die Grundlage für verschiedene Forschungsprojekte in der Augenheilkunde zu bilden. Dadurch dass „Daten aus Messgeräten sowie einer digitalen Akte in einem ‚Data Warehouse‘ (DW)“ [41] zusammengeführt werden, entstehen komplexe Datenmengen.

„Die Datenbasis stammt aus dem KIS des Klinikums der Ludwig-Maximilians-Universität München, welches zur Erfassung und Verwaltung der Daten ein SAP R3 System mit integrierter i.s.h.med Technologie (Cerner AG) verwendet. Die relevanten Informationen (wie patientenbezogene medizinische oder verwaltungstechnische Daten) werden in Form von Textdateien exportiert und unter Berücksichtigung der SAP-internen Identifikationsmerkmale in die SMEYEDAT DB integriert. Die so erhaltenen Basisdaten können schließlich gemäß den Anforderungen für klinische Auswertungen und Studien formiert werden“ [42].

Die für diese Arbeit relevanten patientenbezogenen Informationen (Verwaltungsdaten, Arztbriefinformationen und Bewegungszeiten) werden als rtf- oder doc-Format im KIS hinterlegt und mittels C#-Parserskript in die SMEYEDAT DB integriert.

Nachdem definiert wurde, welche patientenbezogenen Zeitabschnitte (Bewegungsdaten) zur Durchführung der Simulationsstudie benötigt werden, konnten diese im xls-Format für Microsoft-Excel extrahiert werden. Exemplarisch für die Allgemeinambulanz wurden alle Daten der Patienten-IDs für einen vorher definierten Zeitraum (07.01.2014 bis 23.12.2014) ausgewählt. Jede einzelne Patienten-ID wurde innerhalb der SMEYEDAT DB mit weiteren zugehörigen Daten, wie z. B. dem Patientengeschlecht, dem Datum des Besuchs, ob es sich um einen neuen oder bereits bekannten Patienten handelt, oder ob eine Bildgebung an dem spezifischen Datum erfolgt ist, verlinkt. Dabei waren vor allem die sogenannten Bewegungszeiten zur Erstellung und Validierung der Simulationsstudie von Bedeutung.

2.2.1 Bewegungszeiten

Dadurch dass auch Arztbrief-Informationen in SMEYEDAT eingespeist werden, entstehen Bewegungszeiten der Patienten, welche zum Erstellen eines Simulationsmodells genutzt werden können.

Die erste Bewegungszeit, die in der SMEYEDAT DB dabei abgespeichert wird, ist bei der Anmeldung in der Patientenverwaltung (Krankenkassenkarte wird eingelesen und die Uhrzeit in der SMEYEDAT DB hinterlegt.) Als weitere Bewegungszeit wird die Uhrzeit gespeichert, zu der ein Arzt während des ersten Patientenkontakts einen Arztbrief anlegt. Wird dieser Arztbrief beim letzten Patientenkontakt erneut geöffnet, fertiggestellt und abgespeichert, wird dieser Zeitpunkt wiederum in der Datenbank hinterlegt (entspricht dem Zeitpunkt der letzten Änderung des Dokumentes). Zudem wird der Zeitpunkt der Anmeldung einer bildgebenden Untersuchung im System in der Datenbank hinterlegt.

Weitere Daten, die aus der SMEYEDAT DB extrahiert werden können, sind z. B. das Datum des Besuchs/ der letzten Bearbeitung des Dokuments, das Patientengeschlecht, die Organisationseinheit (entspricht den unterschiedlichen Ambulanzen) und die Verlinkung jedes Patienten zur spezifischen Patienten-ID.

2.3 Schritte zur Durchführung einer Simulationsstudie

Banks beschreibt in seinem Werk *Handbook of Simulation* sehr detailliert und umfangreich die einzelnen Schritte von der Definition einer Fragestellung über

das Sammeln von Daten bis zum Programmieren und Experimentieren mit einem Simulationsmodell [34].

Shannon vereinfacht diesen Prozess in seiner Arbeit *Introduction to the art and science of simulation*, indem er die folgenden Schritte definiert, nach denen eine Simulationsstudie durchgeführt werden kann (siehe Abbildung 2.1): Am Anfang steht dabei die Definition der Fragestellung mit dem Festlegen eines Ziels. Als nächster Schritt folgt die Projektplanung. Darunter fällt z. B. die Zusammenstellung eines Teams für die Simulationsstudie und die Auswahl der benötigten Hard- und Software. In den nächsten Schritten erfolgen die genaue Definition des zu untersuchenden Systems und die Anfertigung eines konzeptionellen Modells (in dieser Arbeit: Prozessanalyse und Anfertigung des Flussdiagramms). Danach müssen die Daten für das Simulationsprojekt gesammelt werden. Nachdem die o. g. Schritte vollzogen wurden, kann ein Simulationsmodell auf Grundlage des konzeptionellen Modells programmiert werden, welches vor dem endgültigen Experimentieren verifiziert und validiert werden muss. Sollte sich das Modell als geeignet erweisen, können im Rahmen des Experimentierens verschiedene Szenarien in Bezug auf die Fragestellung getestet werden. Als letzter Schritt werden mit Hilfe der gewonnenen Daten des Simulationsmodells Vorschläge für eine Optimierung gemacht und ggf. erfolgt eine Implementierung dieser [43].

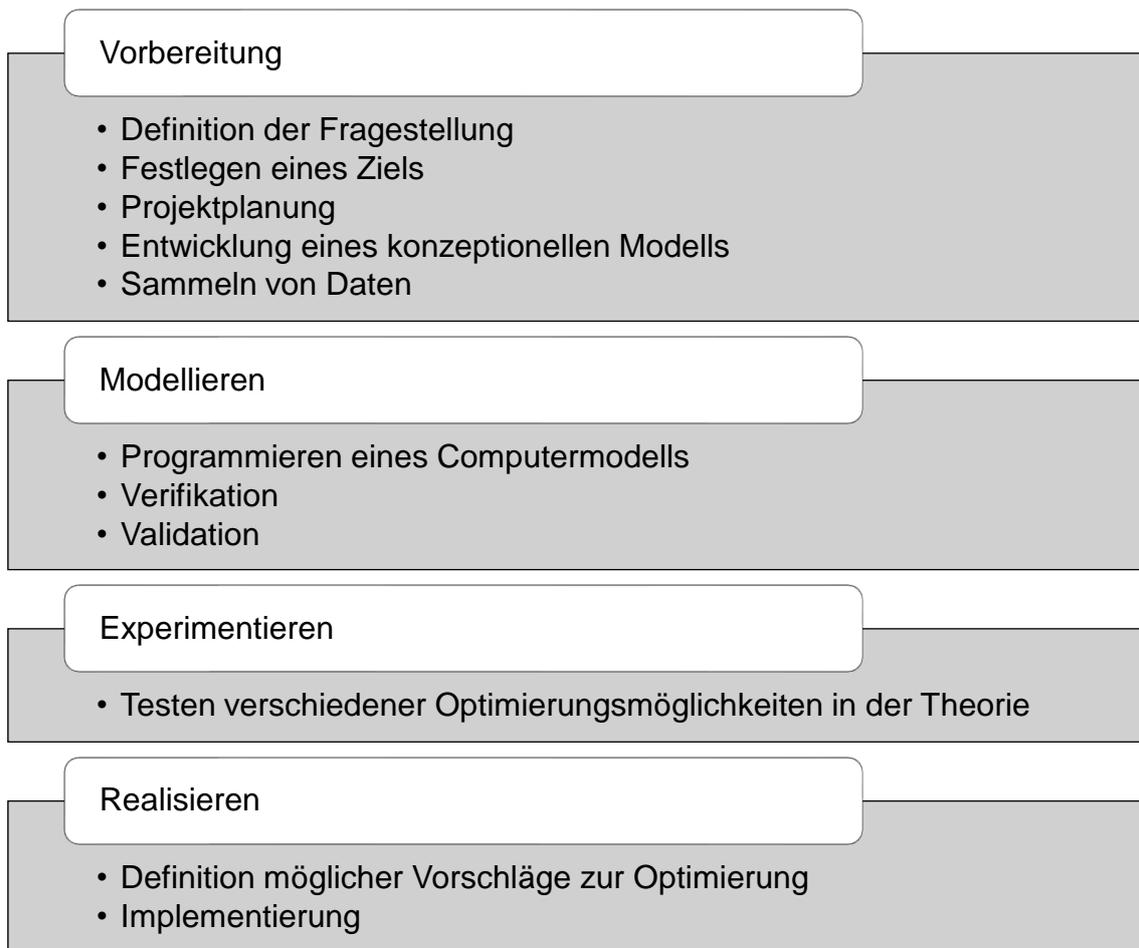


Abbildung 2.1: Ablauf einer Simulationsstudie

Häufig werden in den verschiedenen Simulationsstudien die einzelnen Schritte von Anfang bis Ende der Simulation kurz erläutert. Dabei fehlen mitunter detaillierte Angaben zu den einzelnen Punkten. So wird in den Simulationsstudien von Hamrock et al., Aharonson et al. und Elkhuzen et al. zwar die genutzte Software zum Programmieren des Modells genannt, jedoch wird nicht der Modellierungsvorgang erläutert. Zudem fehlen genaue Angaben zur Herkunft der genutzten Daten sowie zum Prozess der Nutzbarmachung dieser im Rahmen der durchgeführten Simulationsstudie [28, 36, 38].

Nach o. g. Literaturrecherche wurden in der vorliegenden Arbeit die folgenden zehn Schritte im Rahmen dieser Simulationsstudie berücksichtigt:

1. Definition der Problemstellung
2. Festlegen eines Ziels

3. Beobachten der Abläufe und Gespräche mit dem Personal der Ambulanz
4. Erstellen eines Flussdiagramms der Abläufe
5. Sammeln von Daten (historische Metadaten und manuelle Zeitmessungen)
6. Erstellen eines Simulationsmodells
7. Verifikation und Validation des Simulationsmodells
8. Experimentieren
9. Auswertung der Ergebnisse aus dem Simulationsmodell (siehe Kapitel [3](#))
10. Definition von möglichen Vorschlägen zur Optimierung der Terminvergabe (siehe Kapitel [2.4](#) und [3.3](#))

2.3.1 Definition der Problemstellung

Im Mittelpunkt dieser Arbeit stand als Problem die lange durchschnittliche Gesamtaufenthaltsdauer der Patienten in den untersuchten Ambulanzen. Als eine mögliche Ursache für die langen Wartezeiten wurde eine nicht optimale Terminvergabe angenommen. Mittels eines Simulationsmodells sollte die Auswirkung einer Optimierung des bestehenden Terminvergabesystems auf die durchschnittliche Gesamtaufenthaltsdauer der Patienten analysiert werden.

2.3.2 Festlegen eines Ziels

Das Ziel der Arbeit war es, Optimierungsvorschläge in Hinsicht auf die Terminvergabe der untersuchten Ambulanzen zu erarbeiten. Dabei sollte das Resultat eine signifikante Verkürzung der Gesamtaufenthaltsdauer der Patienten sein. Die in der Theorie (Simulationsmodelle) getesteten Optimierungen sollten dann als Entscheidungshilfe für eine mögliche Implementierung eines neuen Terminmodells im klinischen Alltag dienen.

2.3.3 Beobachten der Abläufe und Gespräche mit dem Personal der Ambulanz

Über den Zeitraum von mehreren Wochen erfolgten Zeitmessungen spezifischer Prozesszeiten (siehe Kapitel [2.3.5.2](#)) in ausgewählten Stationen der Ambulanzen, die für die Durchführung der Simulationsstudie notwendig waren, sowie Gespräche mit dem Personal. Hierzu zählten die Mitarbeiter der

Patientenanmeldung, das Pflegepersonal, die MTAs sowie die Ärzte der untersuchten Ambulanzen. Diese Mitarbeiter wurden in das gesamte Projekt, von der Vorbereitung der Simulationsstudie bis zur Fertigstellung, involviert, um etwaige Fehler während des Entstehungsprozesses sofort erkennen und beheben sowie eine spätere Verifikation (siehe Kapitel [2.3.7](#) und [3.1.1](#)) durchführen zu können. Im Rahmen der Gespräche und Zeitmessungen wurden die Organisationsabläufe in allen für die Arbeit relevanten Bereichen der untersuchten Ambulanzen beobachtet und eventuelle Engpässe und Schwachstellen im klinischen Alltag durch zusätzliche Gespräche mit dem Personal herausgearbeitet. Auf dieser Grundlage wurde anschließend ein Flussdiagramm der Abläufe erstellt (siehe hierzu auch Kapitel [2.3.4](#)). Das hohe Patientenaufkommen sowie eine daran nicht angepasste bzw. weiterentwickelte Terminplanung zeigten sich als zentraler Problempunkt. Zudem wurden u. a. personelle Engpässe (hier v. a. eine geringe Zahl an Fachärzten in der Ambulanz), lange Laufwege der Patienten zwischen den verschiedenen Untersuchungen (OCT-Untersuchung im 1. Stock, Ambulanzen im Erdgeschoss) sowie das parallele Arbeiten mit zwei Systemen (elektronische sowie haptische Patientenakte) als weitere Problempunkte genannt.

Erst durch das Verständnis der genauen Prozesse und der zur Verfügung stehenden Ressourcen konnte anschließend ein funktionierendes Modell der Ambulanzen am Computer erstellt werden.

2.3.4 Erstellen eines Flussdiagramms der Abläufe

Ein wichtiger Schritt der Prozessanalyse ist es, Patientenpfade, Prozesse und deren Abläufe sowie Ressourcen zu analysieren und vereinfacht mittels eines Flussdiagramms darzustellen [40, 44]. Das Flussdiagramm beschreibt den Pfad, den jeder Patient nach dem Betreten des Klinikums durchläuft und dient später als Grundlage zur Programmierung der unterschiedlichen Patientenpfade innerhalb des Simulationsmodells. Die Kapitel [2.3.4.1](#) bis [2.3.4.3](#) beschreiben die Prozessabläufe innerhalb der untersuchten Ambulanzen aus denen letztendlich das Flussdiagramm konzipiert wurde (siehe Abbildung 2.2).

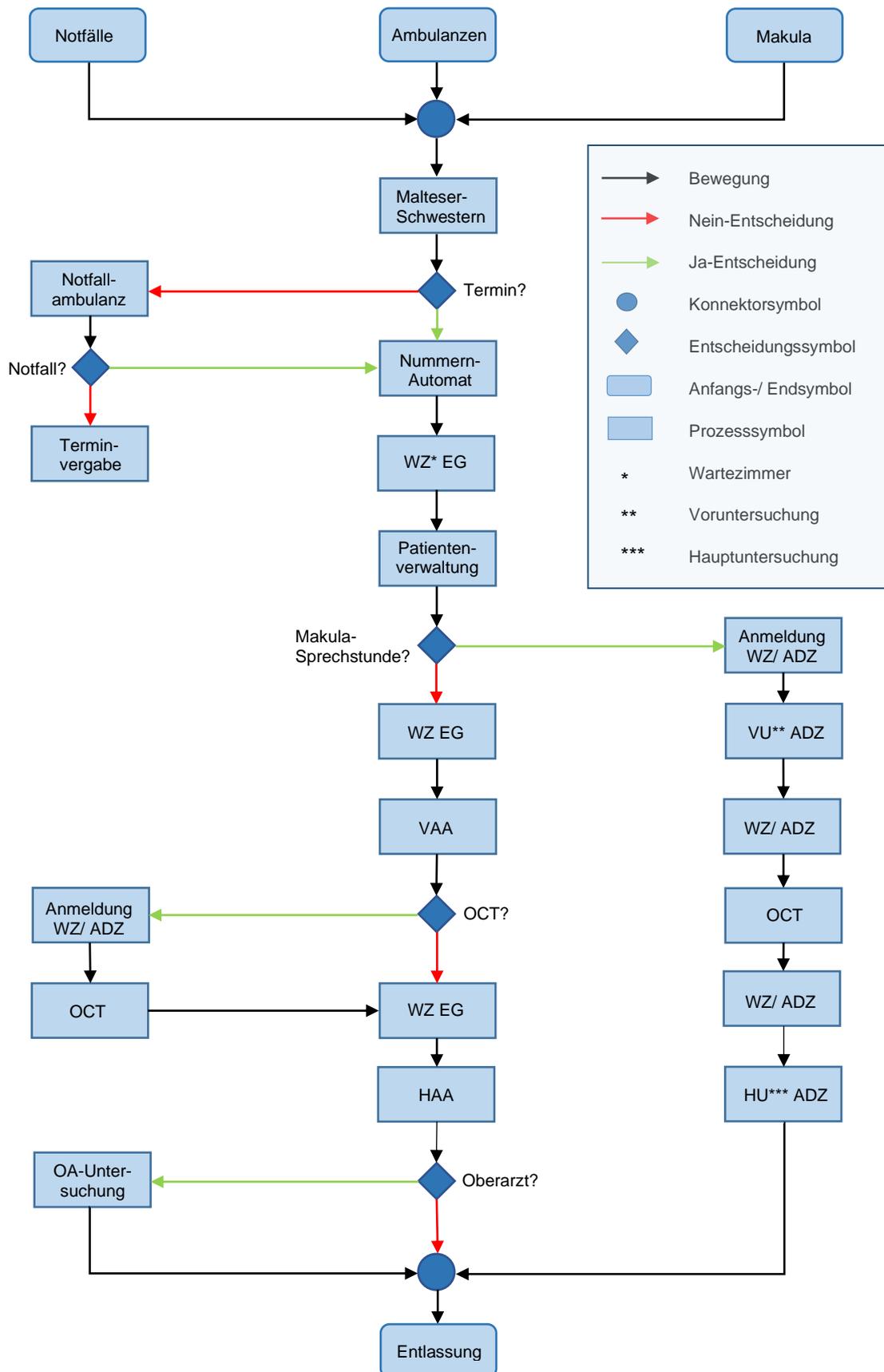


Abbildung 2.2: Flussdiagramm

2.3.4.1 Patientenmeldung und Anlegen der Akte

Alle Patienten der Ambulanzen der Augenklinik melden sich zuerst bei den Malteser-Schwestern im Erdgeschoss an. Hier wird überprüft, ob es sich um einen terminierten Patienten oder um einen Notfall-Patienten handelt. Im Flussdiagramm wurde zwischen drei Patientengruppen unterschieden, die einer jeweiligen Organisationseinheit (OE) im klinischen Informationssystem (KIS) zugeteilt sind: Patienten der Makulasprechstunde, Patienten der Allgemein- bzw. Spezialambulanz sowie Patienten der Notfallambulanz. Letztere haben zuvor keinen Termin vereinbart.

Patienten mit Termin ziehen eine Nummer und nehmen im Wartezimmer Platz, bis sie von den Mitarbeiterinnen der Verwaltung aufgerufen werden. Patienten ohne Termin werden zur Anmeldung der Notfallambulanz weitergeleitet. Hier wird darüber entschieden, ob es sich um einen Notfall handelt oder ob der Patient einen Termin ausmachen muss, um sich zu einem späteren Zeitpunkt vorzustellen.

Die Mitarbeiterinnen der Verwaltung rufen anschließend die Patienten mittels Patientenaufrufsystem (PAS) in das Verwaltungszimmer. Nach dem Einlesen der Krankenversichertenkarte erscheint auf dem Bildschirm ein Pop-Up-Fenster und zeigt bei terminierten Patienten den geplanten Anmeldetermin an. Zudem werden einige Felder automatisch ausgefüllt wie z. B. die jeweilige OE. Der terminierte Patient wird im Klinikinformationssystem als anwesend markiert. Die Patientenakte wird daraufhin von den Verwaltungsmitarbeiterinnen für die Ärzte der einzelnen Ambulanzen in einer Ablage bereitgestellt oder direkt zur jeweiligen Ambulanz gebracht. Patienten der Makulasprechstunde werden gebeten, sich zur Anmeldung im Augendiagnostikzentrum (ADZ) im ersten Stock zu begeben. Patienten der jeweiligen Spezialambulanz und Allgemeinambulanz nehmen wieder im Wartezimmer Platz.

2.3.4.2 Prozessablauf der Makulasprechstunde

Nach der Anmeldung des Patienten im ADZ und dessen Markierung im KIS als anwesend wird dieser gebeten, in einem der beiden Wartezimmer im ersten Stock Platz zu nehmen.

Eine Arzthelferin (oder ein PJ-Student) ruft nun den Patienten mittels PAS in das Voruntersuchungszimmer. Hier erfolgt die Voruntersuchung mit u. a. Anamneseerhebung, Messung des Augeninnendrucks, Visusprüfung sowie eine Anmeldung zu einer Optischen Kohärenztomographie (OCT). Nach der Voruntersuchung nimmt der Patient wieder im Wartezimmer des ADZ Platz.

Als nächstes wird der Patient in eines der Diagnostikzimmer durch das PAS einbestellt. Nachdem eine medizinische Fachangestellte die OCT durchgeführt hat, werden die Bilder direkt im System freigegeben und können von den Ärzten abgerufen werden. Der Patient wird wieder gebeten, im Wartezimmer des ADZ Platz zu nehmen.

Im nächsten Schritt wird der Patient erneut über das digitale Aufrufsystem ins Behandlungszimmer gerufen. Der behandelnde Arzt kann innerhalb von i.s.h.med sehen, welche Patienten für den heutigen Tag geplant sind (Kalenderblatt, erste Spalte in Abbildung 2.3) und wer schon angemeldet ist (Mann mit Koffer, erste Spalte in Abbildung 2.3). Zusätzlich wird die vereinbarte Uhrzeit angezeigt (dritte Spalte in Abbildung 2.3). Alle Ärzte sind angewiesen, die Patienten in der Reihenfolge des vereinbarten Termins aufzurufen und nicht in der Reihenfolge der Ankunft. Alle relevanten Informationen zu dem Patienten wie dem Vorvisus als auch der Übersicht der bisherigen Injektionen ins Auge werden im SAP auf einen Blick dargestellt. Auch die jeweilige Tagesentscheidung (Medikamenteneingabe: ja/ nein/ späterer Termin) wird strukturiert erfasst. Da die Voruntersuchung bereits erfolgt ist, muss der Patient nur einmal zum Arzt, wodurch mehr Zeit für das Arzt-Patienten-Gespräch zur Verfügung steht. Zur Analyse der OCT-Bilder befindet sich an jedem Arbeitsplatz ein zweiter Monitor. Falls eine Behandlung (z. B. eine intravitreale Injektion) nötig sein sollte, kann diese direkt durch die Assistentin des ambulanten OP Zentrums im OP System angemeldet werden. Nach Beendigung der Kontrolle wird der Patient gebeten, sich im Erdgeschoss beim Terminvergabebüro einen neuen Termin geben zu lassen.

EL	Beh. OE	Datum	Zeit	Patientenname/Geschlecht/Alter	D	PP	R...	BKat	BA	IG	RF	Diagnose	A	Vers	T
	AUIAOZ	18.06.2019	09:00	██████████ (M, 69)					AO	✓	==			○○○	
	AUIAOZ	18.06.2019	10:19	██████████ (W, 32)					KV	?	???			○○○	⌚
	AUIAOZ	18.06.2019	09:00	██████████ (W, 61)					KV	?	a??			○○○	⌚
	AUIAOZ	18.06.2019	08:50	██████████ (W, 60)					KV	3	aik			○○○	⌚
	AUIAOZ	18.06.2019	10:00	██████████ (W, 78)					AO	✓	A-			○○○	
	AUIAOZ	18.06.2019	10:30	██████████ (W, 70)					?	?	???			○○○	⌚
	AUIAOZ	18.06.2019	13:48	██████████ (M, 78)					AN	✓	==			○○○	⌚
	AUIAOZ	18.06.2019	13:16	██████████ (W, 67)					AN	✓	A-K	Vorhandensein...		○○○	⌚
	AUIAOZ	18.06.2019	07:40	██████████ (M, 58)					KV	?	???			○○○	⌚
	AUIAOZ	18.06.2019	08:20	██████████ (M, 60)					AO	?	-JK	Pseudophakie		○○○	⌚
	AUIAOZ	18.06.2019	08:32	██████████ (M, 60)				IGEL	P	?	-JK			○○○	⌚
	AUIAOZ	18.06.2019	07:43	██████████ (M, 69)				P	P	?	???	Dermatochalasis		○○○	⌚
	AUIAOZ	18.06.2019	10:50	██████████ (W, 77)					KV	✓	A-K			○○○	⌚
	AUIAOZ	18.06.2019	08:22	██████████ (M, 79)				P	P	?	???			○○○	⌚

Abbildung 2.3: i.s.h.med Benutzeroberfläche

2.3.4.3 Prozessablauf der Allgemein- und Spezialambulanz

Der Patient wird vom Arzt durch das PAS in eines der Untersuchungszimmer gerufen. Dabei erscheinen im Wartezimmer die gezogene Nummer und darunter der jeweilige Untersuchungsraum auf einem Display. Der Arzt hat die Möglichkeit, über das KIS die Vorbefunde des Patienten einzusehen, falls für diesen schon eine digitalisierte Akte angelegt wurde. Zudem liegt die Papierakte des Patienten vor. Beim ersten Besuch im Behandlungsraum wird eine Anamnese erhoben und der vordere Augenabschnitt untersucht. Daraufhin wird die Pupille mittels eines Mydriatikums weitgestellt. Dieser Behandlungsschritt dauert circa 20 Minuten. Falls der Patient eine OCT benötigt, kann der klinische Auftrag vom Arzt direkt verschickt werden und der Patient wird gebeten, sich zur Anmeldung des Augendiagnostikzentrums zu begeben. Sollte keine Zusatzdiagnostik nötig sein, nimmt der Patient wieder im Wartezimmer im Erdgeschoss Platz.

Zur Anmeldung des ADZ muss der Patient in den ersten Stock. Hier wird er gebeten, in einem der Wartezimmer Platz zu nehmen, bis er wiederum von einer medizinischen Fachangestellten in eines der Diagnostikzimmer gerufen wird. Nachdem die OCT durchgeführt wurde, meldet sich der Patient bei seinem Arzt im Erdgeschoss zurück und nimmt wieder im dortigen Wartezimmer Platz.

Der zuvor behandelnde Arzt ruft den Patienten anschließend wieder per digitalem Aufrufsystem in das Behandlungszimmer. Als nächstes erfolgen die Untersuchung des hinteren Augenabschnitts sowie die Befundung der OCT-Bilder, falls diese angefordert wurden. Sollte der behandelnde Arzt kein Facharzt

bzw. Oberarzt sein, ist es nötig, dass der Patient ein weiteres Mal im Wartezimmer Platz nimmt, bis ein Oberarzt zur Verfügung steht, um das weitere Prozedere zu besprechen und den Patienten zu entlassen.

In Kapitel [2.3.6.3](#) wird erläutert, wie ein Patientenpfad aus dem Flussdiagramm letztendlich in das Simulationsprogramm integriert wird.

2.3.4.4 Ist-Zustand der Terminvergabe in den untersuchten Ambulanzen

Die Terminslots in der Allgemeinambulanz (Montag bis Freitag), die von der Patientenverwaltung vergeben werden können, reichen von 07:30 Uhr bis 12:50 Uhr. Die Patienten werden bis 11:50 Uhr im 10-Minuten-Takt einbestellt. Am Nachmittag sind zusätzlich drei Patientenslots um 12:20 Uhr, 12:40 Uhr und 12:50 Uhr für post-OP-Kontrollen reserviert. Alle Patienten in der Allgemeinambulanz haben einen Termin. Patienten ohne Termin müssen sich zuerst in der Notfallambulanz vorstellen.

Die Terminvergabe in der Makulasprechstunde (Montag bis Freitag) erfolgt von 07:45 Uhr bis 12:45 Uhr im 15-Minuten-Intervall. Alle Patienten haben zuvor einen Termin ausgemacht.

Die zu vergebenden Terminslots in der Diabetes-/ Retinaambulanz (nur donnerstags) reichen von 07:30 Uhr bis 14:30 Uhr. Die Patienten werden im 10-Minuten-Intervall mit einer Pause zwischen 10:10 Uhr bis 10:40 Uhr einbestellt.

2.3.5 Sammeln von Daten

2.3.5.1 Sammeln von historischen Metadaten (SMEYEDAT DB)

Die benötigten Daten für das erstellte Simulationsmodell stammten zu einem Teil aus der SMEYEDAT DB. Daten für die Allgemeinambulanz, Spezialambulanz und die Makulasprechstunde aus dem Jahr 2014 wurden gefiltert und aufbereitet. Der Prozess der Datenaufbereitung war notwendig, um ein Simulationsmodell erstellen zu können, das den Ist-Zustand der untersuchten Ambulanz möglichst realistisch widerspiegelt [38]. Dabei wurden offensichtlich fehlerhafte und unrealistische Zeiten (z. B. Minus-Zeiten in der Gesamtaufenthaltsdauer, eine Gesamtaufenthaltsdauer länger als acht Stunden oder kürzer als 30 Minuten) aus den Datensätzen entfernt. Das Herausfiltern dieser Ausreißer basierte dabei rein auf den klinischen Erfahrungswerten der involvierten Mitarbeiter der Ambulanzen

sowie im Falle der Minuszeiten auf Logik. Eine Ursache für z. B. Daten außerhalb der Sprechstundenzeiten kann eine Nachbearbeitung eines Arztbrief-Dokumentes zu einem späteren Zeitpunkt sein, wobei die ursprünglichen Daten innerhalb der Datenbank überschrieben werden. Im Fall der Allgemeinambulanz und der Spezialambulanz waren sehr viele Ausreißer unter den Daten, was das Zusammentragen valider Datensätze erschwerte. Es wurden für das Simulationsmodell nur die Daten berücksichtigt, die sich innerhalb der Sprechstundenzeiten der jeweiligen Ambulanz befanden. Für die Allgemeinambulanz bedeutete dies z. B., dass alle Daten vor 07:30 Uhr und nach 16:30 Uhr (entspricht der realen Arbeitszeit in der Ambulanz) nicht einbezogen wurden. Dies war notwendig, da das erstellte Simulationsmodell ebenfalls nur in dieser Zeitspanne abläuft. Die o. g. Prozessanalyse war eine wichtige Grundlage für eine adäquate Datenaufbereitung, welche letztendlich notwendig war, um das erstellte Simulationsmodell validieren und verifizieren zu können.

Die Tabellen 2.1, 2.2 und 2.3 geben einen Überblick über die Metadaten, die aus der Datenbank gewonnen wurden. Im Fall der Allgemeinambulanz wurden insgesamt 4.401 Patientendaten gefiltert. Vor der Datenaufbereitung betrug die durchschnittliche Patientenzahl 25 pro Tag. Nach dem Filtern von Ausreißern blieb eine durchschnittliche Anzahl von 18 Patienten pro Tag übrig. Dies entsprach zwar nicht der Realität im klinischen Alltag, wurde aber trotzdem als Grundlage für das erstellte Simulationsmodell übernommen, da ansonsten eine Validation (siehe hierzu auch Kapitel [2.3.7](#)), welche u. a. anhand der Metadaten durchgeführt wurde, nicht möglich gewesen wäre.

Die Patienten wurden in bestimmte Gruppen unterteilt, die jeweils unterschiedliche Patientenpfade durchliefen. Es wurde unterschieden zwischen Patienten mit und ohne OCT-Untersuchung. Zudem wurden die Patientengruppen in neue Patienten und bereits bekannte Patienten unterteilt. Die Gesamtaufenthaltsdauer der einzelnen Patientengruppen, die Dauer „Verwaltung bis Untersuchung des vorderen Augenabschnitts“ sowie die Dauer „VAA bis OCT“ sind die Zeitabschnitte, die aus der SMEYEDAT DB generiert werden konnten.

Patientenzahl (insgesamt)	4.401
Patientenzahl pro Tag	18 (25)*
Patienten mit OCT	33 %
neue Patienten	43 %
Ø GSAD aller Patienten (min)	229
Ø GSAD Patienten mit OCT (min)	234
Ø GSAD neue Patienten (min)	237
Ø GSAD bekannte Patienten (min)	223
Ø Dauer Verwaltung bis VAA Patienten mit OCT (min)	101
Ø Dauer VAA bis OCT (min)	28

Tabelle 2.1: Übersicht Metadaten der Allgemeinambulanz (Montag bis Freitag)

** Wert vor der Datenaufbereitung*

	Mo, Do	Di, Mi, Fr
Patientenzahl (insgesamt)	2.702	2.848
Patientenzahl pro Tag	28 (28)*	20 (25)*
Patienten mit OCT	78 %	46 %
Ø GSAD aller Patienten (min)	144	122
Ø GSAD Patienten mit OCT (min)	141	122
Ø GSAD Patienten ohne OCT (min)	154	115
Ø Dauer Verwaltung bis Makula VU (min)	47	43
Ø Dauer Makula VU bis OCT (min)	34	32

Tabelle 2.2: Übersicht Metadaten der Makulasprechstunde (Montag und Donnerstag sowie Dienstag, Mittwoch und Freitag)

** Wert vor der Datenaufbereitung*

Patientenzahl (insgesamt)	1.291
Patientenzahl pro Tag	25 (25)*
Patienten mit OCT	57 %
Ø GSAD aller Patienten (min)	195
Ø Dauer Verwaltung bis VAA Patienten mit OCT (min)	90
Ø Dauer VAA bis OCT (min)	37

Tabelle 2.3: Übersicht Metadaten der Diabetes-/ Retinasprechstunde (Donnerstag)

** Wert vor der Datenaufbereitung*

2.3.5.2 Sammeln von manuell gemessenen Daten (Prozesszeiten)

Die Prozesszeiten, welche nicht aus den Metadaten der SMEYEDAT DB erhoben werden konnten, wurden durch manuelle Zeitmessungen mittels Stoppuhr in den verschiedenen Bereichen der Ambulanzen erhoben (siehe Tabelle 2.4). Dabei wurden die Patienten vor Beginn der Zeitmessung über die Durchführung der Studie informiert und eine mündliche Einwilligung zwecks der Partizipation eingeholt. In Kapitel [2.3.6.2](#) wird erläutert, wie die Prozesszeiten letztendlich als dynamische Komponente in das Simulationsmodell integriert wurden.

Bei der Untersuchung des vorderen Augenabschnitts wurde zusätzlich zwischen neuen und bekannten Patienten unterschieden, da bei diesem Vorgang der Patient zum ersten Mal in Kontakt mit dem Arzt kommt. Bei neuen Patienten dauerte die Untersuchung z. B. aufgrund der ausführlicheren Anamnese im Durchschnitt länger. Dieses Detail sollte in das Simulationsmodell integriert werden, da die Unterteilung in neue und bereits bekannte Patienten Auswirkungen auf die Terminvergabe haben kann. Die Messungen des VAA sowie des HAA und der Oberarzt-Untersuchung wurden dabei in der Allgemeinambulanz bzw. der Diabetes-/ Retinaambulanz durchgeführt. Da sie sich grundlegend von der Vor- und Hauptuntersuchung der Makulasprechstunde unterscheiden, erfolgten hier gesondert Zeitmessungen.

	Messungen (n)	Mittelwert (min)
Patientenverwaltung	25	3
Untersuchung VAA	23	20
neuer Patient	15	24
bekannter Patient	20	12
Untersuchung HAA	49	7
OCT-Untersuchung	25	4
Oberarzt-Untersuchung	23	8
Voruntersuchung (Makula)	22	7
Hauptuntersuchung (Makula)	24	8

Tabelle 2.4: Übersicht manuell gemessene Daten (Prozesszeiten)

2.3.6 Erstellen eines Simulationsmodells

Die Basismodelle sowie alle abgeänderten Modelle (Szenarien, siehe hierzu auch Kapitel [2.4](#)) der Ambulanzen der Augenklinik wurden mit FlexSim erstellt. Hierbei handelt es sich um ein objektbasiertes Simulationsprogramm. Das bedeutet, dass Programmiersprache nur bedingt oder gar nicht nötig ist, um die Struktur des Modells zu erstellen, da einzelne Bausteine (Objekte), die bereits aus Codesprache bestehen, in das Modell eingefügt werden können. Abbildung 2.4 zeigt den Objektgenerator in FlexSim. Neben z. B. dem Empfangstresen war es möglich, Optometrie-Stühle oder OCT-Geräte in das Modell einzufügen.



Abbildung 2.4: Objektgenerator in FlexSim

Biles et al. zeigen in ihrer Arbeit *Animated graphics and computer simulation* die Vorteile einer objektbasierten, animierten Simulation auf. Im Vergleich zu

Simulationsmodellen ohne grafische Darstellung ist eine Visualisierung von Fehlerquellen innerhalb des Modells sowie aller verwendeten Ressourcen, Strukturen und der Abläufe möglich. Folglich sind die Lokalisation und Behebung einer fehlerhaften Programmierung der Prozessabläufe oder der Struktur des Modells vereinfacht durchzuführen. Zudem wird die Verifikation mit Hilfe Außenstehender durch eine grafische und animierte Darstellung des Simulationsmodells vereinfacht [37].

Nordgren und Pan et al. beschreiben in ihren Arbeiten die notwendigen Schritte zur Modellierung eines Simulationsmodells mit FlexSim. Dabei übertragen sie zunächst den Grundriss der zu modellierenden Ambulanz in FlexSim. Anschließend können alle Objekte (Personal, Diagnostikgeräte, Bauelemente etc.), die in das Modell inkludiert werden sollen, an den exakten Stellen positioniert werden. Daraufhin erfolgt die Programmierung der einzelnen Patientenpfade. Im letzten Schritt werden Daten von Prozesszeiten (Patientenanmeldung, Arzt-Untersuchung etc.) und deren Verteilungsfunktionen in das Programm eingefügt [45, 46].

2.3.6.1 Erstellen des Basismodells

In dieser Arbeit wurde zuerst ein möglichst exaktes Abbild der untersuchten Ambulanzen der Augenklinik am Computer erstellt (Basismodell). Die Abbildungen 2.5 und 2.6 zeigen das fertige Computermodell der Ambulanzen der Augenklinik mit allen für die Simulation benötigten Ressourcen und Räumlichkeiten.

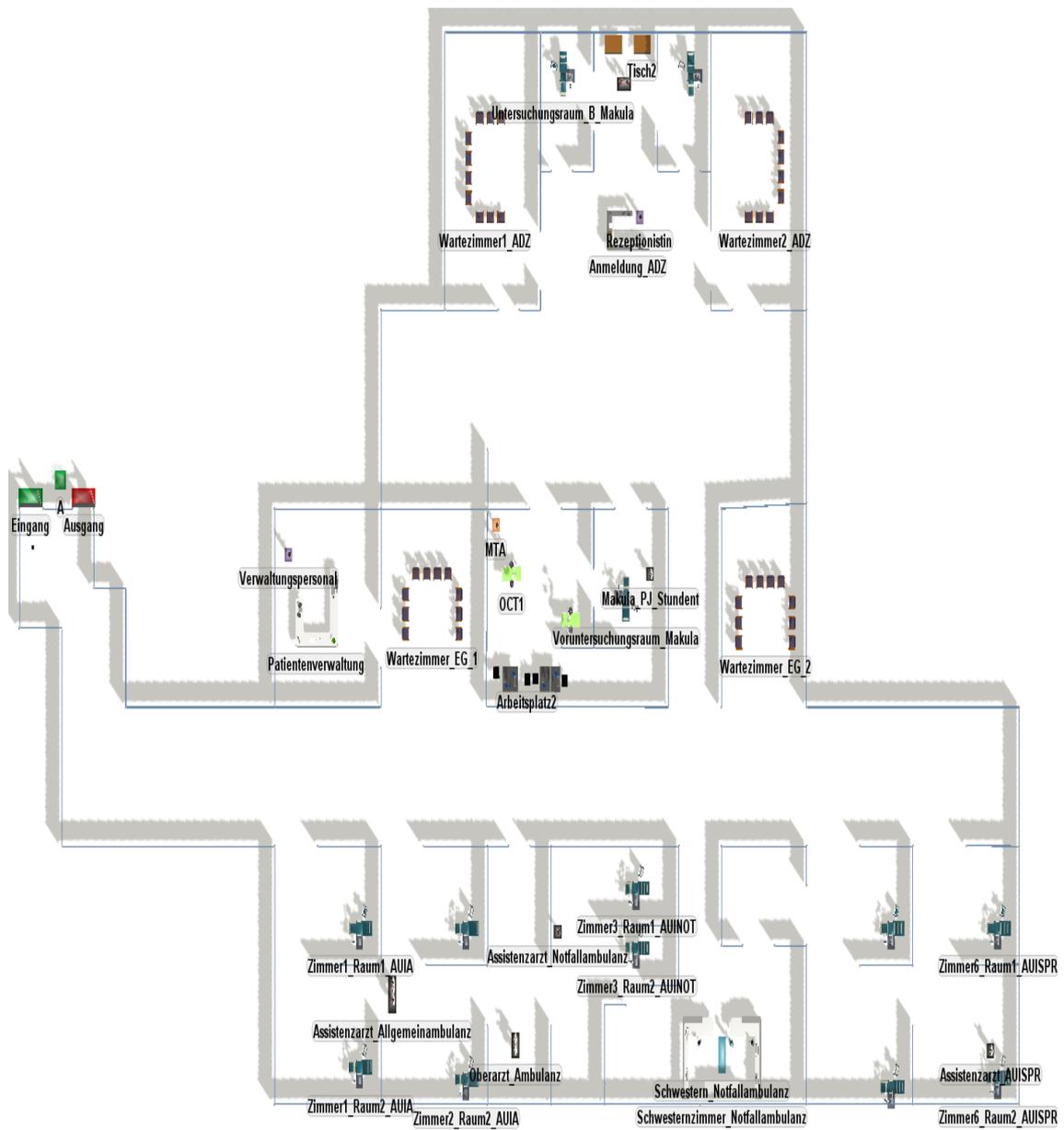


Abbildung 2.5: FlexSim-Modell der Ambulanzen der Augenklinik, Vogelperspektive



Abbildung 2.6: FlexSim-Modell der Ambulanzen der Augenklinik, 3-D-Ansicht

Als Grundlage dafür dienen der Grundriss der Augenklinik (siehe Abbildungen 2.7 und 2.8) sowie das zuvor angefertigte Flussdiagramm (siehe Abbildung 2.2). Es wurde darauf geachtet, dass die Verteilung der Räumlichkeiten, die Wege zwischen den verschiedenen Räumen sowie die Ressourcen im Modell möglichst exakt die Realität bzw. die Grundrisse darstellten. Im Computermodell wurde dabei auf eine Unterteilung in Stockwerke verzichtet. In der Realität befindet sich die Makulasprechstunde im ersten Stockwerk und die Allgemeinambulanz sowie die weiteren Spezialambulanzen im Erdgeschoss. Die Wegstrecken zwischen den einzelnen Stockwerken wurden im Rahmen der Prozessanalyse nicht als signifikanter Faktor in Bezug auf die Gesamtaufenthaltsdauer der Patienten herausgearbeitet, weswegen das Modell an dieser Stelle simplifiziert werden konnte.

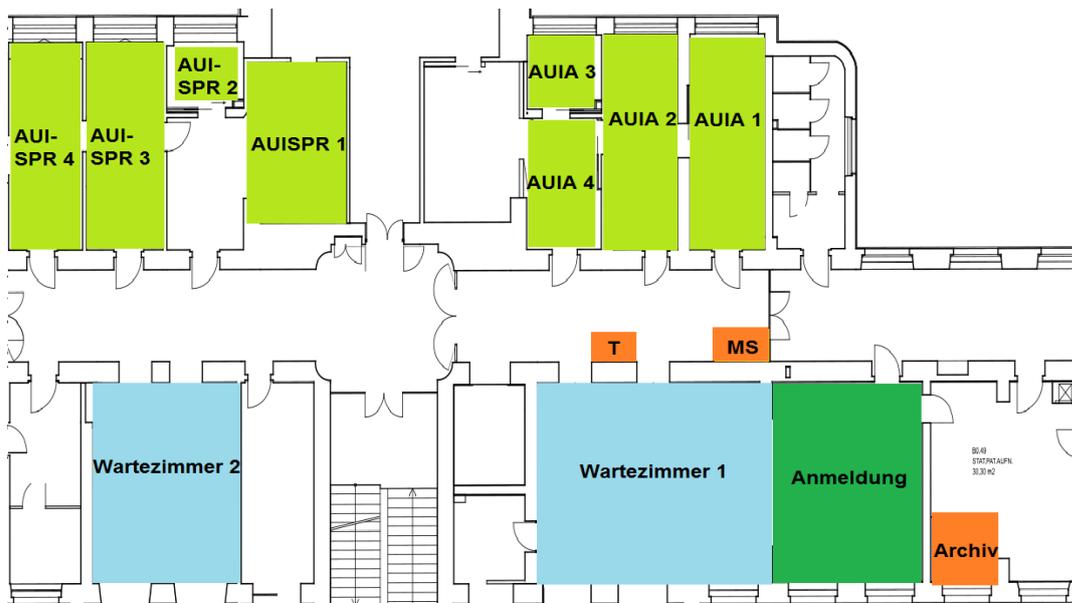


Abbildung 2.7: Grundriss der Allgemeinambulanz/ Spezialsprechstunde

(T = Ticketautomat, MS = Malteser-Schwestern)

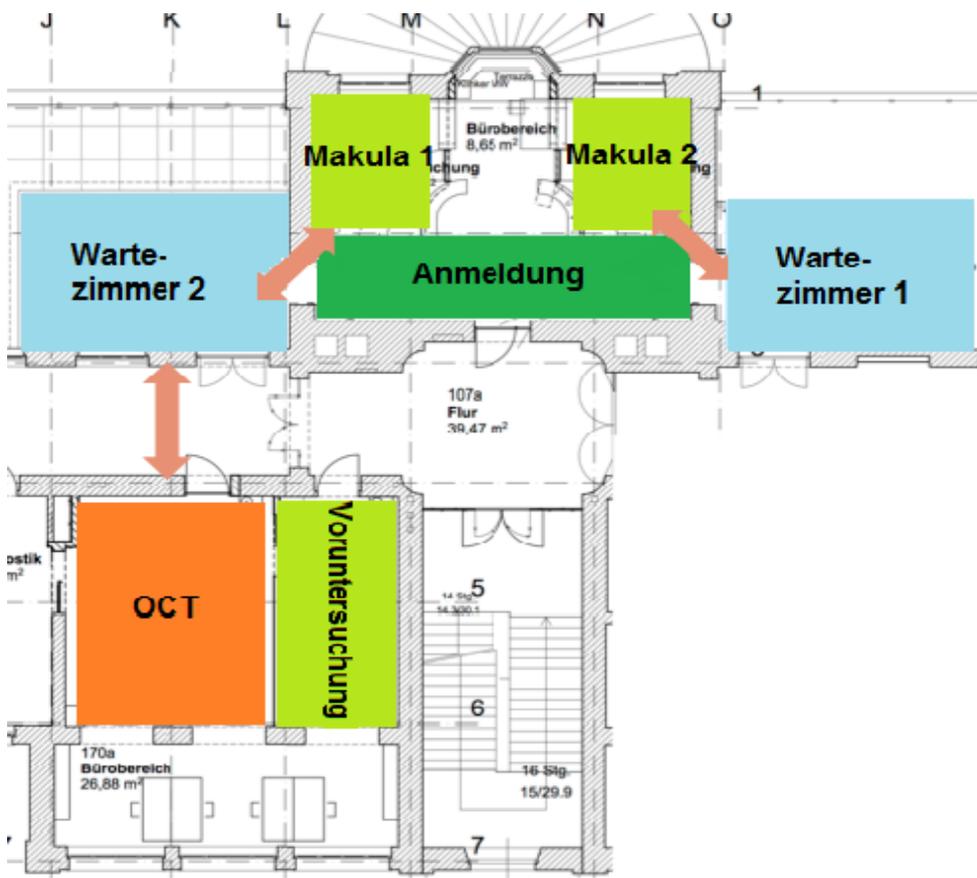


Abbildung 2.8: Grundriss der Makulasprechstunde

2.3.6.2 Integration der Prozesszeiten in das Simulationsmodell

Mittels ExpertFit, einer Analysesoftware, die im Simulationsprogramm FlexSim enthalten ist, werden für die manuellen Messwerte der Prozesszeiten automatisch die am besten passenden Wahrscheinlichkeits-Verteilungen zugeordnet, um diese letztendlich in das Simulationsmodell integrieren zu können. Dabei werden die Messzeiten als Dezimalzahlen in das ExpertFit-Interface eingegeben. Das Programm berechnet daraufhin automatisch z. B. die Varianz, den Median, den Mittelwert oder den Variationskoeffizienten der eingegebenen Messwerte. Abbildung 2.9 zeigt exemplarisch die Daten für die Prozesszeiten der Messungen des hinteren Augenabschnitts mit insgesamt 49 Messungen (Number of observations).

Data Characteristic	Value
Source file	<edited>
Observation type	Real valued
Number of observations	49
Minimum observation	3.50000
Maximum observation	12.11000
Mean	7.01286
Median	6.50000
Variance	4.93268
Coefficient of variation	0.31670
Skewness	0.48416

Abbildung 2.9: Populationskenngrößen HAA

Mittels der „Automated Fitting“-Funktion ermittelt ExpertFit die drei Verteilungsfunktionen, welche die eingegebenen Messwerte am besten repräsentieren. Abbildung 2.10 zeigt in der ersten Spalte die drei präferierten Verteilungsfunktionen exemplarisch für die Messungen des HAA. Die Betaverteilung wird dabei mittels eines heuristischen Scores als am besten

passende Verteilungsfunktion für die manuell gemessenen Werte vorgeschlagen (Relative score 95,16 %). Die dritte Spalte zeigt die Parameter an, die in FlexSim eingegeben werden können, um die Prozesszeiten letztendlich mittels der gewählten Verteilungsfunktion im Modell integrieren zu können.

Relative Evaluation of Candidate Models			
Model	Relative Score	Parameters	
1 - Beta	95.16	Lower endpoint	3.22641
		Upper endpoint	14.15768
		Shape #1	1.61879
		Shape #2	3.05940
2 - Johnson SB	95.16	Lower endpoint	2.67109
		Upper endpoint	14.63447
		Shape #1	0.73207
		Shape #2	1.10726
3 - Rayleigh(E)	93.55	Location	2.70208
		Scale	4.83888

32 models are defined with scores between 0.00 and 95.16

Absolute Evaluation of Model 1 - Beta

Evaluation: Good
 Suggestion: Additional evaluations using Comparisons Tab might be informative.
 See Help for more information.

Additional Information about Model 1 - Beta

"Error" in the model mean
 relative to the sample mean 0.00391 = 0.06%

Abbildung 2.10: Automated Fitting-Funktion in FlexSim

Zusätzlich zur automatischen Anpassung der Verteilungsfunktion bietet das Programm eine grafische Funktion, mit der die Verteilungen der zuvor eingegebenen einzelnen Messwerte mit den verschiedenen Standardverteilungen, die in ExpertFit integriert sind, abgeglichen und somit im

Einzelnen nochmals visuell überprüft werden können. Abbildung 2.11 zeigt in einem von ExpertFit generierten Histogramm vergleichend die Verteilungen der Servicezeit (HAA) mit der Betaverteilung. Die x-Achse repräsentiert die gemessenen Zeiten (min) mit einer automatisch bestimmten Intervalllänge von 0.96. Die y-Achse repräsentiert die Verteilung der Messungen (in %) als Dezimalzahl.

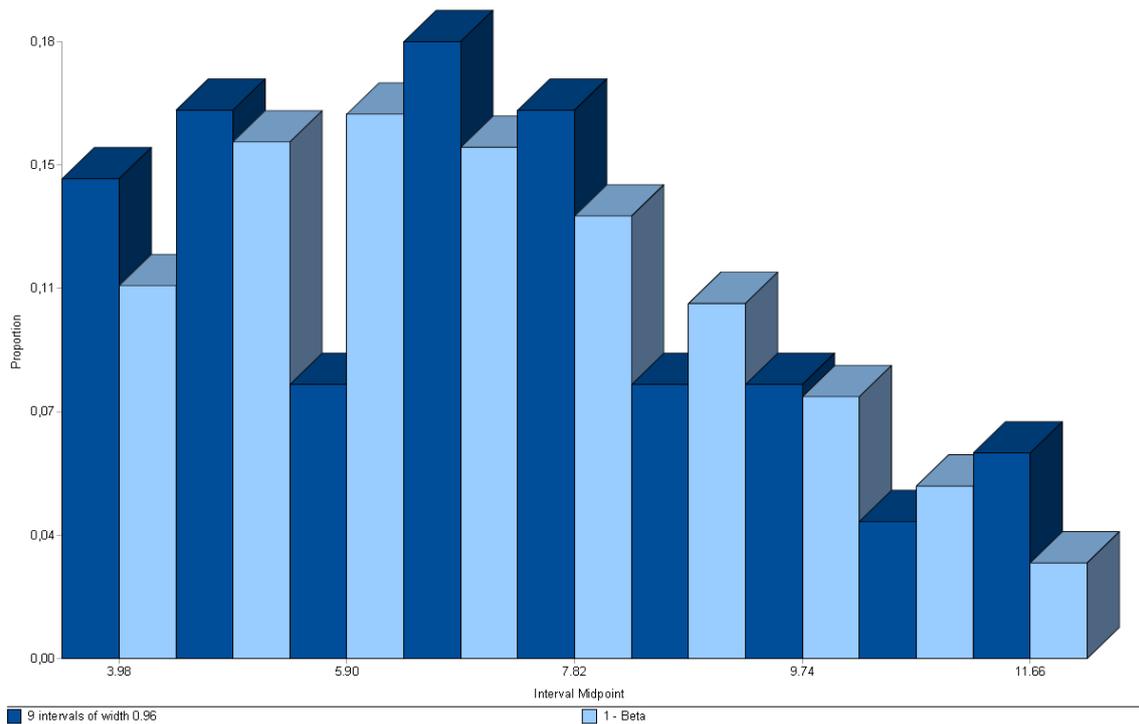


Abbildung 2.11: Histogramm in ExpertFit; Vergleich der Verteilungen der Messwerte des HAA (dunkelblaue Balken) mit der Betaverteilung (hellblaue Balken)

Zudem ist in ExpertFit die Funktion verfügbar, mittels statistischer Tests (z. B. Anderson-Darling-Test, Kolmogorow-Smirnow-Test, Chi-Quadrat-Test) zu überprüfen, ob die manuell gemessenen Zeiten von der jeweils gewählten Wahrscheinlichkeits-Verteilungsfunktion hätten generiert werden können. Abbildung 2.12 zeigt exemplarisch den Anderson-Darling-Test für die Messwerte des HAA für die gewählte Betaverteilung. Das Signifikanzniveau des Tests wurde auf $\alpha = 0,05$ festgelegt. Bei einem p-Wert $> 0,05$ wird die Nullhypothese nicht

verworfen, die besagt, dass die Häufigkeitsverteilung der Stichproben der vorgegebenen Wahrscheinlichkeits-Verteilung entspricht.

Anderson-Darling Test with Model 1 - Beta						
Sample size	49					
Test statistic	0.23944					
Note:	No critical values exist for this special case. The following critical values are for the case where all parameters are known, and are conservative.					
	Critical Values for Level of Significance (alpha)					
Sample Size	0.250	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005
49	1.248	1.933	2.492	3.070	3.857	4.500
Reject?	No					

Abbildung 2.12: Anderson-Darling-Test für die Betaverteilung HAA

Im konzipierten Simulationsmodell kamen verschiedene univariate Wahrscheinlichkeits-Verteilungen (Log-Laplace-, Johnsen Bounded-, Beta-, Weibull- sowie Log-Logistic-Verteilung) zum Einsatz. Es handelt sich dabei entweder um diskrete oder kontinuierliche Wahrscheinlichkeits-Verteilungsfunktionen, welche innerhalb des Simulationsmodells die Zufälligkeiten der manuell gemessenen Service-Zeiten widerspiegeln sollen. Ziel war es dabei, einen möglichst realitätsnahen Datenoutput mit dem fertigen Simulationsmodell zu generieren. Tabelle 2.5 zeigt die Übersicht aller manuell gemessenen Prozesszeiten sowie die mittels ExpertFit ermittelte Verteilungsfunktion, die die Daten am besten repräsentiert.

	Messungen (n)	Mittelwert (min)	SD (min)	Verteilung
Patientenverwaltung	25	3	1	Log-Laplace
Untersuchung VAA	23	20	8	Johnson Bounded
neuer Patient	15	24	7	Beta
bekannter Patient	20	12	3	Weibull
Untersuchung HAA	49	7	2	Beta
OCT-Untersuchung	25	4	1	Johnson Bounded
Oberarzt-Untersuchung	23	8	5	Johnson Bounded
Voruntersuchung (Makula)	22	7	2	Beta
Hauptuntersuchung (Makula)	24	8	3	Log-Logistic

Tabelle 2.5: Übersicht Prozesszeiten mit ermittelten Verteilungsfunktionen

2.3.6.3 Programmieren des Patientenpfades im Modell

Auf Grundlage des zuvor angefertigten Flussdiagramms entstanden unterschiedliche Patientenpfade für die einzelnen Patientengruppen, die das Computermodell durchlaufen sollten.

Als Beispiel zeigt Abbildung 2.13 den Patientenpfad eines neuen Patienten der Allgemeinambulanz in FlexSim, bei dem zusätzlich eine OCT durchgeführt wird:

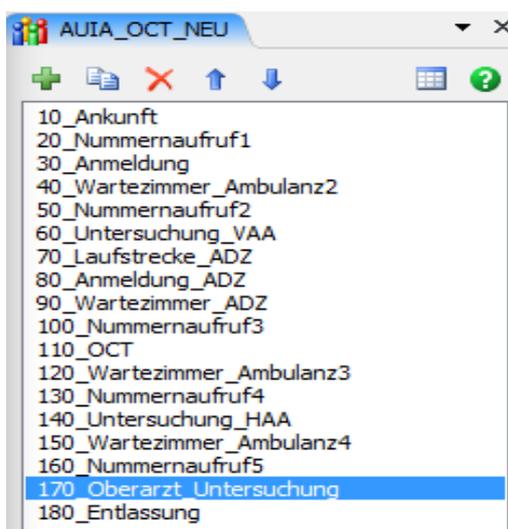


Abbildung 2.13: Patientenpfad in FlexSim

- **Ankunft:** Der Patient (im Modell als simulierte Person dargestellt) betritt durch den Haupteingang das Klinikum.
- **Nummernauf1:** Der Patient hat bereits ein Ticket aus dem Automaten gezogen und in einem der Wartezimmer Platz genommen, bis er in die Patientenverwaltung aufgerufen wird. Der Zwischenschritt über die Malteser-Schwester wurde innerhalb des Modells zur Vereinfachung nicht berücksichtigt, da er keine relevante Auswirkung auf die

Gesamtaufenthaltsdauer hat, wie sich im Rahmen der Prozessanalyse zeigte.

- Anmeldung: Der Patient betritt den Bereich der Patientenverwaltung. An diesem Punkt wurden unterschiedliche Zeitspannen für die Aufenthaltsdauer anhand der Log-Laplace-Verteilung für jeden Patienten generiert.
- Wartezimmer und Nummernaufruf 2: Der Patient wird in eines der Behandlungszimmer aufgerufen, sobald ein Arzt zur Verfügung steht. Für das gesamte Personal wurden dabei innerhalb des Simulationsprogramms genaue Arbeitszeiten sowie Mittagspausen festgelegt, um eine möglichst reale Auslastung der jeweiligen Arbeitskraft darzustellen. Exemplarisch zeigt Abbildung 2.14 die Arbeits- und Pausenzeiten eines simulierten Assistenzarztes im Modell der Allgemeinambulanz.
- Untersuchung VAA: Hier erfolgt die Untersuchung des vorderen Augenabschnitts, wobei stochastisch unterschiedliche Prozesszeiten mit Hilfe der Johnson Bounded-Verteilung generiert wurden.
- Laufstrecke und Anmeldung ADZ: Dieser Abschnitt des Patientenpfads hat keine signifikante Auswirkung auf die Gesamtaufenthaltsdauer (im klinischen Alltag sowie im Modell) und beinhaltet somit nur den Ortswechsel in das ADZ innerhalb des Modells.
- Wartezimmer ADZ, Nummernaufruf 3, OCT: Der Patient nimmt im Wartezimmer des ADZ Platz, bis ein simulierter Mitarbeiter der OCT-Diagnostik zur Verfügung steht. Nun erfolgt die OCT, bei der die Prozesszeiten unter Anwendung der Johnson Bounded-Verteilung generiert wurden.
- Wartezimmer Ambulanz, Nummernaufruf 4, Untersuchung HAA: Zurück in der Allgemeinambulanz nimmt der Patient erneut im Wartezimmer Platz, bis ein behandelnder Arzt im Simulationsmodell zur Verfügung steht. Nun erfolgt die Untersuchung des hinteren Augenabschnitts (HAA), wobei die Prozesszeiten mittels Beta-Verteilung generiert wurden.
- Wartezimmer, Nummernaufruf 5, Oberarzt-Untersuchung, Entlassung: Der Patient nimmt wieder im Wartezimmer der Allgemeinambulanz Platz,

bis ein Oberarzt im Simulationsmodell zur Verfügung steht. Die Prozesszeiten der Oberarzt-Untersuchung werden mittels Johnson Bounded-Verteilung generiert. Bei der Entlassung verlässt der Patient das Klinikum im Modell wieder über den Haupteingang.

Sollte der Patientenpfad an einer Stelle einen Programmierfehler enthalten, wird er nicht bis zum Ende durchlaufen und eine Fehlermeldung erscheint.

	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
06:30 - 06:45	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
06:45 - 07:00	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
07:00 - 07:15	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
07:15 - 07:30	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
07:30 - 07:45	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
07:45 - 08:00	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
08:00 - 08:15							
08:15 - 08:30							
08:30 - 08:45							
08:45 - 09:00							
09:00 - 09:15							
09:15 - 09:30							
09:30 - 09:45	Break 1	Break 1	Break 1	Break 1	Break 1	Break 1	Break 1
09:45 - 10:00							
10:00 - 10:15							
10:15 - 10:30							
10:30 - 10:45							
10:45 - 11:00							
11:00 - 11:15							
11:15 - 11:30							
11:30 - 11:45							
11:45 - 12:00							
12:00 - 12:15	Lunch	Lunch	Lunch	Lunch	Lunch	Lunch	Lunch
12:15 - 12:30	Lunch	Lunch	Lunch	Lunch	Lunch	Lunch	Lunch
12:30 - 12:45	Lunch	Lunch	Lunch	Lunch	Lunch	Lunch	Lunch
12:45 - 13:00	Lunch	Lunch	Lunch	Lunch	Lunch	Lunch	Lunch
13:00 - 13:15	Lunch	Lunch	Lunch	Lunch	Lunch	Lunch	Lunch
13:15 - 13:30							
13:30 - 13:45							
13:45 - 14:00							
14:00 - 14:15							
14:15 - 14:30							
14:30 - 14:45	Break 2	Break 2	Break 2	Break 2	Break 2	Break 2	Break 2
14:45 - 15:00							
15:00 - 15:15							
15:15 - 15:30							
15:30 - 15:45							
15:45 - 16:00							
16:00 - 16:15							
16:15 - 16:30							
16:30 - 16:45							
16:45 - 17:00	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
17:00 - 17:15	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
17:15 - 17:30	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
17:30 - 17:45	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
17:45 - 18:00	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
18:00 - 18:15	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off

Abbildung 2.14: Übersicht Arbeits- und Pausenzeiten eines Assistenzarztes der Allgemeinambulanz im Simulationsmodell

2.3.7 Verifikation und Validation des Simulationsmodells

Bei der Verifikation geht es primär darum, zu überprüfen, dass das Simulationsmodell vollständig ist und exakt so abläuft, wie vom Programmierer vorgesehen. Dabei müssen alle zuvor festgelegten Ressourcen in das Modell integriert werden. Außerdem wird überprüft, ob die statistischen Verteilungen für die verschiedenen Prozesszeiten korrekt in das Modell übersetzt und die Patientenpfade klar definiert wurden [38, 43, 47-50].

Die Validation im Rahmen eines Simulationsprojekts soll sicherstellen, dass das Modell möglichst genau die Realität widerspiegelt [39]. „Die Schritte von Verifikation und Validation sind in einer Simulationsstudie entscheidend zur Herstellung und Schaffung von Glaubwürdigkeit über ein Simulationsmodell“ [35]. Nach Shannon soll durch die Verifikation sichergestellt werden, dass das Modell richtig gebaut wurde. Die Validation beantwortet die Frage, ob es das richtige Modell für die spezifische Fragestellung ist [43].

Es werden unterschiedliche Möglichkeiten der Validation in der Literatur beschrieben. Häufig fehlen jedoch detaillierte Angaben zur genauen Durchführung. So beschreiben Hamrock et al. zwar, dass in ihrer Simulationsstudie die Varianz der Zielvariablen der Simulationsdaten mit der Varianz der Zielvariablen der zuvor gesammelten Daten verglichen werden, jedoch ohne dabei genaue Angaben in Bezug auf die statistischen Tests zu machen, die zum Einsatz kommen [38].

Pan et al. gehen in ihrer Arbeit im Rahmen der Validation so vor wie Hamrock et al. Dabei untersuchen sie mittels Anderson-Darling-Test zunächst die Normalverteilung der Datengruppen. Mittels t-Test wird daraufhin die Varianz der Verteilung der beiden Datengruppen verglichen. Eine Validation liegt vor, wenn kein signifikanter Unterschied besteht [46].

Sargent erläutert in einer Übersichtsarbeit Möglichkeiten zur Verifikation und Validation: Zum einen kann das Simulationsteam (die Programmierer des Modells) nach eigenem Ermessen entscheiden, ob das Modell adäquat arbeitet und einen Daten-Output generiert, der zur Entscheidungsfindung bei der ursprünglichen Fragestellung genutzt werden kann. Zum anderen können die Verifikation und Validation durch den Nutzer des Simulationsmodells (falls dieser nicht gleichzeitig der Programmierer ist) stattfinden. Des Weiteren besteht die

Möglichkeit der Verifikation und Validation des Simulationsmodells durch ein unabhängiges Team [47].

Das genaue Vorgehen hinsichtlich der Verifikation und Validation im Rahmen der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit wird ausführlich in Kapitel [3.1](#) erläutert.

2.3.8 Experimentieren

Die erstellten Simulationsmodelle liefen innerhalb der Sprechstundenzeiten der einzelnen Ambulanzen eines Tages. Das bedeutet, dass in den einzelnen Simulationsdurchläufen immer genau ein Tag reproduziert wurde.

Mittels der Analysesoftware StatFit konnte berechnet werden, wie häufig ein Sprechstundentag mittels Simulationsmodell repliziert werden musste, um valide Ergebnisse beim Experimentieren zu erzeugen (siehe hierzu auch Kapitel [3.2](#)).

Dadurch entstanden für jeden einzelnen replizierten Tag unterschiedliche Zeiten der Zielvariablen (GSAD) sowie aller anderen zuvor definierten Prozesszeiten.

Zum Experimentieren wurden verschiedene Szenarien entworfen. Dabei handelt es sich um Abänderungen bezüglich der Terminvergabe oder einzelner Ressourcen vom jeweiligen programmierten Basismodell einer Ambulanz.

Das Programm kann im Endeffekt jede gewünschte Zeitdauer generieren,

solange diese zuvor genau innerhalb des Modells definiert wurde. Abbildung 2.15 zeigt eine mögliche Form der Visualisierung des Datenoutputs von FlexSim (hier exemplarisch für ein Modell der Allgemeinambulanz im Rahmen der Validation): Die verschiedenen Zeiten werden in der Statistikausgabe (Dashboard) in Form der gewählten Darstellung (hier: Balkendiagramm) angezeigt. Der Abschnitt „Patient Output“ beschreibt die Zahl der Patienten, die innerhalb der Sprechstundenzeit ihren individuellen Patientenpfad komplett von Ankunft bis Entlassung durchlaufen haben. „Average

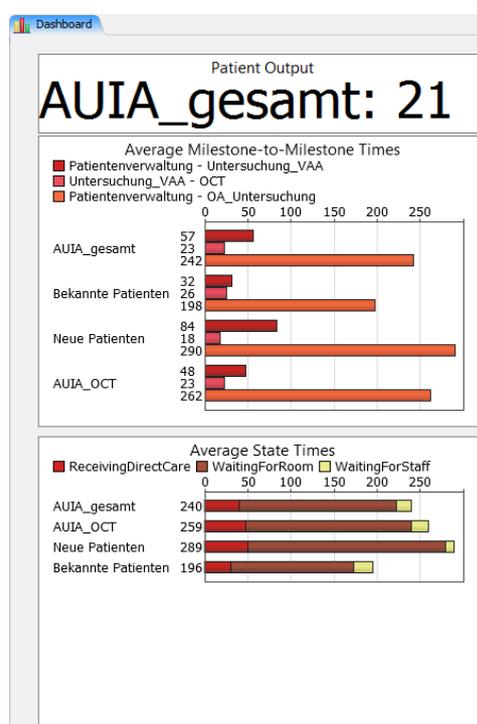


Abbildung 2.15: Dashboard

Milestone-to-Milestone Times“ zeigt die generierte durchschnittliche Dauer der untersuchten Zeitabschnitte, die zuvor definiert wurden. Als Beispiel steht der orangene Balken für die Dauer von der Aufnahme in der Patientenverwaltung bis zum Ende der Oberarzt-Untersuchung und spiegelt somit die zuvor durch die Metadaten definierte Zielvariable (Gesamtaufenthaltsdauer) wider. „Average State Times“ zeigt die Aufteilung der Zielvariablen in den direkten Arzt-Patienten-Kontakt (roter Balken), das Warten auf einen Raum (brauner Balken) und das Warten auf den Arzt (gelber Balken). Somit konnten alle Bewegungszeiten, die zuvor aus der SMEYEDAT DB extrahiert wurden, innerhalb des Simulationsmodells programmiert und mit den jeweiligen Metadaten abgeglichen werden.

2.4 Szenarien

Für alle untersuchten Ambulanzen, die zuvor validiert werden konnten, entstanden verschiedene Szenarien auf Grundlage der Recherche der Terminmodelle aus Kapitel [1.4](#) mit zusätzlich spezifischen Anpassungen in Bezug auf die jeweilige Ambulanz. So konnten mittels Simulation verschiedene Faktoren wie die Terminintervalle, die Patienteneinbestellung oder die Anzahl der arbeitenden Ärzte verändert und in Hinsicht auf die Zielvariable (GSAD) getestet werden. Mittels der Datensätze aus der SMEYEDAT DB konnten zudem Terminzeiten der untersuchten Ambulanzen, die gehäuft mit einer hohen durchschnittlichen GSAD einhergingen, herausgefiltert werden, woraus letztendlich spezifische Anpassungen der Einbestellung im Modell getestet werden konnten.

Die Grundlage für jedes Szenario war dabei immer das bereits verifizierte und validierte Basismodell der jeweiligen Ambulanz. Beim Experimentieren wurde darauf geachtet, nur die spezifischen Parameter, die getestet werden sollten, im zuvor validierten Basismodell zu verändern, da andernfalls nicht valide Ergebnisse generiert worden wären.

2.4.1 Szenarien der Allgemeinambulanz

In Tabelle 2.6, Szenario AUIA 1, wurden die Termine des Basismodells mit der höchsten Gesamtaufenthaltsdauer gestrichen und im 10-Minuten-Intervall an das

Ende der ursprünglichen Terminvergabe gesetzt, wodurch die Sprechstundenzeit verlängert und die Einbestellung der Patienten aufgelockert wurde. Spezifische Terminzeiten, zu denen Patienten gehäuft längere Gesamtaufenthaltsdauern hatten, konnten dabei aus den Metadaten extrahiert werden.

Mit den verschiedenen Terminierungsoptionen konnte der Einfluss der Terminplanung auf die Gesamtaufenthaltsdauer der Patienten getestet werden, um aufzuzeigen, wie eine optimierte Terminvergabe aussehen könnte. Zudem wurde bei einigen Szenarien die Anzahl der Assistenzärzte oder Oberärzte geändert (siehe Tabelle 2.6, Szenario AUJA 6, AUJA 8, AUJA 9), um zusätzlich den Einfluss personeller Ressourcen auf die Gesamtaufenthaltsdauer im Simulationsmodell darzustellen.

Szenario	Änderungen
Basismodell	Keine: Einbestellung im 10-Minuten-Intervall von 07:30 Uhr bis 12:50 Uhr
AUJA 1	Streichen der Termine mit höchster GSAD, gestrichene Termine im 10-Minuten-Intervall nach hinten verschoben
AUJA 2	20-Minuten-Intervalle, Einbestellung in zwei Blöcken: 07:30 Uhr bis 10:00 Uhr und 10:00 Uhr bis 14:00 Uhr, zu Beginn jedes Blocks drei Patienten zusammen
AUJA 3	Drei Patienten bis 08:00 Uhr, dann 15-Minuten-Intervalle, zwei Patienten um 10:00 Uhr, dann 15-Minuten-Intervalle, zwei Patienten um 13:00 Uhr, dann 15-Minuten-Intervalle
AUJA 4	Einbestellung von je vier Patienten zur vollen Stunde (Blockintervall), zusätzlich zwei Patienten um 07:40 Uhr
AUJA 5	Basierend auf Szenario 1 mit noch weiterer Entzerrung der Einbestellungen am Morgen
AUJA 6	Basierend auf Basismodell, ein zusätzlicher Assistenzarzt
AUJA 7	Zuerst werden neue Patienten einbestellt, dann bekannte Patienten
AUJA 8	Basierend auf Basismodell, ein zusätzlicher Assistenzarzt und ein zusätzlicher Oberarzt
AUJA 9	Terminvergabe identisch zu Szenario 2, ein zusätzlicher Assistenzarzt

Tabelle 2.6: Übersicht Terminmodelle der Allgemeinambulanz (Montag bis Freitag)

2.4.2 Szenarien der Makulasprechstunde (Montag und Donnerstag)

Die Makulasprechstunde wurde aufgeteilt in zwei Modelle. Das erste Modell fasste die Tage Montag und Donnerstag zusammen, das zweite Modell die Tage Dienstag, Mittwoch und Freitag.

Grund für diese Unterscheidung waren die unterschiedlichen personellen Ressourcen an den genannten Tagen. Montag und Donnerstag unterscheiden sich von den restlichen Tagen der Makulasprechstunde durch die Anzahl der Assistenzärzte (zwei im Gegensatz zu einem) und hinsichtlich der durchschnittlich einbestellten Patienten pro Tag (29 im Gegensatz zu 25).

Innerhalb beider Modelle wurde zwischen zwei Patientenpfaden unterschieden. Patienten mit OCT und Patienten ohne OCT. Die unterschiedlichen Szenarien für die Makulasprechstunde am Montag und Donnerstag werden in Tabelle 2.7 beschrieben. Auch hier wurden mittels der Metadaten für Szenario Makula A1 die Terminzeiten mit der durchschnittlich höchsten GSAD extrahiert und aus der Vormittagssprechstunde in den Nachmittag verlagert. Die Szenarien Makula A6 und Makula A7 unterscheiden sich zusätzlich in der Anzahl der Assistenzärzte.

Szenario	Änderungen
Basismodell	Keine: Einbestellung im 15-Minuten-Intervall von 07:45 Uhr bis 12:45 Uhr
Makula A1	Fünf Intervalle mit höchster GSAD vom Vormittag werden gestrichen und im 15-Minuten-Intervall in den Nachmittag gesetzt, Sprechstundenzeit bis 14:00 Uhr
Makula A2	Erster Patient um 07:45 Uhr, drei Patienten um 08:00 Uhr, ab 09:00 Uhr Einbestellung von je vier Patienten zur vollen Stunde (Blockintervall)
Makula A3	Basierend auf Makula A1, mehr Entzerrung der Vormittagssprechstunde, kaum Doppelbelegungen, Termine bis 14:45 Uhr
Makula A4	Vormittagsblock 07:45 Uhr bis 11:00 Uhr (drei Patienten bis 08:00 Uhr) und Nachmittagsblock 11:00 Uhr bis 14:15 Uhr (zwei Patienten um 11:00 Uhr), dazwischen 15-Minuten-Intervalle
Makula A5	Basierend auf Makula A3, keine Doppelbuchungen mehr, außer um 08:00 Uhr
Makula A6	Basierend auf Makula A5, ein Assistenzarzt weniger
Makula A7	Basierend auf Basismodell, ein Assistenzarzt weniger

Tabelle 2.7: Übersicht Terminmodelle der Makulasprechstunde (Montag und Donnerstag)

2.4.3 Szenarien der Makulasprechstunde (Dienstag, Mittwoch und Freitag)

Tabelle 2.8 beschreibt die Szenarien für die Makulasprechstunde für die Tage Dienstag, Mittwoch und Freitag. Wie bereits erwähnt, befindet sich an diesen Tagen nur ein Assistenzarzt in der Makulasprechstunde. Auch hier wurde die Auswirkung von einem zusätzlichen Assistenzarzt auf die GSAD in den Szenarien Makula B5 und B6 dargestellt.

Szenario	Änderungen
Basismodell	Keine: Einbestellung im 15-Minuten-Intervall von 07:45 Uhr bis 12:45 Uhr
Makula B1	Fünf Intervalle mit höchster GSAD vom Vormittag werden gestrichen und im 15-Minuten-Intervall in den Nachmittag gesetzt
Makula B2	Erster Patient um 07:45 Uhr, drei Patienten um 08:00 Uhr, ab 09:00 Uhr Einbestellung von je vier Patienten zur vollen Stunde (Blockintervall)
Makula B3	Basierend auf Makula B1, mehr Entzerrung der Vormittagssprechstunde, kaum Doppelbelegungen, Termine bis 14:45 Uhr
Makula B4	Vormittagsblock 07:45 Uhr bis 11:00 Uhr (drei Patienten bis 08:00 Uhr) und Nachmittagsblock 11:00 Uhr bis 14:15 Uhr (zwei Patienten um 11:00 Uhr), dazwischen 15-Minuten-Intervalle
Makula B5	Basierend auf Basismodell, ein zusätzlicher Assistenzarzt
Makula B6	Basierend auf Makula B3, ein zusätzlicher Assistenzarzt

Tabelle 2.8: Übersicht Terminmodelle der Makulasprechstunde (Dienstag, Mittwoch und Freitag)

3 Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der Verifikation und Validation

3.1.1 Ergebnisse der Verifikation

Im Rahmen der Verifikation wurden die Simulationsmodelle den Mitarbeitern der Augenklinik, die bereits in den Analyse-Prozess der Abläufe in den Ambulanzen involviert waren, in mehreren Testphasen vorgeführt, um sie mit dem realen Ist-Zustand in Hinsicht auf Abläufe, Ressourcen und Besonderheiten der untersuchten Ambulanzen zu vergleichen. Die Modelle der Allgemeinambulanz, der Spezialambulanz (Diabetes-/ Retinaambulanz) sowie der Makulasprechstunde konnten verifiziert werden. Dabei wurde darauf geachtet, dass die einzelnen Patienten z. B. die Patientenpfade fehlerfrei durchliefen (Funktionale Korrektheit). Es wurde auf die richtige Anordnung der Räumlichkeiten und aller einbezogenen Ressourcen geachtet und die richtige Abfolge innerhalb jedes Patientenpfades überprüft (Sachliche Korrektheit). Zudem wurde darauf geachtet, dass das Modell einen Sprechstundentag innerhalb der jeweiligen Sprechstundenzeiten der untersuchten Ambulanzen richtig abbilden konnte (Technische Korrektheit). Die Verifikation sollte dabei beantworten, ob das Simulationsmodell fehlerfrei mit Hilfe der Grundrisse der Augenklinik, der Prozessanalyse sowie des Flussdiagramms programmiert wurde. Nachdem das Modell auf die Kriterien der Vollständigkeit, Genauigkeit, Plausibilität, Verständlichkeit und Eignung für die zu untersuchende Fragestellung überprüft wurde, erfolgte im nächsten Schritt die Validation.

3.1.2 Ergebnisse der Validation

Bei der Validation wurden die generierten Daten der Simulationsmodelle hinsichtlich der Zielvariablen (Gesamtaufenthaltsdauer) mit den Metadaten der SMEYEDAT DB verglichen. Es wurde zunächst sukzessiv die Anzahl an Replikationen, das heißt die Häufigkeit der Wiederholung eines Sprechstundentages im Simulationsmodell, erhöht. Das Ziel dabei war, eine durchschnittliche GSAD zu generieren, die +/- 5 % der Verteilung der durchschnittlichen GSAD der Metadaten der jeweiligen Ambulanz entsprach. Aufgrund einer bereits großen Varianz der Zielvariablen innerhalb der Metadaten

(vor allem der Daten der Allgemeinambulanz) war eine Anzahl von 100 Simulationsdurchläufen notwendig, bis keine signifikante Änderung der untersuchten Zielvariable mehr zu verzeichnen war.

In der Literatur wird für die statistische Validation von Simulationsmodellen u. a. der t-Test zum Vergleich der Verteilung der Zielvariablen von Simulations- und Metadaten herangezogen [51]. Dieser setzt eine annähernde Normalverteilung und keinen signifikanten Unterschied in der Varianz der Zielvariablen beider Datengruppen voraus. Eine vorliegende Normalverteilung der Datengruppen kann dabei z. B. mit Hilfe des Kolmogorow-Smirnow-Tests überprüft werden, der dafür in dieser Arbeit herangezogen wurde. Der Vorteil des Kolmogorow-Smirnow-Tests gegenüber dem Anderson-Darling-Test, wie von Pan et al. verwendet [46], besteht darin, zur Validation der Verteilung der Zielvariablen zwei verschiedene Stichproben miteinander vergleichen zu können.

Das Signifikanzniveau des Tests wurde auf $\alpha = 0,05$ festgelegt. Es wurde die Nullhypothese aufgestellt, dass die Zielvariable (GSAD) in der jeweiligen Ambulanz eine Normalverteilung aufweist. Bei Werten unterhalb des Signifikanzniveaus wurde die Nullhypothese abgelehnt. In diesem Fall musste die Nullhypothese für alle untersuchten Ambulanzen verworfen werden (Berechnung mittels SPSS, Version 22; siehe Tabelle 3.1).

Ambulanz	Datengruppe	Statistik	df	Sig.
Allgemeinambulanz (Montag bis Freitag)	Metadaten	,032	4.401	,000
	Simulationsdaten	,050	9.000	,000
Makulasprechstunde (Montag und Donnerstag)	Metadaten	,083	2.703	,000
	Simulationsdaten	,103	5.800	,000
Makulasprechstunde (Dienstag, Mittwoch und Freitag)	Metadaten	,074	2.848	,000
	Simulationsdaten	,108	5.000	,000
Spezialambulanz (Diabetes/ Retina) (Donnerstag)	Metadaten	,067	1.291	,000
	Simulationsdaten	,051	12.500	,000

Tabelle 3.1: Kolmogorow-Smirnow-Test auf Normalverteilung, Signifikanz-Korrektur nach Lilliefors. Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$

Tabelle 3.2 gibt einen Überblick über die deskriptive Statistik der untersuchten Ambulanzen (Berechnung mittels SPSS, Version 22).

Ambulanz	Datengruppe	n	Mittelwert (min)	Median (min)	SD (min)
Allgemeinambulanz (Montag bis Freitag)	Metadaten	4.401	229	224	100
	Simulationsdaten	9.000	225	236	112
Makulasprechstunde (Montag und Donnerstag)	Metadaten	2.703	144	130	74
	Simulationsdaten	5.800	144	130	66
Makulasprechstunde (Dienstag, Mittwoch und Freitag)	Metadaten	2.848	122	110	68
	Simulationsdaten	5.000	121	106	53
Spezialambulanz (Diabetes/ Retina) (Donnerstag)	Metadaten	1.291	195	183	84
	Simulationsdaten	12.500	211	220	72

Tabelle 3.2: Deskriptive Statistik der Validation

Nach Montgomery und Runger können bei nicht-normalverteilten Daten nicht-parametrische Methoden wie z. B. der Mann-Whitney-U-Test zum Vergleich der Verteilung der Zielvariablen zweier Datengruppen herangezogen werden [52]. Da innerhalb der Datengruppen dieser Simulationsstudie die Voraussetzungen für einen t-Test nicht erfüllt waren, wurde mittels des Mann-Whitney-U-Test überprüft, ob die zentralen Tendenzen der zwei Stichproben (Metadaten und Simulationsdaten) verschieden sind.

Es wurde die Nullhypothese aufgestellt, dass die Gesamtaufenthaltsdauer in der jeweiligen Ambulanz in beiden Datengruppen eine identische Verteilung aufweist. Das Signifikanzniveau α wurde auf 0,05 festgelegt. Bei Werten unterhalb des Signifikanzniveaus wurde die Nullhypothese abgelehnt. Im Falle der Allgemeinambulanz und der Makulasprechstunde konnte von einer gleichen Verteilung der Gesamtaufenthaltsdauer unter den beiden zu vergleichenden Datengruppen ausgegangen werden. Im Fall der Spezialambulanz musste die Annahme einer gleichen Verteilung zwischen beiden Gruppen verworfen werden (Berechnung mittels SPSS, Version 22; siehe Tabelle 3.3).

Ambulanz	Hypothese	Test	Sig.	Ergebnis
Allgemeinambulanz (Montag bis Freitag)	GSAD innerhalb der Datengruppe ist gleich verteilt	Mann-Whitney-U	,718	beibehalten
Makulasprechstunde (Montag und Donnerstag)	GSAD innerhalb der Datengruppe ist gleich verteilt	Mann-Whitney-U	,392	beibehalten
Makulasprechstunde (Dienstag, Mittwoch und Freitag)	GSAD innerhalb der Datengruppe ist gleich verteilt	Mann-Whitney-U	,055	beibehalten
Spezialambulanz (Diabetes/ Retina) (Donnerstag)	GSAD innerhalb der Datengruppe ist gleich verteilt	Mann-Whitney-U	,000	verwerfen

Tabelle 3.3: Mann-Whitney-U-Test zum Vergleich unabhängiger Stichproben, asymptotische Signifikanzen werden angezeigt. Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$

Dies bedeutet, dass nur die Simulationsmodelle der Allgemeinambulanz und der Makulasprechstunde validierte Werte der Zielvariablen generierten, die keinen signifikanten Unterschied zur Verteilung der Zielvariablen der Metadaten aus der SMEYEDAT DB aufwiesen. Diese Modelle konnten somit im nächsten Schritt zum Experimentieren herangezogen werden. Die Box-Plots (erstellt mit SPSS, Version 22) in den Abbildungen 3.1 bis 3.4 zeigen für die untersuchten Ambulanzen die grafische Verteilung der Zielvariablen (Gesamtaufenthaltsdauer in Minuten) auf der y-Achse in Bezug zu den Datengruppen (Meta- und Simulationsdaten) auf der x-Achse. Dabei zeigt der Datenvergleich in der Allgemeinambulanz und den Makulasprechstunden eine ähnliche Verteilung in Hinsicht auf den Median und das untere und obere Quartil. Beim Vergleich der beiden Datengruppen im Boxplot der Diabetes-/ Retinaambulanz wird grafisch, wie bereits in der deskriptiven Statistik, eine deutliche Abweichung in Hinblick auf den Median ersichtlich.

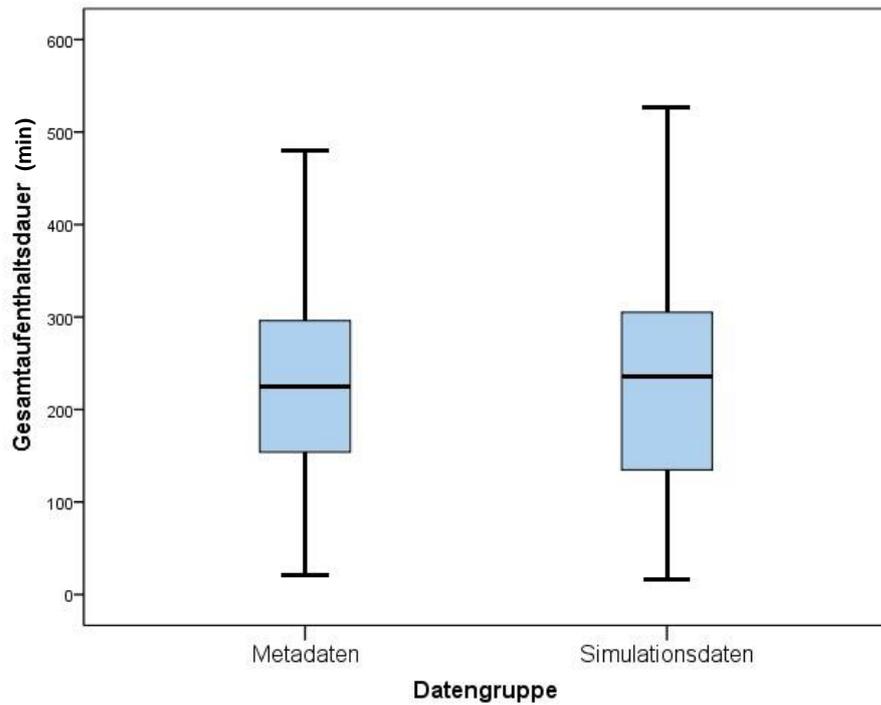


Abbildung 3.1: Verteilung der GSAD (in min) innerhalb der Datengruppen (Meta- vs. Simulationsdaten), Allgemeinambulanz (Montag bis Freitag)

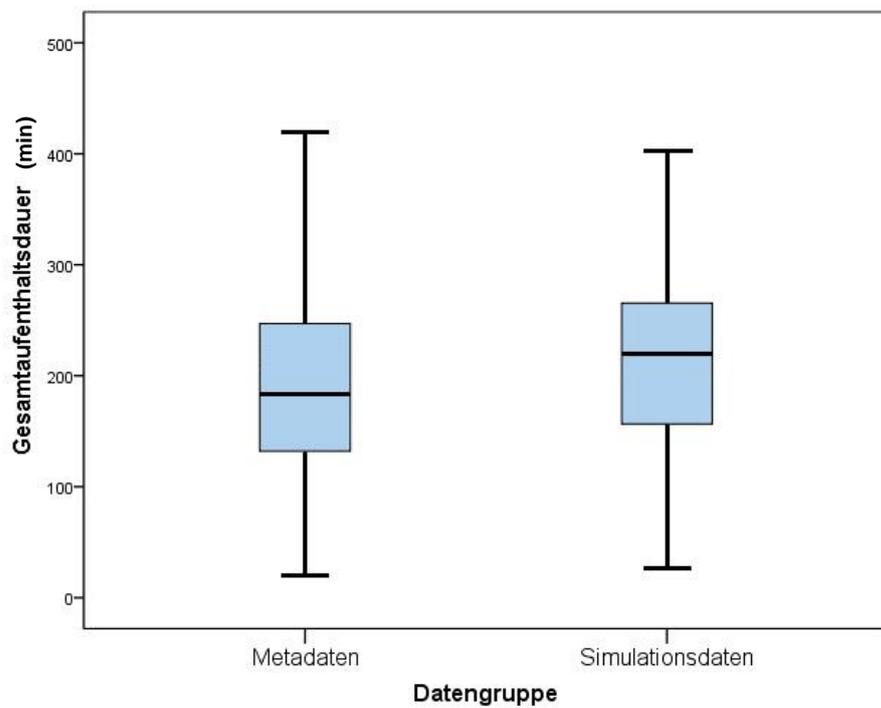


Abbildung 3.2: Verteilung der GSAD (in min) innerhalb der Datengruppen (Meta- vs. Simulationsdaten), Diabetes-/ Retinaambulanz (Donnerstag)

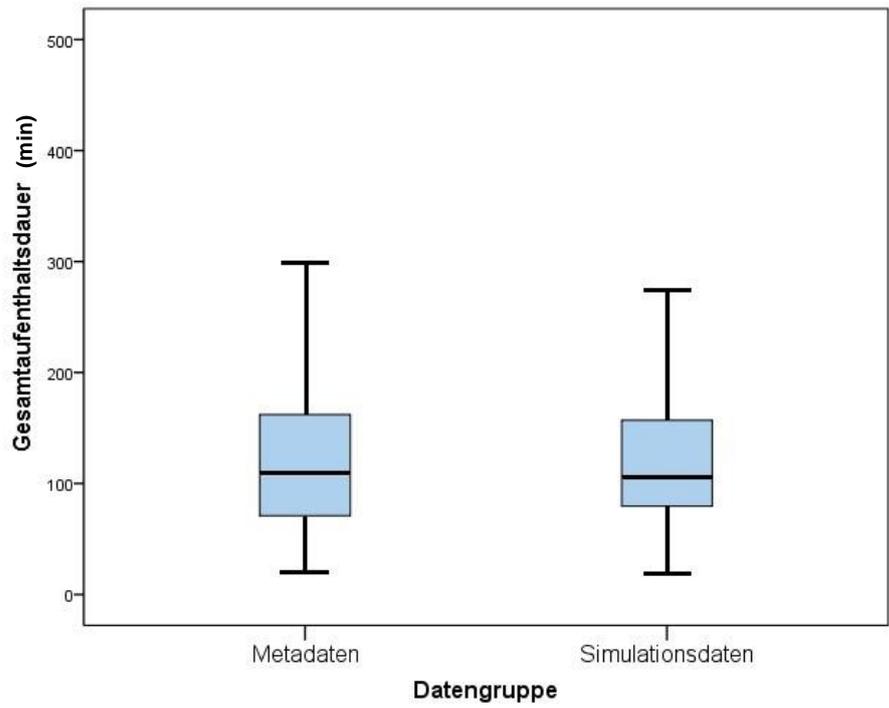


Abbildung 3.3: Verteilung der GSAD (in min) innerhalb der Datengruppen (Meta- vs. Simulationsdaten), Makulasprechstunde (Dienstag, Mittwoch und Freitag)

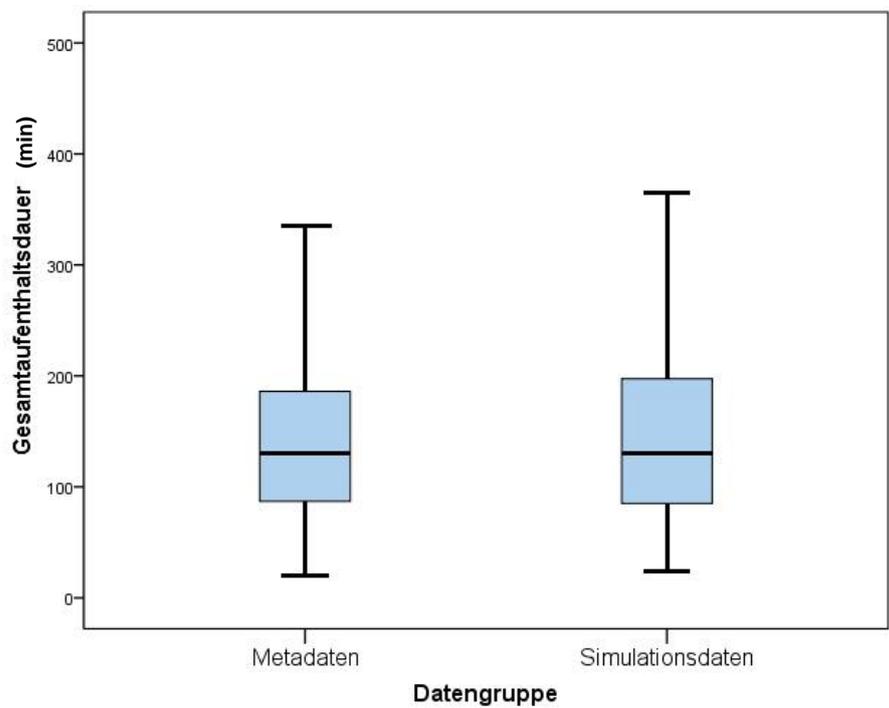


Abbildung 3.4: Verteilung der GSAD (in min) innerhalb der Datengruppen (Meta- vs. Simulationsdaten), Makulasprechstunde (Montag und Donnerstag)

3.2 Ermittlung der benötigten Replikationsanzahl

Die benötigte Mindestanzahl an Replikationen, um valide Ergebnisse aus den Simulationsmodellen sowie den zu überprüfenden Szenarien extrahieren zu können, wurde mit Hilfe des Programmes StatFit (Version 2) errechnet.

„Die Ergebnisse der Simulationsdurchläufe sind gleichverteilte Zufallsvariablen. Werden sehr viele Simulationsdurchläufe durchgeführt, so sind nach dem zentralen Grenzwertsatz die arithmetischen Mittel der erhaltenen Zufallsvariablen normalverteilt mit dem wahren Mittelwert μ aller möglichen Ergebnisse“ [53]. Der zentrale Grenzwertsatz ermöglicht es, statistische Prozeduren, „die auf eine ungefähre Normalverteilung der Daten angewiesen sind, auf Grundgesamtheiten anzuwenden, die stark von der Normalverteilung abweichen. Der erforderliche Stichprobenumfang hängt dabei von der Form der ursprünglichen Verteilung ab“ [54]. Dies ist relevant, da StatFit zur Berechnung der notwendigen Anzahl der Replikationen die t-Verteilung nutzt, die u. a. eine Normalverteilung der Grundgesamtheiten voraussetzt, und da bereits zuvor ermittelt wurde, dass die Grundgesamtheiten der Zielvariablen in den untersuchten Ambulanzen nicht normalverteilt waren. Auf Grundlage des großen Stichprobenumfangs (100 Simulationsdurchläufe) und mit dem Hintergrund des zentralen Grenzwertsatzes konnte StatFit somit zur Berechnung der nötigen Replikationszahl herangezogen werden. Die zuvor durchgeführten 100 Simulationsdurchläufe dienten dabei nur als Ausgangswert zur Errechnung der tatsächlich benötigten Mindestanzahl an Replikationen.

Abbildung 3.5 zeigt exemplarisch die Berechnung der Mindestanzahl an durchzuführenden Replikationen für das Basismodell der Allgemeinambulanz. Das Signifikanzniveau des Tests ist dabei auf $\alpha = 0,95$ festgelegt. Im StatFit-Interface wurden unter dem Punkt „Range“ der niedrigste und höchste Wert der Zielvariablen aus den 100 Simulationsdurchläufen eingegeben. Das Programm errechnet daraufhin die Standardabweichung sowie die Mindestanzahl an durchzuführenden Replikationen. Die erlaubte Abweichung vom wahren Mittelwert der Ergebnisse (Range For Estimate) wurde auf 15 Minuten festgelegt und daraufhin für das Modell der Allgemeinambulanz und die Modelle der Makulasprechstunde inklusive der jeweiligen Szenarien der Ambulanzen die notwendige Mindestanzahl an Replikationen analysiert.

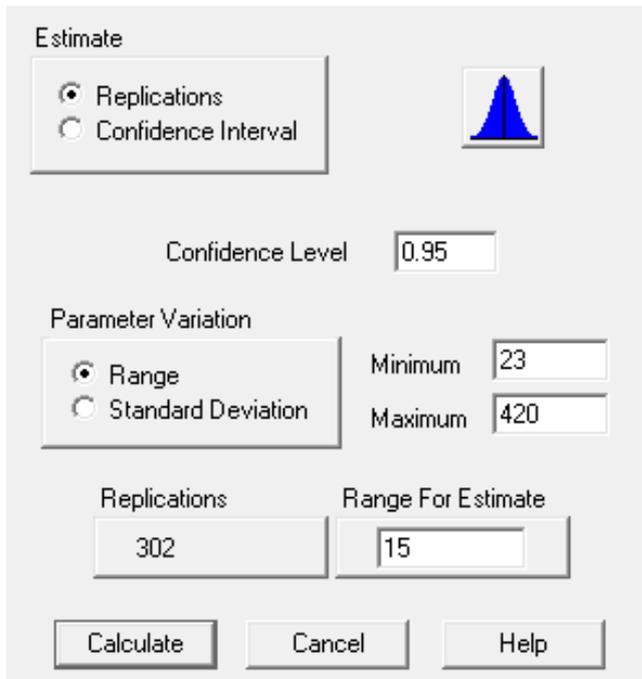


Abbildung 3.5: StatFit; errechnete Anzahl der Replikationen für das Basismodell der Allgemeinambulanz

3.2.1 Mindestanzahl der Replikationen für die Allgemeinambulanz

In den Meta- und Simulationsdaten der Allgemeinambulanz bestand eine höhere Varianz der Zielvariablen als bei den Daten der Makulasprechstunde, weswegen die Mindestanzahl der durchzuführenden Replikationen des Basismodells sowie der dazugehörigen Szenarien von StatFit zwischen 224 und 399 Replikationen berechnet wurde. Hier wurde die Mindestanzahl der Replikationen für das Experimentieren auf 500 festgelegt, sodass die Ergebnisse aus den Simulationen beim Experimentieren mit hoher Sicherheit am wahren Mittelwert aller durchgeführten Simulationsergebnisse lagen.

3.2.2 Mindestanzahl der Replikationen für die Makulasprechstunde (Montag und Donnerstag)

In der Makulasprechstunde (Montag und Donnerstag) zeigte sich eine errechnete Bandbreite zwischen 86 und 153 Replikationen für das Basismodell sowie die Szenarien. Letztendlich wurde die Mindestanzahl an durchzuführenden Replikationen zum Experimentieren auf 200 festgesetzt.

3.2.3 Mindestanzahl der Replikationen für die Makulasprechstunde (Dienstag, Mittwoch und Freitag)

Für das Basismodell der Makulasprechstunde (Dienstag, Mittwoch und Freitag) und die dazugehörigen Szenarien ermittelte StatFit eine Mindestanzahl an Replikationen zwischen 46 und 120. Auch hier wurde die durchzuführende Anzahl an Replikationen zum Experimentieren auf 200 festgesetzt.

3.3 Auswertung der Ergebnisse aus den Simulationsmodellen

3.3.1 Basismodell der Allgemeinambulanz

Das validierte Basismodell der Allgemeinambulanz basierte auf den Durchschnittswerten der Metadaten aller Tage der Allgemeinambulanz (Montag bis Freitag) über den Zeitraum vom 07.01.2014 bis zum 23.12.2014 (4.401 Patienten an 237 Tagen, 33 % der Patienten bekamen eine OCT, 43 % waren neue Patienten). Die Termine wurden von 07:30 Uhr im 10-Minuten-Intervall bis

Appointments		
Rows	30	Labels 0
	Appointment Time (day:hrs:mins)	PCI
1	01:07:30	2
2	01:07:40	3
3	01:07:50	2
4	01:08:00	2
5	01:08:10	1
6	01:08:20	1
7	01:08:30	2
8	01:08:40	2
9	01:08:50	1
10	01:09:00	1
11	01:09:10	4
12	01:09:20	3
13	01:09:30	1
14	01:09:40	2
15	01:09:50	4
16	01:10:00	2
17	01:10:10	4
18	01:10:20	3
19	01:10:30	4
20	01:10:40	4
21	01:10:50	3
22	01:11:00	2
23	01:11:10	4
24	01:11:20	2
25	01:11:30	4

12:50 Uhr vergeben. Exemplarisch zeigt Abbildung 3.6 die Terminvergabe des validierten Basismodells aus FlexSim. Die rechte Spalte (PCI) zeigt die unterschiedlichen Patientenpfade: (1 = bekannter Patient mit OCT, 2 = bekannter Patient ohne OCT, 3 = neuer Patient mit OCT, 4 = neuer Patient ohne OCT).

Die durchschnittliche Patientenzahl pro Tag betrug vor der Datenaufbereitung der Metadaten 25 Patienten pro Tag. Nach der Datenaufbereitung lag der Wert nur noch bei 18 Patienten pro Tag. Das in FlexSim erstellte Basismodell, das neben den manuellen

Abbildung 3.6: Terminmodell aus FlexSim; Basismodell der Allgemeinambulanz

Zeitmessungen größtenteils auf den Metadaten aus der SMEYEDAT DB basiert und durch diese validiert wird, generierte ebenfalls nur 18 Patienten pro Tag im Durchschnitt (siehe Tabelle 3.4). Das validierte Basismodell sollte möglichst exakt die Zielvariable (GSAD), die prozentuale Verteilung der unterschiedlichen Patientengruppen (neu vs. bekannt, OCT vs. kein OCT) sowie die einzelnen Bewegungszeiten der extrahierten Metadaten widerspiegeln.

	Metadaten	Simulationsdaten
Patientenzahl (insgesamt)	4.401	9.000
Patientenzahl pro Tag	18 (25)*	18
Patienten mit OCT	33 %	33 %
neue Patienten	43 %	43 %
Ø GSAD aller Patienten (min)	229	227
Ø GSAD Patienten mit OCT (min)	234	247
Ø GSAD neue Patienten (min)	237	237
Ø GSAD bekannte Patienten (min)	223	220
Ø Dauer Verwaltung bis VAA Patienten mit OCT (min)	101	85
Ø Dauer VAA bis OCT (min)	28	23

Tabelle 3.4: Vergleich Metadaten mit Simulationsdaten (Basismodell) der Allgemeinambulanz (Montag bis Freitag)

* Wert vor der Datenaufbereitung

3.3.2 Szenarien der Allgemeinambulanz

Das Ziel der unterschiedlichen Simulations-Szenarien war eine Verkürzung der durchschnittlichen GSAD. Dabei durchliefen im Idealfall mehr Patienten mit einer geringeren GSAD innerhalb der definierten Sprechstundenzeiten das Modell, als dies beim Basismodell der Falls war.

Tabelle 3.5 zeigt die Ergebnisse des validierten Basismodells sowie der Szenarien AUIA 1 bis 9 für die Allgemeinambulanz. Es wurden jeweils 500 Replikationen für jedes Szenario durchlaufen. Die signifikanteste Reduktion der Gesamtaufenthaltsdauer wurde in Szenario AUIA 9 mit 125 Minuten erreicht. Dabei wurde allerdings die Anzahl der Assistenzärzte von zwei auf drei erhöht. Szenario AUIA 2 zeigte mit einer Gesamtaufenthaltsdauer der Patienten von 153

Minuten bei gleichbleibender Anzahl an Assistenzärzten den größten Unterschied zum validierten Basismodell (durchschnittliche GSAD 229 Minuten). Zudem wurde ein Patient mehr pro Tag innerhalb der festgesetzten Sprechstundenzeit (8:00 Uhr bis 16:30 Uhr) behandelt. Somit diente das Szenario AUIA 2 als Grundlage für ein Terminmodell, das im klinischen Alltag implementiert werden konnte.

Szenario	Einbestell- uhrzeit	Intervall- länge (min)	Ø GSAD (min)	Patienten pro Tag	AA (n)	OA (n)
Basismodell	07:30 - 12:50	10	229	18	2	1
AUIA 1	07:45 - 14:30	10	178	18	2	1
AUIA 2	07:30 - 14:00	20	153	19	2	1
AUIA 3	07:30 - 14:00	15	181	18	2	1
AUIA 4	07:40 - 14:00	15	164	18	2	1
AUIA 5	07:30 - 14:30	10	169	18	2	1
AUIA 6	07:30 - 12:50	10	214	22	3	1
AUIA 7	07:30 - 12:50	10	238	17	2	1
AUIA 8	07:30 - 12:50	10	216	23	3	2
AUIA 9	07:30 - 12:50	10	125	22	3	1

Tabelle 3.5: Ergebnisse der getesteten Szenarien der Allgemeinambulanz (Montag bis Freitag)

3.3.3 Basismodell der Makulasprechstunde (Montag und Donnerstag)

Das validierte Basismodell der Makulasprechstunde für die Tage Montag und Donnerstag basierte auf den Durchschnittswerten der Metadaten dieser Tage zwischen dem 09.01.2014 und dem 22.12.2014 (2.702 Patienten an 95 Tagen, 78 % bekamen ein OCT). Die Terminvergabe begann um 07:45 Uhr im 15-Minuten-Intervall bis 12:45 Uhr (siehe Tabelle 3.6). Es wurden 200 Replikationen durchgeführt.

	Metadaten	Simulationsdaten
Patientenzahl (insgesamt)	2.702	5.800
Patientenzahl pro Tag	29 (29)*	29
Patienten mit OCT	78 %	78 %
Ø GSAD aller Patienten (min)	144	144
Ø GSAD Patienten mit OCT (min)	141	144
Ø GSAD Patienten ohne OCT (min)	154	143
Ø Dauer Verwaltung bis Makula VU (min)	47	47
Ø Dauer Makula VU bis OCT (min)	34	31

Tabelle 3.6: Vergleich Metadaten mit Simulationsdaten (Basismodell) der Makulasprechstunde (Montag und Donnerstag)

** Wert vor der Datenaufbereitung*

3.3.4 Szenarien der Makulasprechstunde (Montag und Donnerstag)

Die fünf getesteten Terminmodelle, bei denen die Anzahl der Assistenzärzte nicht geändert wurde (gleiche Anzahl wie im klinischen Alltag), konnten alle die durchschnittliche Gesamtaufenthaltsdauer im Vergleich zum validierten Basismodell (144 Minuten) senken, während die Anzahl der behandelten Patienten in den Simulationen pro Tag konstant bei 29 bestehen blieb. Die Szenarien Makula A6 und A7 zeigten zusätzlich den Einfluss personeller Ressourcen auf die GSAD. So konnte in Szenario Makula A6 unter Reduktion der zur Verfügung stehenden Assistenzärzte zwar die GSAD bei optimierter Terminvergabe gesenkt werden, allerdings durchlief im Durchschnitt ein Patient weniger das Modell. Einen noch größeren Einfluss der personellen Ressourcen auf die durchschnittliche Gesamtaufenthaltsdauer zeigte Szenario Makula A7 (Ø GSAD von 190 Minuten bei durchschnittlich 28 Patienten pro Tag). Das verwendete Terminmodell des Szenarios Makula A5 zeigte die signifikanteste Verbesserung bei einer durchschnittlichen Gesamtaufenthaltsdauer von 72 Minuten bei gleichbleibender Patientenzahl (29 Patienten pro Tag) (siehe Tabelle 3.7).

Szenario	Einbestell- uhrzeit	Intervall- länge (min)	Ø GSAD (min)	Patienten pro Tag	AA (n)
Basismodell	07:45 - 12:45	15	144	29	2
Makula A1	07:45 - 14:00	15	119	29	2
Makula A2	07:45 - 14:00	15	91	29	2
Makula A3	07:45 - 14:45	15	91	29	2
Makula A4	07:45 - 14:15	15	85	29	2
Makula A5	07:45 - 15:30	15	72	29	2
Makula A6	07:45 - 15:30	15	100	28	1
Makula A7	07:45 - 12:45	15	190	28	1

Tabelle 3.7: Ergebnisse der Makulasprechstunde (Montag und Donnerstag)

3.3.5 Basismodell Makulasprechstunde (Dienstag, Mittwoch und Freitag)

Die Metadaten zur Validation des Basismodells stammten aus dem Zeitraum vom 07.01.2014 bis zum 19.12.2014 (2.848 Patienten an 145 Tagen, 46 % bekamen ein OCT). Termine wurden von 07:45 Uhr bis 12:45 Uhr im 15-Minuten-Intervall vergeben (siehe Tabelle 3.8).

	Metadaten	Simulationsdaten
Patientenzahl (insgesamt)	2.848	5.000
Patientenzahl pro Tag	20 (25)*	25
Patienten mit OCT	46 %	46 %
Ø GSAD aller Patienten (min)	122	121
Ø GSAD Patienten mit OCT (min)	122	137
Ø GSAD Patienten ohne OCT (min)	115	106
Ø Dauer Verwaltung bis Makula VU (min)	43	40
Ø Dauer Makula VU bis OCT (min)	32	37

Tabelle 3.8: Vergleich Metadaten mit Simulationsdaten (Basismodell) der Makulasprechstunde (Dienstag, Mittwoch und Freitag)

* Wert vor der Datenaufbereitung

3.3.6 Szenarien der Makulasprechstunde (Dienstag, Mittwoch und Freitag)

Das Basismodell sowie die Szenarien wurde je zweihundertmal repliziert. Dabei konnte eine Reduktion der durchschnittlichen Gesamtaufenthaltsdauer der Patienten des Basismodells (121 Minuten) in allen Szenarien erreicht werden. Das Terminmodell des Szenarios Makula B3 zeigt mit 66 Minuten die signifikanteste Verbesserung in Bezug auf eine reduzierte durchschnittliche GSAD bei gleichbleibender Anzahl an Assistenzärzten. In Szenario Makula B6 wurden zusätzlich zur Terminoptimierung die personellen Ressourcen (zwei Assistenzärzte) verändert, wodurch eine durchschnittliche GSAD von 44 Minuten erreicht wurde (siehe Tabelle 3.9).

Szenario	Einbestell- uhrzeit	Intervall- länge (min)	Ø GSAD (min)	Patienten pro Tag	AA (n)
Basismodell	07:45 - 12:45	15	121	25	1
Makula B1	07:45 - 14:00	15	91	25	1
Makula B2	07:45 - 14:00	15	86	25	1
Makula B3	07:45 - 14:45	15	66	25	1
Makula B4	07:45 - 13:15	15	95	25	1
Makula B5	07:45 - 12:45	15	71	25	2
Makula B6	07:45 - 14:45	15	44	25	2

Tabelle 3.9: Ergebnisse der Makulasprechstunde (Dienstag, Mittwoch und Freitag)

3.4 Ergebnisse nach Implementierung eines neuen Terminmodells für die Allgemeinambulanz

Im Jahr 2016 wurde die Implementierung eines angepassten Terminmodells für die Allgemeinambulanz auf Basis des Szenarios AUIA 2 durchgeführt.

Die Erstellung des neuen Terminmodells erfolgte dabei anhand der Erkenntnisse der ausgewerteten Metadaten, der Prozessanalyse und der Ergebnisse aus den Simulationsmodellen, jedoch immer auch unter Rücksichtnahme auf die Ist-Situation im klinischen Alltag (Anmerkung: Das Simulationsmodell generierte z. B. nur 18 Patienten pro Tag, im klinischen Alltag durchlaufen teilweise mehr als 25 Patienten pro Tag die Allgemeinambulanz). Die Ergebnisse der Simulations-

Szenarien zeigten, dass eine Auflockerung der Intervallzeiten sowie ein breiteres Zeitintervall der Terminzeiten in der Theorie zu kürzeren Gesamtaufenthaltsdauern der Patienten führten. Da der klinische Alltag jedoch weitaus komplexer und unvorhersehbarer ist, erfolgte eine zusätzliche Anpassung durch die Vergabe spezifischer Terminslots an spezifische Patientengruppen („Queue Discipline“).

Die Terminvergabe wurde aufgelockert, indem in den Terminslots von 10:40 Uhr bis 10:50 Uhr sowie ab 11:20 Uhr jeweils nur ein Patient im 20-Minuten-Intervall einbestellt wurde. Ab 12:00 Uhr war zusätzlich ein Terminslot für eine kurzfristige Terminvergabe vorgesehen. Die Termine von 13:20 Uhr bis 13:40 Uhr erfolgten im 10-Minuten-Intervall, waren jedoch für postoperative Patienten vorgesehen. Die Patienten wurden zwischen 07:40 Uhr und 13:40 Uhr einbestellt (siehe Abbildung 3.7).

Ambulanz		
MO, 09.04.		
	Allgemeinamb	Allgemein 2
08	40 AU Allg neu	AU Allg neu
	50	
08	00 AU Allg neu	AU Allg neu
	10	
	20 AU Allg Kontr	AU Allg Kontr
	30	
	40 AU Allg neu	AU Allg ÜWOP
50		
09	00 AU Allg neu	AU Allg Krzfrst
	10	
	20 AU Allg neu	AU Allg ÜWOP
	30	
	40 AU Allg neu	AU Allg ÜWOP
50		
10	00 AU Allg Kontr	AU Allg Kontr
	10	
	20 AU Allg neu	AU Allg neu
	30	
	40 AU Allg Kontr	
50		
11	00 AU Allg Kontr	AU Allg Krzfrst
	10	
	20 AU Allg Kontr	
	30	
	40 AU Allg Kontr	
50		
12	00 AU Allg Kontr	AU Allg Krzfrst
	10	
	20 AU Allg Kontr	
	30	
	40 AU Allg Kontr	
50		
13	00 AU Allg Kontr	
	10	
	20 Post-OP Kontro.	
	30 Post-OP Kontro.	
	40 Post-OP Kontro.	
50		

Abbildung 3.7: Optimiertes Terminvergabemodell der Allgemeinambulanz nach Implementierung

Die Daten der SMEYEDAT DB aus dem Zeitraum vom 04.10.2016 bis zum 14.06.2017 wurden ausgewertet, wobei die Datenaufbereitung nach dem gleichen Prinzip wie bei den zuvor verwendeten Metadaten der Allgemeinambulanz aus dem Jahr 2014 vollzogen wurde.

Nach der Datenaufbereitung bestand das Kollektiv noch aus 2.909 Patienten (4.401 Patienten vor der Datenaufbereitung). Tabelle 3.10 zeigt die Metadaten des Jahres 2014 (Januar bis Dezember), aus denen das Basis-Simulationsmodell der Allgemeinambulanz erstellt wurde, im Vergleich mit den Metadaten von Oktober 2016 bis Juni 2017 nach erfolgter Implementierung des neuen Terminmodells in der Allgemeinambulanz.

Als Ergebnis zeigte sich unter Verwendung des optimierten Terminmodells eine durchschnittliche Gesamtaufenthaltsdauer der Patienten von 183 Minuten (zuvor 229). Im Vergleich dazu generierte das Szenario AUIA 2 eine durchschnittliche GSAD von 153 Minuten in der Theorie.

	Metadaten 2014	Metadaten 2016/2017
Patientenzahl (insgesamt)	4.401	2.909
Patientenzahl pro Tag	18 (25) *	17 (22) *
Ø GSAD aller Patienten (min)	229	183

Tabelle 3.10: Vergleich der Metadaten vor sowie nach erfolgter Umstellung des Terminmodells der Allgemeinambulanz (Montag bis Freitag)

** Wert vor der Datenaufbereitung*

4 Diskussion

4.1 Zusammenfassung der Hauptergebnisse

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden erstmals Datensätze aus einer speziell entwickelten Datenbank der Augenklinik der LMU (SMEYEDAT DB) im Rahmen eines Operations Research mit discrete event simulation kombiniert.

Es gelang dabei, Computermodelle für zwei von drei untersuchten Ambulanzen (Allgemeinambulanz und Makulasprechstunde) mit Hilfe von manuellen Zeitmessungen und Metadaten aus der SMEYEDAT DB zu validieren, um mit diesen in Hinblick auf eine Optimierung der Terminvergabe zu experimentieren. Eine Reduktion der durchschnittlichen Gesamtaufenthaltsdauer der Patienten konnte in den Simulationsmodellen in den beiden Ambulanzen in der Theorie erreicht werden. Zusätzlich erfolgte die Implementierung eines optimierten Terminmodells für die Allgemeinambulanz im klinischen Alltag. Nach Auswertung der Metadaten ein Jahr nach erfolgter Umstellung der Terminvergabe zeigte sich eine Reduktion der durchschnittlichen Gesamtaufenthaltsdauer der Patienten im klinischen Alltag um 46 Minuten.

4.2 Ursachen für eine lange Wartezeit und Gesamtaufenthaltsdauer

Fetter et al. beschreiben in ihrer Studie *Patients' Waiting Time and Doctors' Idle Time in the Outpatient Setting* mindestens sieben Faktoren, die die Wartezeit und damit die Gesamtaufenthaltsdauer von Patienten in Ambulanzen beeinflussen. Hierzu zählen sie als besonders signifikante Ursachen das Einbestellwesen der Patienten (die Terminplanung), die Pünktlichkeit der Patienten, die Behandlungszeit pro Patient und die Unterbrechung der Behandlung aufgrund administrativer Aufgaben. Weitere Einflussfaktoren sind Patienten, die trotz Termin nicht erscheinen („No-Show-Quote“), Patienten, die ohne Termin erscheinen, und außerdem ärztliche Pünktlichkeit [5]. Diese Faktoren kommen auch in den Ambulanzen der Augenklinik zum Tragen, wobei sich die Allgemeinambulanz und die Makulasprechstunde von der Diabetes-/Retinaambulanz dahingehend unterscheiden, dass der Anteil an Patienten ohne Termin sehr gering bzw. nicht vorhanden ist. Nicht-terminierte Patienten machen eine Optimierung der Terminvergabe aufgrund der Unberechenbarkeit des

Patientenaufkommens nur schwer möglich. Es gibt unzählige Ursachen für ein fluktuierendes Patientenaufkommen (u. a. das Wetter, Volksfeste, Jahreszeiten oder Influenzaepidemien) [55-57], die in dieser Arbeit jedoch nicht untersucht und mit einbezogen wurden.

Die Behandlungszeit pro Patient ist abhängig vom Erfahrungsstand des Arztes und von der Komplexität der gestellten Diagnose bzw. der daraus eventuell resultierenden benötigten Zusatzuntersuchungen wie z. B. einer erweiterten Bildgebung [58, 59]. Da die Augenklinik der LMU ein Universitätsklinikum ist, spielen die in Kapitel [1.1](#) bereits erwähnten Besonderheiten (Lehre und Forschung, ggf. komplexere Diagnosen der Patienten etc.), die das Universitätsklinikum von nicht-universitären Häusern unterscheidet und die hinsichtlich der Behandlungsdauer pro Patient berücksichtigt werden müssen, im Rahmen dieser Arbeit eine entscheidende Rolle.

Wichtig für einen schnellen und problemlosen Ablauf sind zudem klar definierte Strukturen und die optimale Auslastung der zur Verfügung stehenden Ressourcen. Dazu zählen neben den Räumlichkeiten der Ambulanzen, die auf den Patientenfluss ausgelegt sein sollten, u. a. auch ausreichende personelle Kapazitäten sowie ein funktionierendes Dienstplanmodell, um die einbestellten Patienten adäquat behandeln zu können und damit auch die Gesamtaufenthaltsdauer zu minimieren [60, 61].

Die Unpünktlichkeit von Patienten und daraus resultierende Folgen wurden bereits in Kapitel [1.2](#) beschrieben.

Die Terminplanung als weiterer wichtiger Faktor in Hinblick auf die Gesamtaufenthaltsdauer wurde in Kapitel [1.4](#) behandelt.

Um das Ziel einer optimierten Terminvergabe in Krankenhäusern oder Praxen erreichen zu können, sollten neben den geeigneten Werkzeugen zur Durchführung stets die Mitarbeiter (Ärzte, Pfleger etc.) mit in den Optimierungsprozess einbezogen werden [30]. Durch die rege Teilnahme der Pfleger, MTAs und Ärzte, vor allem der Allgemeinambulanz, konnte hier letztendlich ein optimiertes Terminmodell erstellt und implementiert werden.

4.3 Kritische Diskussion des Operations Research

Mit Hilfe des OR konnte die Komplexität der untersuchten Ambulanzen in die vereinfachte Form eines Simulationsmodells übertragen werden. Dadurch dass das Personal mit in den Prozess der Optimierung einbezogen wurde, entstand mitunter ein reger Austausch in Hinsicht auf den realen Ist-Zustand innerhalb der Ambulanzen und mögliche Verbesserungsvorschläge.

Der OR konnte somit ein strukturiertes Vorgehen im Vorfeld der Simulationsstudie sicherstellen. Zudem konnte durch das Einbeziehen des Personals in dieser frühen Phase des Optimierungsprozesses auch im weiteren Verlauf, v. a. im Rahmen einer Validation der späteren Simulationsmodelle, erneut auf die Unterstützung der Mitarbeiter zurückgegriffen werden.

4.4 Kritische Diskussion der DES als Methode

Mittels DES konnten zwei der drei untersuchten Ambulanzen modelliert und validiert werden. Eine Validation in mehreren Schritten sollte dabei sicherstellen, dass die generierten Daten der Simulationsmodelle möglichst exakte Ergebnisse auf die zuvor definierte Fragestellung lieferten.

Die Basis zur Festlegung der Zielvariablen (GSAD) sowie zur Erstellung und Validation der Simulationsmodelle bildeten die extrahierten Daten aus der SMEYEDAT DB.

Ein Hauptargument für die Verwendung der DES als Werkzeug für die Optimierung der Terminvergabe war, dass das Testen verschiedener Terminmodelle in der Theorie mittels Simulationsmodellen möglich war und es dabei nicht zu Interferenzen mit den Abläufen im klinischen Alltag kam.

Ein weiterer Vorteil der DES als Instrument zur Entscheidungsfindung einer optimierten Terminvergabe war die dynamische Komponente. Die stochastischen Prozesszeiten, die manuell gemessen wurden (Patientenanmeldung, Arzt-Untersuchungen, Durchführung einer OCT-Untersuchung), konnten mittels der Analysesoftware ExpertFit vereinfacht in die Simulationsmodelle von FlexSim integriert und die komplexen Abläufe innerhalb der Ambulanz aufgrund der objektbasierten Simulation visualisiert werden. Dadurch konnten auch Außenstehende am Prozess der Modellierung des Computermodells partizipieren.

Eine Schwierigkeit bestand darin, die Balance zwischen Simplifizierung und Komplexität im Rahmen der Erstellung des Simulationsmodells zu berücksichtigen. Je detailreicher ein Modell erstellt wird, umso mehr spiegelt es die Realität wider. Durch große Komplexität und Detailreichtum wächst jedoch auch die Gefahr, Fehler einzubauen und den Ablauf der Simulation zu verfälschen [31, 38, 48, 49].

Ein Beispiel für eine Simplifizierung des Simulationsmodells in Hinsicht auf eine größere Praktikabilität ist die bereits angesprochene Vereinfachung des Modells auf ein Stockwerk im Gegensatz zur realen Situation in der Augenklinik, in der sich das Augendiagnostikzentrum im 1. Stock befindet und über eine Treppe bzw. einen Fahrstuhl erreichbar ist. Auf dieses Detail wurde bewusst verzichtet in der Annahme, dass die zurückgelegte Wegstrecke der Patienten in Bezug auf die GSAD keine relevante Auswirkung hat. Dies wurde in den zuvor durchgeführten Analysen beim Erstellen des Flussdiagramms sowie bei der Auswertung der Metadaten ersichtlich. Im Modell legte der simulierte Patient zwar ebenfalls eine zuvor definierte Wegstrecke zurück, um in das Augendiagnostikzentrum zu gelangen, jedoch wurde dabei nicht berücksichtigt, ob diese Zeitdauer im Durchschnitt der Realität entspricht. Die relevanten Engpässe im Patientenfluss, d. h. die Wartezeiten in den einzelnen Wartezimmern, konnten mittels der SMEYEDAT Daten und später im Simulationsmodell dargestellt werden. Inwieweit die vorgenommene Simplifizierung jedoch Auswirkung auf die durch das Simulationsmodell gewonnenen Daten hatte bzw. ob sie zu einer Verzerrung der Datensätze führte, kann retrospektiv nicht beantwortet werden.

Es werden in den publizierten Arbeiten zum Thema DES von Shannon und Banks zwar gewisse Grundsätze zur Erstellung von Simulationsmodellen erarbeitet [34, 43], häufig war es in der Praxis jedoch notwendig, im Rahmen des Modellierungsprozesses über ein Trial-and-Error-Prinzip zum erwünschten Ziel zu gelangen. Dabei spielten auch Faktoren, die nicht in „Grundsatzregeln“ zur Erstellung von Simulationsmodellen erfasst sind, wie Vorstellungsvermögen, das Vermögen zu abstrahieren sowie Kreativität eine entscheidende Rolle. So beschreibt Shannon in seiner Arbeit *Introduction to the art and science of simulation* die DES treffend als eine Kunst und Wissenschaft zugleich [43].

Ziel war es daher, stets ein Gleichgewicht zwischen Detailreichtum und Funktionalität des Simulationsmodelles zu erreichen.

Anhand der Simulationsmodelle hätten noch viele weitere Fragestellungen in der Theorie erläutert werden können. Dies zeigten z. B. die Szenarien, in denen beim Experimentieren die Anzahl der Assistenzärzte oder Oberärzte geändert wurde. Neben der Wartezeit und der Optimierung der personellen Ressourcen gibt es weitere Möglichkeiten, die DES im medizinischen Bereich einzusetzen. Ein mögliches Beispiel wären Modelle zur Darstellung und Prognose des Fortschreitens oder der Ausbreitung von bestimmten Krankheitsbildern [62].

4.5 Kritische Diskussion von Big Data/ SMEYEDAT

Die extrahierten Metadaten aus der SMEYEDAT DB konnten in dieser Arbeit erfolgreich genutzt werden, um im Rahmen einer Simulationsstudie mögliche Optimierungsvorschläge für eine Terminvergabe zu generieren.

Ein neuer Ansatz dieser wissenschaftlichen Arbeit war die Verknüpfung aus Datensätzen der SMEYEDAT DB mit den bereits bestehenden Möglichkeiten der DES. In anderen Forschungsarbeiten zu Simulationsstudien wurden die Quelle für die genutzten Daten zur Erstellung der Modelle oft nur unzureichend oder gar nicht beschrieben [48, 63, 64]. Zudem fand häufig keine oder nur eine mangelnde kritische Auseinandersetzung mit den verwendeten Daten statt.

Der Vorteil von Big Data im Gegensatz zu z. B. einer rein manuellen Sammlung von Daten ist dabei die Möglichkeit, auf ein enorm großes Patientenkollektiv zurückgreifen zu können. Dies trifft nicht nur auf die Zielvariable (GSAD) zu, sondern auch auf die einzelnen Bewegungszeiten, die extrahiert wurden, um das Modell zu erstellen.

Ein Problem stellte die Qualitätskontrolle der aus großen Datenbanken gewonnenen Datenmengen dar. Durch das Zusammenführen können „redundante Datenfelder oder eine mangelnde Konkordanz der Daten“ [42] entstehen. Die Daten mussten unter Kenntnis der Programmierung der Datenbank aus verschiedenen Datensätzen extrahiert werden. So konnte ein sinnvoller Datenfundus zu bestimmten Fragestellungen zusammengestellt werden.

In den Datensätzen aus der SMEYEDAT DB gab es viele Ausreißer innerhalb der Daten, für die noch nicht alle Ursachen nachvollzogen werden konnten. Zum Beispiel wurde die Zielvariable (GSAD) festgesetzt durch den Zeitpunkt der

Anlage des Arztbriefs beim ersten Patientenkontakt bis zum Fertigstellen und Abspeichern des Arztbriefs beim letzten Patientenkontakt. Innerhalb der Datenbank wurden möglicherweise die Daten des Abspeicherns nach dem letzten Patientenkontakt überschrieben, wenn dieser am Folgetag erneut bearbeitet wurde. Die signifikante Anzahl an Ausreißern innerhalb der Datensätze und die damit einhergehende Entfernung von Daten im Rahmen der Datenaufbereitung können möglicherweise zu einer Verzerrung hinsichtlich der Zielvariablen geführt haben. Letztendlich ging dies einher mit einer Unsicherheit bei der Nutzbarmachung der verwendeten Daten, da deren Reliabilität und Validität kritisch hinterfragt werden muss.

In der Literatur gibt es keine genauen Regelungen in Hinsicht auf den Prozess der Datenaufbereitung. Hamrock et al. beschreiben in ihrer Arbeit zwar, dass im Rahmen der Datenaufbereitung 2,5 % der Daten ober- und unterhalb der 95 % Population gelöscht werden, es fehlt jedoch eine Begründung für dieses Vorgehen [38]. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden mit Hilfe der Prozessanalyse unrealistische Zeiten (z. B. Entlassungen weit außerhalb der Sprechstundenzeiten, Gesamtaufenthaltsdauern < 20 Minuten) aus den Datensätzen entfernt. Dieser Prozess basierte jedoch auf der Erfahrung der Mitarbeiter in Hinsicht auf die zeitlichen Abläufe innerhalb der Ambulanzen und ist somit nicht übertragbar auf andere Simulationsstudien.

4.6 Kritische Diskussion der Ergebnisse und Aussicht

Da die DES nie die exakte Realität widerspiegelt, kann sie nur als Werkzeug zur Entscheidungsfindung bei spezifischen Fragestellungen verstanden werden. Dies zeigte z. B. die Diskrepanz aus generierten Patienten innerhalb des Simulationsmodells der Allgemeinambulanz im Vergleich zur realen Ist-Situation (18 Patienten durchlaufen das Simulationsmodell am Tag, mehr als 25 Patienten durchlaufen im klinischen Alltag die Ambulanz). Die Auswertung der Metadaten ein Jahr nach Implementierung eines neuen Terminmodells in der Allgemeinambulanz zeigte eine Reduktion der durchschnittlichen Gesamtaufenthaltsdauer der Patienten um 46 Minuten (durchschnittliche GSAD der Patienten 183 Minuten). Das Szenario, welches als Basis für die Optimierung

diente, generierte eine durchschnittliche GSAD von 153 Minuten. Auch hier zeigte sich eine Diskrepanz zwischen simulierten Daten und Metadaten.

Beim Umgang mit den Metadaten des optimierten Terminmodells vor und nach der Implementierung wurden identische Kriterien angewendet (Extraktion der Datensätze aus der SMEYEDAT DB, Prozess der Datenaufbereitung). Eine Implementierung fand vorerst nur in der Allgemeinambulanz statt, da hier die größte Notwendigkeit sowie das stärkste Potential in Hinsicht auf eine optimierte Terminvergabe gesehen wurde. Zudem bestand ein reger Austausch mit den leitenden Oberärzten der Ambulanz in Hinblick auf die Entwicklung eines optimierten Terminmodells für den klinischen Alltag.

In Hinsicht auf die Terminvergabe der Makulasprechstunde, für die ebenfalls ein validiertes Simulationsmodell sowie Optimierungsvorschläge für das Einbestellwesen in der Theorie erarbeitet wurden, erfolgte bisher keine Implementierung. Hier bestünde die Möglichkeit, im Rahmen weiterer wissenschaftlicher Arbeiten eine Studie zur Patienten-/ Mitarbeiterzufriedenheit, z. B. mit Hilfe validierter Fragebögen vor und nach einer Umstellung der Terminvergabe durchzuführen. Dabei könnte eine mögliche Korrelation zwischen Patienten-/ Mitarbeiterzufriedenheit und der Gesamtaufenthaltsdauer der Patienten in der Ambulanz untersucht werden.

Die genauen Ursachen dafür, dass eine Validation für die Retinaambulanz nicht gelang, konnten im Verlauf nicht eindeutig geklärt werden. Das angefertigte Simulationsmodell gestaltete sich in Hinsicht auf Räumlichkeiten und Ressourcen ähnlich zu dem Modell der Allgemeinambulanz. Mögliche Ursachen für ein Misslingen könnten dabei Unterschiede in den Arbeitsabläufen oder der Besetzung (z. B. mehr Fachärzte, Ärzte mit längerer Berufserfahrung, anderes Patientenkollektiv) innerhalb der Ambulanz sein, die nicht genau vom programmierten Simulationsmodell erfasst bzw. umgesetzt werden konnten. Zusätzlich gab es in der Retinaambulanz Patienten ohne Termin, was die Umsetzung in ein Simulationsmodell noch komplexer und damit anfälliger für Fehler gestaltete.

Big Data in Form einer elektronischen Patientenakte bzw. elektronischen Gesundheitsakten und daraus gezielt extrahierte Informationen könnten in Zukunft nicht nur neue Möglichkeiten in Bezug auf Patientensicherheit, Therapieentscheidungen und Effizienz bei der Patientenversorgung bereitstellen,

sondern auch vermehrt im Rahmen des Operations Research innerhalb von Kliniken und Praxen genutzt werden.

Dabei sind die Möglichkeiten, mit den Daten der SMEYEDAT DB zu arbeiten, vielfältig in Hinblick auf weitere wissenschaftliche Projekte und Auswertungen [65]. Als Beispiel könnten aus der SMEYEDAT DB Daten zu Patientenstoßzeiten in Abhängigkeit von bestimmten Jahreszeiten oder Volksfesten extrahiert werden. Daraus könnte dann z. B. ein vermehrter Bedarf an Ressourcen (Ärzten, Pflegern etc.) antizipiert werden.

Krumholz beschreibt in seiner Arbeit *Big Data And New Knowledge In Medicine: The Thinking, Training, And Tools Needed For A Learning Health System*, dass es in Zukunft weiterhin neuer Datenquellen, neuer Denkansätze, Training und passender Werkzeuge bedarf, um Big Data in der medizinischen Forschung und im Gesundheitssystem im Allgemeinen besser nutzbar machen zu können [66]. Die Vernetzung von Big Data und Operations Research bzw. DES im Rahmen dieser wissenschaftlichen Arbeit gestaltete sich aufgrund der Komplexität und Unberechenbarkeit der Abläufe in Krankenhäusern und Praxen im Gegensatz zu z. B. Abläufen in der Produktion und Logistik als diffizil. Das Sammeln der relevanten Daten sowie das Erstellen eines funktionierenden Modells waren zeitaufwendige Prozesse. Der Kosten-Nutzen-Faktor müsste im Einzelfall abgewogen werden, wobei es genügend Potential zur Optimierung mit Hilfe des Operations Research in vielen Bereichen der einzelnen Kliniken und Praxen gäbe. Das Projekt SMEYEDAT mit seinem Datenpool für den Fachbereich der Augenheilkunde ist ein wichtiger Schritt in Hinsicht auf die o. g. Möglichkeiten, mit Big Data auch erfolgreich in der Zukunft zu arbeiten.

5 Zusammenfassung

Big Data spielt eine immer größer werdende Rolle im Rahmen von wissenschaftlichen Arbeiten innerhalb des Gesundheitssystems durch die fortschreitende Sammlung und Vernetzung von großen Datenmengen.

In dieser Arbeit wurde mittels Datensätzen aus der Smart-Eye-Data Datenbank (SMEYEDAT DB), eine von der Augenklinik der LMU München entwickelte Datenbank, eine Simulationsstudie innerhalb der Ambulanzen der Augenklinik zur Optimierung des Terminvergabesystems durchgeführt.

Durch Auswertung der SMEYEDAT-Daten und durch Gespräche mit dem Personal der untersuchten Ambulanzen zeigte sich eine hohe durchschnittliche Gesamtaufenthaltsdauer der Patienten als die zu minimierende Zielvariable.

Mit Hilfe des Programms FlexSim, einer Software für discrete event simulation, wurden Modelle der untersuchten Ambulanzen erstellt. Zwei dieser drei Modelle konnten validiert und somit als Entscheidungshilfe für eine Optimierung der Terminvergabe genutzt werden.

Ein optimiertes Terminmodell für die Allgemeinambulanz wurde im Jahr 2016 im klinischen Alltag implementiert. Die erneute Auswertung der SMEYEDAT-Daten ein Jahr nach Umstellung des Terminvergabesystems erbrachte eine Reduktion der durchschnittlichen Gesamtaufenthaltsdauer der Patienten um 46 Minuten.

6 Literaturverzeichnis

1. Werners, B., *Grundlagen des Operations Research. Mit Aufgaben und Lösungen*. 3., überarb. Aufl. 2013 ed. 2013, Berlin, Heidelberg: Springer Gabler. 418 S.
2. Eiselt, H.A. and C.-L. Sandblom, *Operations Research, a model-based approach*. 2. ed. ed. 2012, Berlin [u.a.]: Springer. XIII,446 S.
3. Guthmann, S. *Geschichte der Augenlinik*. [Web page] 2008 [cited 19.06.2017]; Available from: <http://www.klinikum.uni-muenchen.de/Augenklinik-und-Poliklinik/de/Klinik/Geschichte/index.html>.
4. Duncan, M., et al., *Outpatients: can we save time and reduce waiting lists?* Br Med J (Clin Res Ed), 1988. **296**(6631): p. 1247-8.
5. Fetter, R.B. and J.D. Thompson, *Patients' Waiting Time and Doctors' Idle Time in the Outpatient Setting*. Health Services Research, 1966. **1**(1): p. 66-90.
6. Brahim, M. and D.J. Worthington, *Queueing Models for Out-Patient Appointment Systems -- A Case Study*. The Journal of the Operational Research Society, 1991. **42**(9): p. 733-746.
7. Lehane, B., S.A. Clarke, and R.J. Paul, *A case of an intervention in an outpatients department*. Journal of the Operational Research Society, 1999. **50**(9): p. 877-891.
8. Norman, T.J.B., *A Study of Queues and Appointment Systems in Hospital Out-Patient Departments, with Special Reference to Waiting-Times*. Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological), 1952. **14**(2): p. 185-199.
9. Levesque, J., et al., *Improving patient satisfaction with time spent in an orthopedic outpatient clinic*. Can J Surg, 2000. **43**(6): p. 431-6.
10. Anderson, R.T., F.T. Camacho, and R. Balkrishnan, *Willing to wait?: the influence of patient wait time on satisfaction with primary care*. BMC Health Serv Res, 2007. **7**: p. 31.
11. Blender, R. and C. Maxey, *Are your patients patiently waiting? What to do about patient wait times*. The Journal of medical practice management: MPM, 1999. **16**(2): p. 66-69.
12. Booth, A.J., et al., *Waiting times and patient satisfaction in the accident and emergency department*. Archives of Emergency Medicine, 1992. **9**(2): p. 162-168.
13. Eilers, G.M., *Improving patient satisfaction with waiting time*. J Am Coll Health, 2004. **53**(1): p. 41-3.
14. McMullen, M. and P.A. Netland, *Wait time as a driver of overall patient satisfaction in an ophthalmology clinic*. Clin Ophthalmol, 2013. **7**: p. 1655-60.
15. O'Neill, S., et al., *Improving outpatient access and patient experiences in academic ambulatory care*. Acad Med, 2012. **87**(2): p. 194-9.

16. Prentice, J.C., M.L. Davies, and S.D. Pizer, *Which outpatient wait-time measures are related to patient satisfaction?* Am J Med Qual, 2014. **29**(3): p. 227-35.
17. Babes, M. and G.V. Sarma, *Out-Patient Queues at the Ibn-Rochd Health Centre*. The Journal of the Operational Research Society, 1991. **42**(10): p. 845-855.
18. Rockart, J.F. and P.B. Hofmann, *Physician and Patient Behavior under Different Scheduling Systems in a Hospital Outpatient Department*. Medical Care, 1969. **7**(6): p. 463-470.
19. Meza, J.P., *Patient waiting times in a physician's office*. The American journal of managed care, 1998. **4**(5): p. 703-712.
20. Emmert, M., et al., *Physician choice making and characteristics associated with using physician-rating websites: cross-sectional study*. J Med Internet Res, 2013. **15**(8): p. e187.
21. Rischer, R., et al. *Arztbewertungen - Patientenerfahrungen sind für Public Reporting im ambulanten Sektor zentral*. [Web page] 2017 [cited 06.06.2019]; Available from: https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/VV_SpotGes_Arztbewertung_dt_web.pdf.
22. Goldsmith, J., *The hospital as we know it is too costly, too unwieldy, and too inflexible to survive. A radical prescription for hospitals*. Harv Bus Rev, 1989. **67**(3): p. 104-11.
23. Welch, J.D. and N.T. Bailey, *Appointment systems in hospital outpatient departments*. Lancet, 1952. **1**(6718): p. 1105-8.
24. Santibáñez, P., et al., *Reducing patient wait times and improving resource utilization at British Columbia Cancer Agency's ambulatory care unit through simulation*. Health Care Management Science, 2009. **12**(4): p. 392-407.
25. Lowes, R., *Smarter scheduling puts you in control*. Med Econ, 2008. **85**(2): p. 50-2, 54, 56-7.
26. Cayirli, T. and E. Veral, *OUTPATIENT SCHEDULING IN HEALTH CARE: A REVIEW OF LITERATURE*. Production & Operations Management, 2003. **12**(4): p. 519-549.
27. Zhu, Z., B.H. Heng, and K.L. Teow, *Analysis of factors causing long patient waiting time and clinic overtime in outpatient clinics*. J Med Syst, 2012. **36**(2): p. 707-13.
28. Aharonson-Daniel, L., R.J. Paul, and A.J. Hedley, *Management of queues in out-patient departments: the use of computer simulation*. J Manag Med, 1996. **10**(6): p. 50-8, 3.
29. Rising, E.J., R. Baron, and B. Averill, *A Systems Analysis of a University-Health-Service Outpatient Clinic*. Operations Research, 1973. **21**(5): p. 1030-1047.

30. Cayirli, T., E. Veral, and H. Rosen, *Designing appointment scheduling systems for ambulatory care services*. Health Care Management Science, 2006. **9**(1): p. 47-58.
31. Harper, P.R. and H.M. Gamlin, *Reduced outpatient waiting times with improved appointment scheduling: a simulation modelling approach*. OR Spectrum, 2003. **25**(2): p. 207-222.
32. Klassen, K.J. and T.R. Rohleder, *Scheduling outpatient appointments in a dynamic environment*. Journal of Operations Management, 1996. **14**(2): p. 83-101.
33. Soriano, A., *Comparison of Two Scheduling Systems*. Operations Research, 1966. **14**(3): p. 388-397.
34. Banks, J., *Handbook of simulation*. 1998: Wiley Online Library.
35. Bouncken, R.B., *Dienstleistungsmanagement im Krankenhaus I. Prozesse, Produktivität und Diversität*. 2013, Wiesbaden: Springer Gabler. 450 S. .
36. Elkhuizen, S.G., et al., *Using computer simulation to reduce access time for outpatient departments*. Quality and Safety in Health Care, 2007. **16**(5): p. 382-386.
37. Biles, W.E. and S.T. Wilson. *Animated graphics and computer simulation*. in *Proceedings of the 19th conference on Winter simulation*. 1987. ACM.
38. Hamrock, E., et al., *Discrete event simulation for healthcare organizations: a tool for decision making*. J Healthc Manag, 2013. **58**(2): p. 110-24; discussion 124-5.
39. Roberts, S.D., *Tutorial on the simulation of healthcare systems*, in *Proceedings of the Winter Simulation Conference*. 2011, Winter Simulation Conference: Phoenix, Arizona. p. 1408-1419.
40. Bouncken, R.B. and M.A. Pfannstiel, *Dienstleistungsmanagement im Krankenhaus II, Prozesse, Produktivität, Diversität*. 2014, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. 545 S.
41. Kortüm, K., et al., „*Smart eye data*“. Der Ophthalmologe, 2016. **113**(6): p. 469-477.
42. Nasseh, D., et al., *SMEYEDAT (Smart-Eye-Data): Zusammenführung und Nutzbarmachung ophthalmologischer Daten*, in *GMDS 2015: 60. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie e. V.* 2015: Krefeld.
43. Shannon, R.E. *Introduction to the art and science of simulation*. in *Proceedings of the 30th conference on Winter simulation*. 1998. IEEE Computer Society Press.
44. Papenhoff, M. and F. Schmitz, *BWL für Mediziner im Krankenhaus, Zusammenhänge verstehen - erfolgreich argumentieren*. 2., Aufl. ed. 2013, Berlin [u.a.]: Springer. 170 S.

45. Nordgren, W.B., *Flexible simulation (Flexsim) software: Flexsim simulation environment*, in *Proceedings of the 35th conference on Winter simulation: driving innovation*. 2003, Winter Simulation Conference: New Orleans, Louisiana. p. 197-200.
46. Pan, C., et al., *Patient flow improvement for an ophthalmic specialist outpatient clinic with aid of discrete event simulation and design of experiment*. Health Care Manag Sci, 2015. **18**(2): p. 137-55.
47. Sargent, R.G. *Validation and verification of simulation models*. in *Simulation Conference, 2004. Proceedings of the 2004 Winter*. 2004. IEEE.
48. Benneyan, J.C., *An introduction to using computer simulation in healthcare: patient wait case study*. J Soc Health Syst, 1997. **5**(3): p. 1-15.
49. Swisher, J.R., et al., *Modeling and analyzing a physician clinic environment using discrete-event (visual) simulation*. Computers & Operations Research, 2001. **28**(2): p. 105-125.
50. Hansen, A.B., et al., *Model simulation of the patient flow through a screening centre for diabetic retinopathy*. Acta Ophthalmol Scand, 2005. **83**(6): p. 678-86.
51. Leal, F., et al., *A practical guide for operational validation of discrete simulation models*. Pesquisa Operacional, 2011. **31**: p. 57-77.
52. Montgomery D.C., et al., *Applied Statistics and Probability for Engineers*. Vol. 6. Auflage. 2013, New York: John Wiley & Sons, Inc.
53. Loeser, S.C., *Modellierung und Prozessoptimierung der Organisationsstruktur in der orthopädischen Poliklinik*, ed. S. Fuchs. 2006: Philipps-Universität Marburg.
54. Minitab LLC. *Der zentrale Grenzwertsatz: Die Mittelwerte von großen Zufallsstichproben sind ungefähr normalverteilt*. [Web page] 2019 [cited 06.06.2019]; Available from: <https://support.minitab.com/de-de/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/data-concepts/about-the-central-limit-theorem/>.
55. Grumbach, K., D. Keane, and A. Bindman, *Primary care and public emergency department overcrowding*. Am J Public Health, 1993. **83**(3): p. 372-8.
56. Afilalo, J., et al., *Nonurgent emergency department patient characteristics and barriers to primary care*. Acad Emerg Med, 2004. **11**(12): p. 1302-10.
57. Howard, M.S., et al., *Patients' perspective on choosing the emergency department for nonurgent medical care: a qualitative study exploring one reason for overcrowding*. J Emerg Nurs, 2005. **31**(5): p. 429-35.
58. Polevoi, S.K., J.V. Quinn, and N.R. Kramer, *Factors associated with patients who leave without being seen*. Acad Emerg Med, 2005. **12**(3): p. 232-6.
59. Davis, B., et al., *Factors affecting ED length-of-stay in surgical critical care patients*. Am J Emerg Med, 1995. **13**(5): p. 495-500.

60. Jacobson, S., S. Hall, and J. Swisher, *Discrete-Event Simulation of Health Care Systems*, in *Patient Flow: Reducing Delay in Healthcare Delivery*, R. Hall, Editor. 2006, Springer US. p. 211-252.
61. Schneider, S.M., et al., *Emergency department crowding: a point in time*. *Ann Emerg Med*, 2003. **42**(2): p. 167-72.
62. Gunal, M.M. and M. Pidd, *Discrete event simulation for performance modelling in health care: a review of the literature*. *J of Sim*, 2010. **4**(1): p. 42-51.
63. Connelly, L.G. and A.E. Bair, *Discrete event simulation of emergency department activity: a platform for system-level operations research*. *Acad Emerg Med*, 2004. **11**(11): p. 1177-85.
64. Reynolds, J., et al., *Design and analysis of a health care clinic for homeless people using simulations*. *Int J Health Care Qual Assur*, 2010. **23**(6): p. 607-20.
65. Augenlinik der LMU. *Big Data in der Augenheilkunde*. [Web page] [cited 17.02.2019]; Available from: <http://www.klinikum.uni-muenchen.de/Augenklinik-und-Poliklinik/de/forschung/IT/index.html>.
66. Krumholz, H.M., *Big data and new knowledge in medicine: the thinking, training, and tools needed for a learning health system*. *Health affairs (Project Hope)*, 2014. **33**(7): p. 1163-1170.

7 Curriculum Vitae

8 Danksagung

Meine Danksagung gilt zunächst meinem Doktorvater Priv. Doz. Dr. med. Karsten Kortüm, der diese Arbeit erst möglich machte und mir während des kompletten Prozesses – von der Erarbeitung des Themas bis zum Fertigstellen dieser Doktorarbeit – stets mit zielführenden Gesprächen, kritischer Begleitung und zeitnahen Korrekturen zur Seite stand.

Weiterer Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. Wolfgang J. Mayer für die initiale Annahme des Themas.

Den Mitarbeitern der Augenklinik, vor allem in den untersuchten Ambulanzen, danke ich für die rege Partizipation im Rahmen der Prozessanalyse sowie beim Erstellen und Verifizieren der Simulationsmodelle.

Ich danke Herrn Dipl.-Math. Alexander Babenko und Herrn Dr. rer. nat. Michael Müller für die Hilfestellung bei Fragen bezüglich der Datenbank SMEYDAT.

Ein ganz besonderer Dank geht an meine Eltern, die mir das Studium der Medizin ermöglichten, und an Liza für ihre stetige Unterstützung und ihr Verständnis in allen Lebenslagen.

9 Eidesstattliche Versicherung

Ich, André König, erkläre hiermit an Eides statt,
dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

Optimierung der Terminvergabe ambulanter Patienten eines Universitätsklinikums mittels Simulation und Big Data

selbstständig verfasst, mich außer der angegeben keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

München, 17.02.2020

André König

Ort, Datum

Unterschrift Doktorand