

*Mathematische Optimierung der Sterilgutversorgung
in medizinischen Einrichtungen
unter Berücksichtigung von Einweg- und Mehrweginstrumenten*

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der
Wirtschaftswissenschaften (Dr. oec.)

**Fakultät Wirtschafts- und Sozialwissenschaften
Universität Hohenheim**

Institut für Health Care and Public Management

vorgelegt von
Rebecca Madeleine Hummel
aus Stuttgart

2021

Datum der mündlichen Prüfung:

5. November 2021

Erstgutachter:

Prof. Dr. Christian Ernst

Zweitgutachter:

Prof. Dr. Alfonso Sousa-Poza

Vorsitzender der Prüfungskommission:

Prof. Dr. Markus Voeth

Dekan:

Prof. Dr. Karsten Hadwich

Danksagung

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Ökonomik und Management sozialer Dienstleistungen am Institut für Healthcare und Public Management der Universität Hohenheim. Die Erstellung dieser Dissertation wurde von vielen verschiedenen Personen begleitet, denen ich in den nächsten Abschnitten danken möchte.

Zuallererst möchte ich natürlich meinem Doktorvater Prof. Dr. Christian Ernst danken, der mir diese Promotion erst ermöglicht hat. Insbesondere danke ich ihm für die immer sehr angenehme Arbeitsatmosphäre an seinem Lehrstuhl, seine hilfreichen Korrekturen und wertvollen Anregungen sowie für sein Vertrauen in meine Wahl des zugebenerweise recht speziellen Themas. Herrn Prof. Dr. Sousa-Poza danke ich für die freundliche Übernahme des Zweitgutachtens und Herrn Prof. Dr. Voeth für die angenehme Leitung der Disputation.

Bei allen, mit denen ich am Institut für Healthcare und Public Management zusammenarbeiten durfte, bedanke ich mich für die gute Kollegialität und nette Gemeinschaft. Insbesondere bedanke ich mich bei meinen ehemaligen KollegInnen Martin Richter, Gerda Lexa, Steffen Otterbach, Vanessa Schoch, Tanja Wollensak, Katharina Seck, Daniela Henne und Lena Dick, denen ich eine sehr schöne Zeit am Institut für Healthcare und Public Management und darüber hinaus zu verdanken habe.

Ich danke meiner Familie für ihre uneingeschränkte und auch ausdauernde Unterstützung in jeder Hinsicht, auch bei der Korrektur der für sie nicht immer besonders fesselnden Lektüre. Ich danke außerdem all meinen Freunden, dass sie mich mit angenehmer Ablenkung unterstützt haben. Silvie danke ich für ihre Geduld, ihr Verständnis und dass sie mir immer den Rücken freigehalten sowie mich mit gutem Essen und Unterhaltung versorgt hat. Ivan möchte ich dafür danken, dass er nicht nachgelassen hat, mich zur Fertigstellung dieser Arbeit anzutreiben. Damit sowie mit seiner scharfsinnigen Korrektur, als jederzeit bereitwilliger Diskussionspartner und als Unterstützung in jeder Hinsicht hat er einen wesentlichen Beitrag zum erfolgreichen Abschluss geleistet.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----|
| Abbildungsverzeichnis | IV |
| Tabellenverzeichnis | V |
| Abkürzungsverzeichnis | VI |
| Symbolverzeichnis..... | VII |
| Abstract..... | 1 |
| 1 Einleitung | 2 |
| 1.1 Relevanz des Themas..... | 2 |
| 1.2 Ziel, Fragestellung und Forschungsbeitrag der Arbeit | 4 |
| 1.3 Aufbau der Arbeit | 5 |
| 2 Kennzeichnung der Versorgung mit sterilen chirurgischen Instrumenten | 7 |
| 2.1 Die Versorgung mit sterilen chirurgischen Instrumenten in der Prozessperspektive .. | 7 |
| 2.2 Definition und Kategorisierung steriler chirurgischer Instrumente | 8 |
| 2.3 Beschreibung des Versorgungsprozesses | 11 |
| 2.3.1 Versorgungsprozess von Mehrweginstrumenten | 12 |
| 2.3.2 Die Verwendung von Sieben für Mehrweginstrumente | 17 |
| 2.3.3 Versorgungsprozess von Einweginstrumenten..... | 20 |
| 2.4 Weitere Differenzierung der Abgrenzung zwischen Einweg- und Mehrweginstrumenten | 22 |
| 3 Ziele und Zielerreichung in der Sterilgutversorgung | 31 |
| 3.1 Betriebswirtschaftliche Grundlagen zu Zielen und Zielsystemen | 31 |
| 3.2 Ziele eines Krankenhauses..... | 32 |
| 3.2.1 Qualität als Oberziel | 33 |
| 3.2.2 Wirtschaftlichkeit als Oberziel | 34 |
| 3.2.3 Zielsystem eines Krankenhauses auf Ebene der Oberziele | 35 |
| 3.3 Ziele der Sterilgutversorgung | 36 |
| 3.3.1 Qualität in der Sterilgutversorgung | 37 |
| 3.3.2 Wirtschaftlichkeit in der Sterilgutversorgung | 39 |
| 3.3.3 Zielsystem der Sterilgutversorgung..... | 43 |
| 4 Ableitung des Optimierungsbedarfs aus dem Status quo der Zielerreichung | 46 |
| 4.1 Systematische Literaturrecherche zu Kennzahlen zur Beurteilung des Sterilgutversorgungsprozesses..... | 46 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 4.1.1 | Ausgewählte Kennzahlen zur Abbildung der Oberziele der Sterilgutversorgung | 53 |
| 4.1.2 | Zwischenfälle im OP-Ablauf..... | 55 |
| 4.1.3 | Nutzungsgrad..... | 62 |
| 4.2 | Defizite in der Sterilgutversorgung..... | 69 |
| 4.3 | Begründung des Optimierungsbedarfs..... | 72 |
| 4.4 | Systematische Literaturrecherche zu Optimierungsansätzen für die Sterilgutversorgung..... | 74 |
| 5 | Entwicklung des Einweg-Mehrweg-Sieboptimierungsproblems (EMSOP)..... | 80 |
| 5.1 | Erstes Teilproblem: die Sieboptimierung | 80 |
| 5.1.1 | Problemdefinition | 80 |
| 5.1.2 | Lösungsansatz..... | 82 |
| 5.1.3 | Relevante Literatur | 85 |
| 5.2 | Zweites Teilproblem: die Einweg-Mehrweg-Entscheidung..... | 89 |
| 5.2.1 | Problemdefinition | 89 |
| 5.2.2 | Lösungsansatz..... | 91 |
| 5.2.3 | Relevante Literatur | 95 |
| 5.3 | Simultane Optimierung der Teilprobleme | 101 |
| 5.3.1 | Notwendigkeit und Potential | 101 |
| 5.3.2 | Problemdefinition | 105 |
| 6 | Entwurf eines mathematischen Modells für das EMSOP | 107 |
| 6.1 | Einführung zur mathematischen Optimierung..... | 107 |
| 6.2 | Vorüberlegungen zu den Inputparametern..... | 109 |
| 6.2.1 | Vorgabe und Deckung des Bedarfs | 109 |
| 6.2.2 | Ressourcen..... | 111 |
| 6.2.3 | Kostenberechnung | 116 |
| 6.3 | Erarbeitung der Modellinhalte | 119 |
| 6.3.1 | Zuordnung zu Zielfunktion und Nebenbedingungen | 119 |
| 6.3.2 | Bestimmung der Modellkomponenten | 121 |
| 7 | Beschreibung des mathematischen Modells für das EMSOP | 126 |
| 7.1 | Bestandteile des mathematischen Modells | 126 |
| 7.1.1 | Definition der Mengen und Indizes | 126 |
| 7.1.2 | Definition der Entscheidungsvariablen | 127 |
| 7.1.3 | Definition der Parameter und Konstanten | 129 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 7.1.4 | Definition der Siebtypen und der Werte des Parameters G_{is} | 131 |
| 7.2 | Modell..... | 137 |
| 7.3 | Beschreibung der Zielfunktion | 138 |
| 7.4 | Beschreibung der Nebenbedingungen | 139 |
| 7.5 | Klassifizierung und Lösungsverfahren | 148 |
| 8 | Fallstudie zur Umsetzung und Vorteilhaftigkeit des EMSOPs | 151 |
| 8.1 | Untersuchungsdesign und Vorgehensweise..... | 151 |
| 8.2 | Input-Daten | 154 |
| 8.3 | Durchführung und Ergebnisse | 157 |
| 8.4 | Vergleich und Diskussion der Ergebnisse | 163 |
| 9 | Zusammenfassung | 170 |
| 10 | Abschließende Betrachtung und Ausblick | 175 |
| | Literaturverzeichnis | 178 |
| | Anhang 1: Auszug Praxisdaten | 194 |
| | Anhang 2: Beispiel Rohdaten | 195 |
| | Anhang 3: JAVA-Code des Algorithmus zur Bestimmung der Siebtypen und des Parameters G_{is} | 196 |
| | Anhang 4: JAVA Output für den Algorithmus zur Bestimmung der Siebtypen und des Parameters G_{is} | 197 |
| | Anhang 5: Modellvariante für Optimierungssoftware..... | 198 |
| | Anhang 6: Gegenüberstellung der Einweg- und Mehrwegkosten..... | 199 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Abb. 1: Entwicklung der Gesundheitsausgaben..... | 2 |
| Abb. 2: Hauptprozess <i>Chirurgische Behandlung</i> mit Hilfsprozess <i>Sterilgutversorgung</i> | 8 |
| Abb. 3: Aufbereitungskreislauf für Mehrweginstrumente. | 14 |
| Abb. 4: Osteosynthese-Sieb..... | 18 |
| Abb. 5: Verwendung von Sieben..... | 19 |
| Abb. 6: Aufbereitungskreislauf für Einweginstrumente..... | 21 |
| Abb. 7: Beziehungen zwischen den Zielen Qualität und Wirtschaftlichkeit..... | 35 |
| Abb. 8: Zielsystem der Sterilgutversorgung..... | 43 |
| Abb. 9: PRISMA Flow Diagramm der systematischen Literaturrecherche nach Studie zu Kennzahlen zur Beurteilung der Zielerreichung..... | 49 |
| Abb. 10: PRISMA Flow Diagramm der systematischen Literaturrecherche nach Studien zu Zwischenfällen im OP-Ablauf..... | 57 |
| Abb. 11: Mögliche Gründe für die Nichtnutzung eines Instruments. | 62 |
| Abb. 12: Ableitung des Optimierungsbedarfs. | 73 |
| Abb. 13: PRISMA Flow Diagramm der systematischen Literaturrecherche nach Studien zu Optimierungsansätzen..... | 77 |
| Abb. 14: PRISMA Flow Diagramm der systematischen Literaturrecherche nach Studien zur Einweg-Mehrweg-Entscheidung. | 97 |
| Abb. 15: Zyklische Interdependenzen zwischen den Teilproblemen..... | 102 |
| Abb. 16: Zuordnung der Kostenziele zu Zielfunktion und Nebenbedingungen..... | 121 |
| Abb. 17: Beispiel zur Generierung der Siebtypen..... | 133 |
| Abb. 18: Beispiel zum Algorithmus zur Reduktion der Komplexität bei der Bestimmung der Werte des Parameters G_{is} | 135 |
| Abb. 19: Ausschnitt einer Instrumentenliste. | 155 |
| Abb. 20: Ergebnisprotokoll der Software Gams für das Fallbeispiel gelöst als EMSOP. | 158 |
| Abb. 21: Ergebnisprotokoll der Software Gams für die Sieboptimierung des Fallbeispiels nach der Einweg-Mehrweg-Entscheidung..... | 162 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|-----|
| Tab. 1: Einstufung von Medizinprodukten nach KRINKO..... | 10 |
| Tab. 2: Einordnung der Bereitstellungsvarianten in die Einweg-Mehrweg-Systematik..... | 26 |
| Tab. 3: Studien zu Kennzahlen zur Beurteilung der Zielerreichung..... | 50 |
| Tab. 4: Zuordnung der Kennzahlen zur Beurteilung der Zielerreichung zu den Oberzielen...51 | |
| Tab. 5: Studien zu Zwischenfällen im OP-Ablauf..... | 58 |
| Tab. 6: Studien zu Nutzungsgraden und Höhe der Nutzungsgrade..... | 65 |
| Tab. 7: Studien zu Optimierungsansätzen für den Sterilgutversorgungsprozess..... | 78 |
| Tab. 8: Studien zu Optimierungsansätzen zur Erhöhung des Nutzungsgrads..... | 79 |
| Tab. 9: Wirkung von drei extremen Gruppierungsansätzen auf die Zielgrößen..... | 82 |
| Tab. 10: Wirkung von drei extremen Gruppierungsansätzen auf die Unterzielgrößen..... | 84 |
| Tab. 11: Studien zum Sieboptimierungsproblem..... | 86 |
| Tab. 12: Auswirkung der Einweg-Mehrweg-Entscheidung auf die Zielgrößen..... | 94 |
| Tab. 13: Studien zur Einweg-Mehrweg-Entscheidung..... | 97 |
| Tab. 14: Verfügbarkeit der Ressourcen..... | 114 |
| Tab. 15: Definition der Kostentreiber..... | 116 |
| Tab. 16: Modellierung der Qualitätsziele in den Nebenbedingungen..... | 123 |
| Tab. 17: Modellierung der Kostenziele in der Zielfunktion..... | 124 |
| Tab. 18: Modellierung der Ressourcenbeschränkungen in den Nebenbedingungen..... | 125 |
| Tab. 19: Definition der Variablen für die Zielfunktion..... | 128 |
| Tab. 20: Definition der Variablen für die Nebenbedingungen..... | 129 |
| Tab. 21: Definition der Parameter..... | 130 |
| Tab. 22: Definition der Konstanten..... | 131 |
| Tab. 23: Typen von Lösungsverfahren der mathematischen Optimierung..... | 149 |
| Tab. 24: Quellen der Inputdaten..... | 157 |
| Tab. 25: Ausschnitt zur Berechnung der Kosten der Mehrwegbereitstellung in Excel..... | 160 |
| Tab. 26: Ausschnitt zur Gegenüberstellung von Einweg- und Mehrwegkosten in Excel..... | 161 |
| Tab. 27: Bedarfsmatrix (N_{ie}) nach der Einweg-Mehrweg-Entscheidung..... | 161 |
| Tab. 28: Gegenüberstellung der Ergebnisse zur Lösung als EMSOP und zur Lösung mit einem sukzessiven Ansatz..... | 163 |
| Tab. 29: Ergebnisse zur Lösung des Fallbeispiels als EMSOP..... | 166 |
| Tab. 30: Ergebnisse zur Lösung der Sieboptimierung nach der Einweg-Mehrweg- Entscheidung..... | 167 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|------------|--|
| AEMP | Aufbereitungseinheit für Medizinprodukte |
| AWMF | Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften |
| BfArM | Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte |
| COEN | Compliance and Enforcement Group |
| EMSOP | Einweg-Mehrweg-Sieboptimierungsproblem |
| EWG | Europäische Wirtschaftsgemeinschaft |
| KHG | Krankenhausfinanzierungsgesetzes |
| MPBetreibV | Medizinproduktebetreiberverordnung |
| MPG | Medizinproduktegesetzes |
| RKI | Robert Koch-Institut |
| SGB | Sozialgesetzbuch |

Symbolverzeichnis

| | |
|------------|--|
| T | Menge der Tage des Planungszeitraums, Index t . |
| E | Menge der unterschiedlichen Eingriffstypen, Index e . |
| I | Menge der unterschiedlichen Instrumententypen, Index i . |
| S | Menge der unterschiedlichen Siebtypen, Index s . |
| EBT_{it} | Anzahl Einweginstrumente des Typs i , die an Tag t bereitgestellt werden. |
| MBG_i | Anzahl Mehrweginstrumente des Typs i , die insgesamt bereitgestellt werden. |
| SB_{st} | Anzahl Siebe des Siebtyps s , die an Tag t bereitgestellt werden. |
| SV_s | Anzahl Siebexemplare des Siebtyps s , die im Bestand sind. |
| MV_i | Anzahl Mehrweginstrumente des Typs i , die im Bestand sind. |
| EB_{ie} | Anzahl Einweginstrumente des Typs i , die Eingriffstyp e bereitgestellt werden. |
| MB_{ie} | Anzahl der Mehrweginstrumente des Typs i , die dem Eingriffstyp e bereitgestellt werden und zu dessen Bedarfsdeckung dienen. |
| Z_{es} | Binärvariable: 1, falls Siebtyp s für Eingriffstyps e bereitgestellt wird, 0, falls Siebtyp s nicht für Eingriffstyps e bereitgestellt wird. |
| k_{mi} | Kostensatz der Aufbereitung und Abnutzung eines Mehrweginstrumentes des Typs i . |
| k_{ei} | Kostensatz der Beschaffung und Entsorgung eines Einweginstrumentes des Typs i . |
| kk_i | Kostensatz der Kapitalkosten eines Mehrweginstrumentes des Typs i . |
| N_{ie} | Anzahl nachgefragter Instrumente des Typs i für Eingriffstyp e . |
| P_{et} | Anzahl Eingriffe des Eingriffstyp e an Tag t gemäß OP-Plan. |
| G_{is} | Anzahl Mehrweginstrumente des Typs i in Siebtyp s . |
| ks | Kostensatz der Nutzung eines Siebs. |
| ko | Kostensatz für die perioperativen Kosten eines Instruments. |
| kl | Kostensatz der Lagerung eines Siebs. |
| SK | Obergrenze für die Anzahl Instrumente in einem Sieb in Anzahl Instrumenten. |
| LK | Lagerkapazität in Anzahl Sieben. |
| MK | Maschinenkapazität in Anzahl Sieben. |

Abstract

Aufgrund des demographischen Wandels sehen sich die Gesundheitssysteme der Industrieländer konfrontiert mit Leistungsmengen- und Kostensteigerungen bei gleichzeitig hohen Qualitäts- und Versorgungsansprüchen. Effizienzsteigerungen stellen ein wichtiges – wenn nicht sogar das wichtigste – Mittel zur Bewältigung dieser Herausforderung dar. Einen Ansatzpunkt für Effizienzsteigerungen im Krankenhaus bieten Logistikprozesse, auf die bis zu 30 % der gesamten Kosten entfallen. Durch die Optimierung logistischer Prozesse können Kosteneinsparungen von bis zu 50 % erreicht werden. Insbesondere bietet die Optimierung im Bereich der Krankenhauslogistik die Möglichkeit Kosten bei gleichzeitiger Qualitätssicherung zu senken. Diese Arbeit betrachtet den logistischen Prozess der Sterilgutversorgung, der die Bereitstellung und Aufbereitung steriler chirurgischer Instrumente zur Aufgabe hat. Er ist als Hilfsprozess des OP-Prozesses sowohl aus Wirtschaftlichkeits- als auch Qualitätsgesichtspunkten von wesentlicher Bedeutung.

Ziel der Arbeit ist es, einen Optimierungsansatz für den Sterilgutversorgungsprozess zu entwickeln, der mit Hilfe eines mathematischen Modells, die Entscheidung über die Gruppierung von Mehrweginstrumenten in Siebe und die Entscheidung zwischen der Nutzung eines Einweg- oder eines Mehrweginstruments kombiniert. Durch die Kombination soll Optimierungspotential aus Synergien der interdependenten Entscheidungen erschlossen werden.

Der Forschungsbeitrag der Arbeit besteht zum einen in der Entwicklung einer neuen Problemstellung, die in der Literatur bisher noch nicht aufgegriffen wurde, in der Praxis aber von hoher Relevanz ist. Die Problemstellung wird in Form eines mathematischen Modells abgebildet und ein mathematischer Optimierungsansatz zur Lösung des Problems entwickelt. Das Optimierungsmodell wird in der Optimierungssoftware GAMS implementiert und mit dem Solver CLPEX auf ein praxisorientiertes Fallbeispiel angewendet. Zum Zweck einer effizienten Implementierung wird zudem ein Algorithmus zur Linearisierung von Modellvariablen entworfen. Anhand des Fallbeispiels kann das Einsparpotential des Optimierungsansatzes für die Frauenklinik eines Maximalversorgers auf knapp 80.000 Euro jährlich geschätzt werden.

1 Einleitung

1.1 Relevanz des Themas

Die Gesundheitssysteme der Industrieländer stehen aufgrund des demographischen Wandels vor der Herausforderung, steigende Ausgaben aufgrund zunehmender Leistungsanspruchnahme bei gleichzeitig sinkenden Einnahmen bewältigen zu müssen.¹ Zusätzlich geht der technische Fortschritt, der im medizinischen Bereich zwar auch Effizienzsteigerungen, beispielsweise durch digitale Lösungen, ermöglicht, mit höheren Kosten für aufwendigere Verfahren, Geräte und Hilfsmittel einher.²

Diese Entwicklung zeichnet sich in Deutschland bereits heute ab. Die aktuellsten Daten des Statistischen Bundesamts zu den Gesundheitsausgaben in Deutschland liegen für das Jahr 2018 vor, die ältesten für das Jahr 1992. Die Datenreihen für die Gesundheitsausgaben in Euro, für die Gesundheitsausgaben je Einwohner in Euro und für den Anteil der Gesundheitsausgaben am Bruttoinlandsprodukt (BIP) sind in Abbildung 1 in einem Diagramm jeweils als prozentuale Veränderung im Verhältnis zum Jahr 1992 dargestellt.

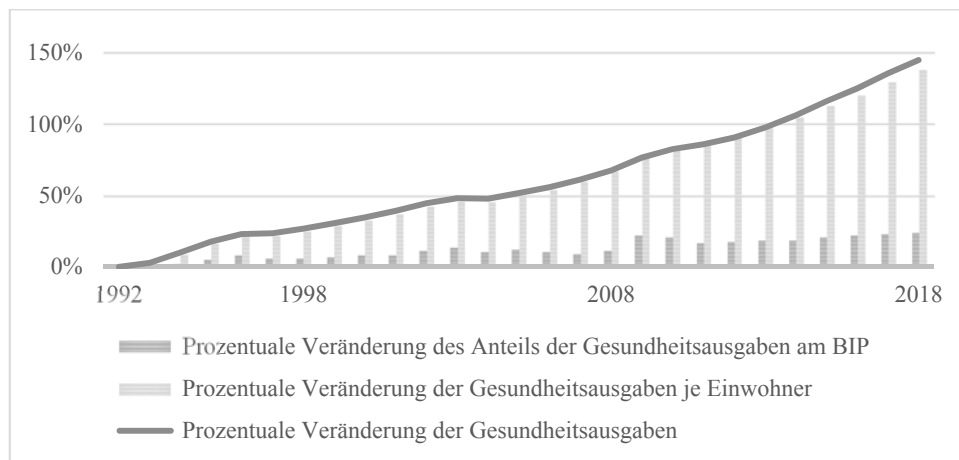


Abb. 1: Entwicklung der Gesundheitsausgaben.³

Für die Gesundheitsausgaben in absoluten Zahlen ist in den vergangenen 26 Jahren ein Anstieg von 159,5 Milliarden auf 390,6 Milliarden zu beobachten, das entspricht einem Anstieg in Höhe von 145 %.⁴

¹ Vgl. OECD (2019), S. 11 und S. 166.

² Vgl. Aptel et al. (2009), S. 1.

³ Eigene Darstellung nach Daten des Statistischen Bundesamts (Destatis) (2021) Gesundheitsausgabenrechnung - Reihe von 1992 bis 2018.

⁴ Das Statistische Bundesamt weist darauf hin, dass es sich bei den Ergebnissen um nominale Werte ohne Inflationsbereinigung handelt. Die Inflationsrate lag in diesem Zeitraum fast ausschließlich zwischen 0 und 2 %.

Der Verlauf der Gesundheitsausgaben kann als kontinuierlich steigend beschrieben werden. Der Anteil der Gesundheitsausgaben je Einwohner zeigt einen ähnlichen Verlauf, was mit der relativ konstanten Einwohnerzahl zu erklären ist. Am Verlauf der prozentualen Veränderung des Anteils der Gesundheitsausgaben am BIP wird deutlich, dass die Gesundheitsausgaben überproportional zum Wirtschaftswachstum steigen. Für das Jahr 2019 wird auf Basis bereits vorliegender und fortgeschriebener Werte ein weiterer Anstieg der Gesundheitsausgaben um 4,3 % im Vergleich zum Vorjahr auf 407,4 Milliarden Euro geschätzt.⁵

Um der Herausforderung von Leistungsmengen- und Kostensteigerungen gepaart mit dem Anspruch einer sicheren Versorgung bei hoher Qualität zu begegnen, sind Effizienzsteigerungen ein wichtiges – wenn nicht sogar das wichtigste – Mittel. Vor dem Hintergrund, dass die Kosteneinsparpotentiale im Bereich der Personalkosten als bedeutendster Kostenblock von Krankenhäusern primäres Objekt von Effizienzbestrebungen waren und entsprechend weitestgehend ausgeschöpft sind, sollten weitere Ansatzpunkte gefunden werden. Einen möglichen Ansatzpunkt im Krankenhaus stellen Logistikprozesse dar, die für bis zu 30 % der Kosten eines Krankenhauses verantwortlich sind und nach den Personalkosten den zweitgrößten Kostenblock darstellen.⁶ In den letzten beiden Jahrzehnten wurde der Optimierung im Bereich der Krankenhauslogistik mehr Aufmerksamkeit geschenkt.⁷ Verschiedene Studien kamen zu dem Ergebnis, dass durch die Optimierung logistischer Prozesse beachtliche Kosteneinsparungen von bis zu 50 % erreicht werden können.⁸ Insbesondere bietet die Optimierung im Bereich der Krankenhauslogistik die Möglichkeit Kosten ohne Qualitätseinbußen zu senken.⁹ Deshalb sind sich Praxis und Wissenschaft über das Potential zur Effizienzsteigerung, das die Optimierung der Logistikprozesse bietet, einig.¹⁰ Ein bedeutender logistischer Prozess im Krankenhaus ist die Versorgung mit chirurgischen Instrumenten. Er stellt einen Hilfsprozess des Operationsprozesses dar.¹¹ Eine Schätzung geht in Deutschland für den stationären Versorgungsbereich von einem Marktvolumen der Sterilgutversorgung in Höhe von rund 1,4 Milliarden Euro pro Jahr aus und für das gesamte wirtschaftliche Volumen der Sterilgutversorgung von 6 Milliarden Euro.¹² Die Optimierung des Prozesses bietet Kosteneinsparpotentiale hinsichtlich der laufenden Kosten für die Instrumentenversorgung sowie hinsichtlich der Kapitalkosten, denn im Instrumentenbestand

⁵ Vgl. Statistisches Bundesamt (Destatis) (2020), o. S.

⁶ Vgl. Ross/Jayaraman (2009), S. 270; Aptel et al. (2009), S. 1.

⁷ Vgl. Volland et al. (2017); Dacosta-Claro (2002), S. 70; de Vries (2011), S. 60.

⁸ Vgl. Poulin (2003), S. 2.

⁹ Vgl. Volland et al. (2017), S. 83.

¹⁰ Vgl. Feibert et al. (2019), S. 109; Volland et al. (2017), S. 83.

¹¹ Vgl. Reinecke (2015a), S. 769-770.

¹² Vgl. Mewis (2018), S. 253; Bracklo (2013), S. 730.

sind große Mengen an Kapital gebunden.¹³ Für ein durchschnittliches Krankenhaus schätzt man das in chirurgischen Instrumenten gebundene Kapital auf mehr als drei Millionen Euro, für eine durchschnittliche Universitätsklinik geht man von ca. vier Millionen Euro aus.¹⁴ Des Weiteren kann eine Optimierung der Sterilgutversorgung die Patientensicherheit erhöhen, weil Fehler im OP-Ablauf reduziert werden können. Mängel bei der Instrumentenversorgung gelten als häufigste nicht medizinische Fehlerursache im OP.¹⁵ Der Sterilgutversorgung kommt deshalb eine bedeutende Verantwortung für die Qualität des OP-Prozesses und der Patientensicherheit zu. Darüber hinaus ermöglicht eine Optimierung der Sterilgutversorgung, Ressourcen effizienter einzusetzen, um mehr PatientInnen versorgen zu können und mehr Mittel für die Hauptprozesse zur Verfügung zu haben.¹⁶

Die Bedeutung funktionierender Sterilgutprozesse wird außerdem sichtbar an den weitreichenden und langfristigen Auswirkungen aufsehenerregender Skandale in diesem Bereich.¹⁷ Als regionales Beispiel unter vielen sei der Sterilgutskandal am Universitätsklinikum Mannheim angeführt, unter dessen Folgen Reputation und Finanzen des Krankenhauses bis heute zu leiden haben und dessen juristische Aufarbeitung noch lange nicht als abgeschlossen gilt.¹⁸ Vor dem in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Hintergrund richtet diese Arbeit ihr Augenmerk auf die Optimierung des Sterilgutversorgungsprozesses in Krankenhäusern.

1.2 Ziel, Fragestellung und Forschungsbeitrag der Arbeit

Ziel der Arbeit ist es, einen Optimierungsansatz für den Sterilgutversorgungsprozess zu entwickeln, der mit Hilfe eines mathematischen Modells die Entscheidung über die Gruppierung von Mehrweginstrumenten in Siebe und die Entscheidung zwischen der Nutzung eines Einweg- oder eines Mehrweginstruments kombiniert. Durch die Kombination soll Optimierungspotential aus Synergien der interdependenten Entscheidungen erschlossen werden. Denn die Entscheidung über die Gruppierung von Mehrweginstrumenten in Siebe hat wesentlichen Einfluss auf die Entscheidung zwischen der Nutzung eines Einweg- oder eines Mehrweginstruments et vice versa. Die Fragestellung der Arbeit besteht deshalb darin, diese Interdependenzen zu begründen, in einem Modell abzubilden und einen kombinierten

¹³ Vgl. Moons et al. (2018), S. 208; Dollevoet et al. (2018), S. 1; van de Klundert et al. (2008), S. 23.

¹⁴ Vgl. Mewis (2018), S. 253; Wolter (2012), o. S.

¹⁵ Vgl. Wubben et al. (2010), S. 3.

¹⁶ Vgl. Dollevoet et al. (2018), S. 1; van de Klundert et al. (2008), S. 24.

¹⁷ Vgl. Kucera (2015), o. S.

¹⁸ Vgl. Brandt (2015, o. S.; Ärzteblatt (2016), o. S.; Brandt (2019), o. S.; Geiger/Kirsch-Mayer (2020), o. S.

Optimierungsansatz vorzuschlagen. Mit diesem Optimierungsansatz sollen die beiden Entscheidungen simultan und unter gegenseitiger Berücksichtigung gelöst werden. Die Fragestellung ist motiviert durch den klinischen Alltag, in dem Einweg- und Mehrweginstrumente als Nutzungsalternativen zur Verfügung stehen und parallel zur Anwendung kommen sowie dadurch, dass bisweilen ein großer Teil der Instrumente in einem Sieb aufbereitet werden ohne zuvor benutzt worden zu sein.

Der Forschungsbeitrag der Arbeit besteht in der Entwicklung der neuen Problemstellung, die in der Literatur bisher noch nicht bekannt, in der Praxis aber von hoher Relevanz ist. Die praktische und wissenschaftliche Relevanz wird durch die Ergebnisse einer umfassenden systematischen Literaturanalyse gezeigt. Die Problemstellung wird in Form eines mathematischen Modells abgebildet und ein mathematischer Optimierungsansatz zur Lösung des Problems entwickelt. Das Optimierungsmodell wird in der Optimierungssoftware GAMS implementiert und mit einem Solver, dem IBM CLPEX Optimizer, auf ein der Praxis entlehntes Fallbeispiel angewendet. Zum Zweck einer effizienten Implementierung wird zudem ein Algorithmus zur Linearisierung von Modellvariablen entworfen. Anhand des Fallbeispiels kann das Einsparpotential des Optimierungsansatzes für die Frauenklinik eines Maximalversorgers auf knapp 1,4 Millionen Euro jährlich geschätzt werden.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist in zehn Kapitel untergliedert. Nach der Einleitung, der Zielsetzung und dem Aufbau der Arbeit in Kapitel 1, folgt ein Kapitel zu den begrifflichen Grundlagen der Arbeit. Der Schwerpunkt liegt auf der Beschreibung der Prozesse für die Bereitstellung von chirurgischen Instrumenten sowohl für Einweg- als auch für Mehrweginstrumente. Im dritten Kapitel werden die Ziele des Sterilgutversorgungsprozesses erarbeitet und in einem Zielsystem zusammengeführt. Das Zielsystem wird im späteren Verlauf der Arbeit als Ausgangspunkt zur Ableitung eines Modells für die Optimierung der Zielerreichung herangezogen. Das vierte Kapitel dient der Identifizierung und Begründung des Optimierungsbedarfs entlang des Sterilgutversorgungsprozesses. Der Optimierungsbedarf manifestiert sich in der Divergenz zwischen den in Kapitel 3 formulierten Zielen und der tatsächlichen Zielerreichung. Sie wird dargestellt anhand systematischer Literaturrecherchen zu Kennzahlen, die die Zielerreichung der Sterilgutversorgung abbilden. Aufgrund des festgestellten Optimierungsbedarfs wird mit einer systematischen Literaturrecherche nach Optimierungsansätzen gesucht. In Kapitel 5 werden zunächst zwei der durch die Literaturanalyse identifizierten Optimierungsansätze

ausführlich vorgestellt: das Sieboptimierungsproblem und die Einweg-Mehrweg-Entscheidung. Im Anschluss wird die Zusammenführung der beiden Ansätze zu einem gemeinsamen Optimierungsproblem anhand der wechselseitigen Interdependenzen begründet. In Kapitel 6 wird die Basis für das im darauffolgenden Kapitel beschriebene Modell gelegt. Dazu werden aus den in Kapitel 3 definierten Zielen die Modellannahmen und Modellinhalte abgeleitet. In Kapitel 7 wird ein mathematisches Modell zur simultanen Optimierung der Gruppierung der Mehrweginstrumente und der Einweg-Mehrweg-Entscheidung vorgeschlagen und detailliert beschrieben. In Kapitel 8 wird der simultane Optimierungsansatz implementiert und auf ein an Praxisdaten angelehntes Fallbeispiel angewendet, um die ökonomische Vorteilhaftigkeit des simultanen Optimierungsansatzes zu demonstrieren. Dazu werden die Ergebnisse, die bei Anwendung des simultanen Optimierungsansatzes auf das Fallbeispiel resultieren, den Ergebnissen eines alternativen, nicht simultanen Ansatzes gegenübergestellt. Das Kapitel dient dazu, das in Kapitel 5 theoretisch begründete zusätzliche Optimierungspotential der simultanen Optimierung gegenüber sukzessiven Vorgehensweisen für die Daten des Fallbeispiels zu belegen. Die Arbeit endet mit einer Zusammenfassung der wesentlichen Inhalte und einer abschließenden Betrachtung zu den Grenzen der Arbeit mit Ausblick auf zukünftige Forschungsmöglichkeiten.

2 Kennzeichnung der Versorgung mit sterilen chirurgischen Instrumenten

Dieses Kapitel dient als Einführung in die Begrifflichkeiten und Prozesse der Versorgung mit sterilen chirurgischen Instrumenten im Krankenhaus. Im ersten Teilkapitel wird die Sterilgutversorgung als Hilfsprozess des OP-Prozesses in die Prozessstruktur von Krankenhäusern eingeordnet. Im zweiten Teilkapitel wird der Begriff des sterilen chirurgischen Instruments definiert und kategorisiert. Die für die Fragestellung der Arbeit relevante Kategorisierung in Einweg- und Mehrweginstrumente wird im dritten Teilkapitel ausführlich behandelt. Im vierten Teilkapitel werden die unterschiedlichen Versorgungsprozesse beschrieben und auf die Verwendung von Sieben bei der Mehrwegversorgung Bezug genommen.

2.1 Die Versorgung mit sterilen chirurgischen Instrumenten in der Prozessperspektive

Der Begriff „Sterilgutversorgung“ bezeichnet in dieser Arbeit den Prozess, der dem Zweck der bedarfsgerechten Bereitstellung von sterilen chirurgischen Instrumenten für chirurgische Eingriffe innerhalb eines Krankenhauses dient.

Als Prozess bezeichnet die DIN EN ISO 9000 Norm in Abschnitt 3.4.1 die Abfolge einzelner zusammenhängender Tätigkeiten, die Inputs in Outputs umwandeln.¹⁹ Die Abfolge dieser Tätigkeiten dient einem bestimmten Ergebnis.²⁰ Im Fall eines Krankenhauses wird als Ergebnis die ärztliche und pflegerische Hilfeleistung, sprich die Behandlung von PatientInnen, verfolgt.²¹ Entsprechend stellt die Behandlung von PatientInnen von der Aufnahme bis zur Entlassung den zentralen Prozess dar.²² Diesem Prozess arbeiten unterschiedliche Hauptprozesse und Teilprozesse zu, deren Outputs als Inputs anderer Prozesse fungieren können, und die gegebenenfalls über Vor- und Rückkopplungen schließlich in den zentralen Prozess münden.²³ Ein Hauptprozess im Krankenhaus ist der Prozess der chirurgischen Behandlung. Er kann unterteilt werden in die Teilprozesse Diagnostik, OP-Vorbereitung, Eingriff, OP-Nachbereitung und Nachsorge.²⁴ Die Teilprozesse OP-Vorbereitung, Eingriff und OP-

¹⁹ Vgl. DIN EN ISO 9000:2015-11; Allweyer (2005), S. 8.

²⁰ Vgl. Brugger-Gebhardt (2016), S. 9.

²¹ Vgl. KHG i. d. F. vom 21.7.2012, § 2.

²² Vgl. Vera/Kuntz (2007), S.178; Zapp (2008), S. 274-275, Schmidt-Rettig (2008), S. 246.

²³ Vgl. Brugger-Gebhardt (2016), S. 11-12.

²⁴ Vgl. Smits et al. (2005), S. 14; Bleyl/Heller (2008), S. 598.

Nachbereitung können zusammengefasst und mit „OP-Prozess“ bezeichnet werden. Die Versorgung mit sterilen chirurgischen Instrumenten stellt einen notwendigen vor- und nachgelagerten Hilfsprozess dar.²⁵ In Abbildung 1 ist die beschriebene Prozessstruktur dargestellt.

Zur Durchführung eines chirurgischen Eingriffs wird Material benötigt. Neben Geräten, Medikamenten oder Implantaten gehören dazu sterile Instrumente.²⁶ Die hauptsächliche Funktion der Sterilgutversorgung ist es, chirurgische Eingriffe mit den benötigten Instrumenten in qualitativ und quantitativ einwandfreiem Zustand zu versorgen.²⁷ Der Hilfsprozess der Sterilgutversorgung umfasst die Beschaffung und Entsorgung vornehmlich von Einweginstrumenten, die Aufbereitung von Mehrweginstrumenten, die bedarfsgerechte Bereitstellung für Eingriffe, sowie den Transport und die Lagerung.²⁸ Abbildung 2 dient der Veranschaulichung der beschriebenen Prozessstruktur.

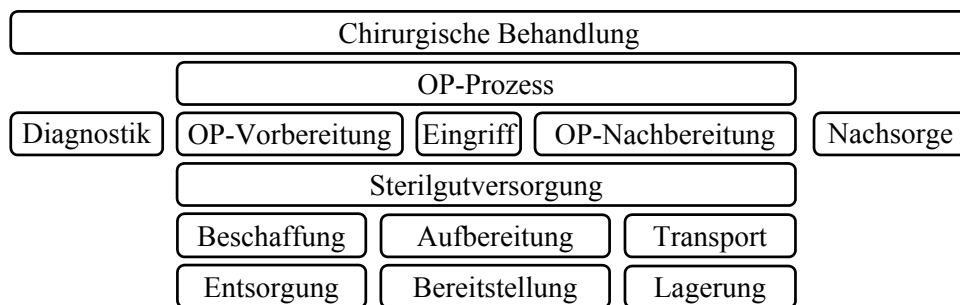


Abb. 2: Hauptprozess *Chirurgische Behandlung* mit Hilfsprozess *Sterilgutversorgung*.²⁹

2.2 Definition und Kategorisierung steriler chirurgischer Instrumente

Der Begriff der Chirurgie stellt die „Behandlung von Störungen und Veränderungen im Bereich des Organismus durch mechanische oder instrumentelle, operative Eingriffe“ dar.³⁰ Zur Durchführung operativer Eingriffe bedarf es unter anderem chirurgischer Instrumente. Chirurgische Instrumente fallen rechtlich unter den Begriff der Medizinprodukte. In § 3 Abs. 1 des Medizinproduktegesetzes (MPG)³¹ heißt es:

„Medizinprodukte sind alle einzeln oder miteinander verbunden verwendeten Instrumente, Apparate, Vorrichtungen, Software, Stoffe und Zubereitungen aus Stoffen oder andere Gegenstände [...], die vom Hersteller zur Anwendung für Menschen mittels ihrer Funktionen zum Zwecke der Erkennung, Verhütung, Überwachung, Behandlung

²⁵ Vgl. Ernst et al. (2012), S. 672; Tischer (2006), S. 248; Bender et al. (2015), S. 510.

²⁶ Vgl. Schmeck et al. (2008), S. 810.

²⁷ Vgl. Grüning (2006), S. 434.

²⁸ Vgl. Hugo et al. (2016), S. 438; Ibbotson et al. (2013), S. 1138.

²⁹ Eigene Darstellung.

³⁰ Dudenredaktion (o. J.), o.S.

³¹ MPG i. d. F. vom 23.12.2016.

oder Linderung von Krankheiten [...] zu dienen bestimmt sind und deren bestimmungsgemäße Hauptwirkung im oder am menschlichen Körper [...] „ ist.

Chirurgische Instrumente im Speziellen sind laut der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) beim Robert Koch-Institut (RKI) und dem Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM) diejenigen Medizinprodukte, die vorwiegend für den direkten Kontakt mit Gewebe, Blut, Organen oder Wunden verwendet werden.³²

Für diese Arbeit sind unter chirurgischen Instrumenten spezifische, meist zur manuellen mechanischen Anwendung während eines chirurgischen Eingriffs in einem sterilen Umfeld vorgesehene Instrumente zu verstehen.³³

Im Folgenden sollen chirurgische Instrumente nach unterschiedlichen Kriterien kategorisiert werden: nach ihrer Funktion, ihrer Komplexität, ihrer Risikoeinstufung und der Unterscheidung in Einweg- und Mehrweginstrumente.

Nach der Kategorie *Funktion* lassen sich die häufigsten chirurgischen Instrumente in vier Kategorien unterteilen:³⁴

- Instrumente zur Gewebetrennung: z. B. Skalpelle, Scheren, Sägen
- Instrumente zur Blutstillung: z. B. Klemmen, Tupfer, Abschnürschläuche
- Instrumente zur Gewebevereinerung: z. B. Nadeln, Fäden, Klammern, Führungsinstrumente
- Haltende und greifende Instrumente: z. B. Haken, Klemmen, Pinzetten, Zangen

Diese vier Kategorien erfassen jedoch bei weitem nicht alle chirurgischen Instrumente. Es existiert eine Vielzahl unterschiedlichster Spezialinstrumente für die unterschiedlichen medizinischen Disziplinen und Anwendungen, beispielsweise Fräsen und Bohrer für endoprothetische Eingriffe, sowie eine Vielzahl an Varianten eines Instruments verschiedener Größen oder Hersteller.³⁵ Nicht zuletzt ist zu erwähnen, dass der technische Fortschritt ständig zu Weiterentwicklungen, Abwandlungen und Neuheiten auf dem Instrumentenmarkt führt.³⁶

Chirurgische Instrumente lassen sich außerdem nach ihrer *Komplexität* in drei Kategorien unterteilen:

- Einteilige Instrumente: eine einzige Komponente ohne Gelenke oder Hohlräume (z. B. Haken, Pinzetten)

³² Vgl. KRINKO und BfArM (2012), S. 1247-1248.

³³ Vgl. Ibbotson et al. (2013), S. 1138.

³⁴ Vgl. Souza-Offtermatt et al. (2004), S. 32-33.

³⁵ Vgl. Hirner/Weise (2004), S. 174-175.

³⁶ Vgl. von Eiff (2006), S. 456; Farrokhi et al. (2015), S. 277; Schaer et al. (1995), S. 1813.

- Mehrteilige Instrumente: mehrere verbundene Komponenten mit maximal einem Gelenk und ohne Hohlräume (z. B. Zangen, Scheren)
- Komplexe Instrumente: mehrere verbundene Komponenten mit mehreren Gelenken und/oder Hohlräumen (z. B. Endoskope, oszillierende Säge)

Die Komplexität kann ein Hinweis auf den Aufbereitungsaufwand, die Risiken und die Kosten sein.³⁷ Diese finden Niederschlag in einer weiteren Möglichkeit chirurgische Instrumente zu kategorisieren, nämlich gemäß ihrer *Risikoeinstufung*, der sogenannten „Einstufung von Medizinprodukten“ nach KRINKO.³⁸ Nach dem Medizinproduktegesetz müssen alle Medizinprodukte in eine der unten aufgeführten Kategorien eingestuft werden. Aus der Einstufung ergeben sich Anforderungen hinsichtlich der Aufbereitung.

| Einstufung | Definition | Aufbereitungsvorgabe |
|-------------------|--|---|
| Unkritisch | Medizinprodukte, die nur mit intakter Haut in Berührung kommen. | Reinigung und Desinfektion |
| Semikritisch | Medizinprodukte, die mit Schleimhaut oder krankhaft veränderter Haut in Berührung kommen. | Bevorzugt maschinelle Reinigung und thermische Desinfektion. Ggfs. Sterilisation |
| Kritisch | Medizinprodukte, die bestimmungsgemäß die Haut oder Schleimhaut durchdringen und dabei in Kontakt mit Blut kommen bzw. an inneren Geweben oder Organen zur Anwendung kommen. | Bevorzugt maschinelle Reinigung, thermische Desinfektion. Grundsätzlich Sterilisation. |

Tab. 1: Einstufung von Medizinprodukten nach KRINKO.³⁹

Aus der Definition des Begriffs Chirurgie zu Beginn dieses Kapitels folgt, dass chirurgische Instrumente typischerweise mehrheitlich unter die Kategorie *kritisch* fallen. Instrumente dieser Einstufung müssen gemäß der Risikobewertung und Einstufung von Medizinprodukten in Tabelle 1 steril sein. Laut RKI ist unter Sterilität ein Zustand zu verstehen, „in dem Materialien, Gegenstände oder Geräte mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit [...] frei von vermehrungsfähigen bzw. infektionstüchtigen Mikroorganismen in allen ihren Entwicklungsstadien sind.“⁴⁰ Chirurgische Instrumente fallen unter den Begriff Sterilgut, der laut RKI „sterilisierte Materialien oder Gegenstände bezeichnet, die bis zur Anwendung vor Rekontamination bewahrt werden müssen“.⁴¹

³⁷ Vgl. Krohn et al. (2017), S. 86; Jeuken (2009), S. 638.

³⁸ Vgl. KRINKO und BfArM (2012), S. 1248.

³⁹ In Anlehnung an KRINKO und BfArM (2012), S. 1247.

⁴⁰ Robert Koch-Institut (2015), o. S.

⁴¹ Robert Koch-Institut (2015), o. S.

Die für chirurgische Instrumente vorgeschriebene Sterilität lässt sich auf zwei grundsätzlich unterschiedlichen Wegen sicherstellen: durch die Beschaffung bereits steriler Instrumente oder durch die Aufbereitung von mehrfach verwendbaren Instrumenten. Daraus ergibt sich eine weitere Möglichkeit chirurgische Instrumente zu kategorisieren: nämlich in Einweg- und Mehrweginstrumente. Gemeinhin sind Einweginstrumente dadurch charakterisiert, dass sie zur einmaligen Nutzung vorgesehen sind und steril beschafft werden.⁴² Im Gegensatz dazu sind Mehrweginstrumente zur Wiederverwendung vorgesehen und werden durch einen Aufbereitungsprozess, der jeder Nutzung vorausgeht bzw. folgt, in den sterilen Zustand versetzt. Mehrweginstrumente sind in der Regel aus hochwertigem rostfreiem Stahl und können über einen mehrjährigen Zeitraum genutzt werden.⁴³ Einweginstrumente sind aus Kunststoff oder Stahl und grundsätzlich zur einmaligen Nutzung vorgesehen.

Ursprünglich galten Mehrweginstrumente als Standardoption und Einweginstrumente waren lediglich für solche Anwendungszwecke vorgesehen, in denen Mehrweginstrumente nicht zur Verfügung standen oder die Sterilität nicht gewährleistet war, beispielsweise in Katastrophenfällen oder in Anwendungsgebieten mit hohen Infektionsraten und geringen Hygienestandards.⁴⁴ Wachsende Ansprüche an Infektionsschutz und Hygiene, komplexere technische Instrumente, ein hohes Innovationstempo, die wachsende Bedeutung von Haftungsrisiken sowie Wirtschaftlichkeitsbestrebungen auf Basis mitunter kurzfristiger Wirtschaftlichkeitsrechnungen haben einen Trend zu Einwegalternativen genährt.⁴⁵ Vor dem Hintergrund eines wachsenden ökologischen Bewusstseins, das mit langfristigen und auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Denk- und Rechnungsansätzen einhergeht, gewinnen Mehrweginstrumente in jüngster Zeit wieder an Attraktivität.⁴⁶

Die Unterscheidung zwischen Einweginstrumenten und Mehrweginstrumenten ist für diese Arbeit von grundlegender Bedeutung. Deshalb wird sie auf die Beschreibung des Versorgungsprozesses im nächsten Kapitel angewendet.

2.3 Beschreibung des Versorgungsprozesses

Für die Fragestellung dieser Arbeit ist entscheidend, welche Kosten im Zusammenhang mit der Verwendung eines Instruments entstehen und welche Ressourcen in Anspruch genommen

⁴² Vgl. auch im Weiteren Schmeck et al. (2008), S. 806.

⁴³ Vgl. auch im Weiteren Ibbotson et al. (2013), S. 1138.

⁴⁴ Vgl. Ibbotson et al. (2013), S. 1138.

⁴⁵ Vgl. Redaktionsnetzwerk Deutschland (2020), o.S.; Laustsen (2007), S. 718; Schmeck et al. (2008), S. 808; Campion et al. (2012), S. 191; Schaer et al. (1995), S. 1812-1813.

⁴⁶ Vgl. Ibbotson et al. (2013), S. 1138-1139; Yoon et al. (2019), S. 68.

werden. Maßgeblich bestimmt werden Kosten und Ressourcenverbrauch durch den Versorgungsprozess. Er bestimmt nicht nur, in welcher Höhe Kosten entstehen oder in welchem Ausmaß Ressourcen in Anspruch genommen werden, sondern welche Kostenarten, Kostenstellen und Ressourcen überhaupt betroffen sind. Im folgenden Kapitel sollen die Versorgungsprozesse für die beiden Instrumentenkategorien *Einweg* und *Mehrweg* vorgestellt und erläutert werden.

2.3.1 Versorgungsprozess von Mehrweginstrumenten

Die Aufbereitung chirurgischer Instrumente ist in Deutschland durch gesetzliche Vorschriften des Medizinproduktegesetzes und der Medizinproduktebetriebsverordnung, durch internationale Normen und Gesetze, durch Richtlinien und Empfehlungen der Behörden sowie durch die Herstellerangaben geregelt.⁴⁷ Das Medizinproduktegesetz aus dem Jahre 1994, das sich auf eine EU-Norm stützt und den Begriff des Medizinprodukts einführt, ist der erste Versuch die bis dahin in unterschiedlichsten Gesetzen verstreuten Vorschriften zusammenzufassen.⁴⁸ Inhalt des Gesetzes sind hauptsächlich Vorschriften zu Entwicklung, Produktion und Vertrieb von Medizinprodukten, während die Aufbereitung von Medizinprodukten nur wenig thematisiert wird. Sie wird in § 3, Nr. 14 MPG⁴⁹ folgendermaßen definiert:

„Die Aufbereitung von bestimmungsgemäß keimarm oder steril zur Anwendung kommenden Medizinprodukten ist die nach deren Inbetriebnahme zum Zwecke der erneuten Anwendung durchgeführte Reinigung, Desinfektion und Sterilisation einschließlich der damit zusammenhängenden Arbeitsschritte sowie die Prüfung und Wiederherstellung der technisch-funktionellen Sicherheit.“

Das Ergebnis des Aufbereitungsprozesses sollen gemäß § 14 Satz 2 MPG⁵⁰ Medizinprodukte sein, die keine Mängel aufweisen, durch die PatientInnen, Beschäftigte oder Dritte gefährdet werden können. Wie, in welchem Umfang oder wann die aufgeführten Schritte Reinigung, Desinfektion, Sterilisation, Prüfung und Wiederherstellung der technisch-funktionellen Sicherheit durchzuführen sind, um dieses Ergebnis zu erzielen, lässt das MPG offen.

Mit der Medizinproduktebetriebsverordnung (MPBetreibV)⁵¹, in Kraft getreten am 7. Juli 1998, sollten unter anderem die Vorgaben im Hinblick auf die Aufbereitung von Medizinprodukten konkretisiert werden. In § 4, Abs. 1 MPBetreibV werden die Ziele der Aufbereitung definiert:

⁴⁷ Vgl. Giovanettoni/Kirmse (2016), S. 49.

⁴⁸ Vgl. auch im Weiteren Lücker (2008), S. 74.

⁴⁹ MPG i.d.F. vom 21.07.2014.

⁵⁰ MPG i.d.F. vom 21.07.2014.

⁵¹ MPBetreibV i.d.F. vom 11.12.2014.

„Die Aufbereitung von bestimmungsgemäß keimarm oder steril zur Anwendung kommenden Medizinprodukten ist unter Berücksichtigung der Angaben des Herstellers mit geeigneten validierten Verfahren so durchzuführen, dass der Erfolg dieser Verfahren nachvollziehbar gewährleistet ist und die Sicherheit und Gesundheit von Patienten, Anwendern oder Dritten nicht gefährdet wird.“

Aus der Definition geht hervor, dass zur Aufbereitung eines Medizinprodukts ein validiertes Verfahren zur Anwendung kommen muss, das eine entsprechend den Herstellerangaben sachgemäße Aufbereitung sicherstellt. Herstellerangaben zur Aufbereitung chirurgischer Mehrweginstrumente sind gemäß DIN-EN-ISO 17664 verpflichtend.⁵² Die Norm schreibt des Weiteren vor, dass bei Inverkehrbringen mindestens ein validiertes Verfahren für eine maschinelle und eines für eine manuelle Reinigung und Desinfektion vorzuschlagen ist.

Die in § 4, Abs. 1 MPBetreibV formulierten Anforderungen werden in § 4, Abs. 2, Satz 1 MPBetreibV⁵³ präzisiert:

„Eine ordnungsgemäße Aufbereitung nach Absatz 1 Satz 1 wird vermutet, wenn die gemeinsame Empfehlung der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention am Robert Koch-Institut und des Bundesinstitutes für Arzneimittel und Medizinprodukte zu den Anforderungen an die Hygiene bei der Aufbereitung von Medizinprodukten beachtet wird.“

Der Aufbereitungskreislauf von Mehrweginstrumenten hat demnach den aufgeführten rechtlichen Vorgaben und den von der KRINKO definierten Empfehlungen zu entsprechen.⁵⁴

In Abbildung 3 ist der Aufbereitungskreislauf für Mehrweginstrumente dargestellt, wie ihn die gemeinsame Empfehlung der Kommission und des Bundesinstitutes empfiehlt.

⁵² Vgl. auch im Weiteren DIN EN ISO 17664:2018-04.

⁵³ MPBetreibV i.d.F. vom 11.12.2014.

⁵⁴ Vgl. KRINKO und BfArM (2012), S. 1245.

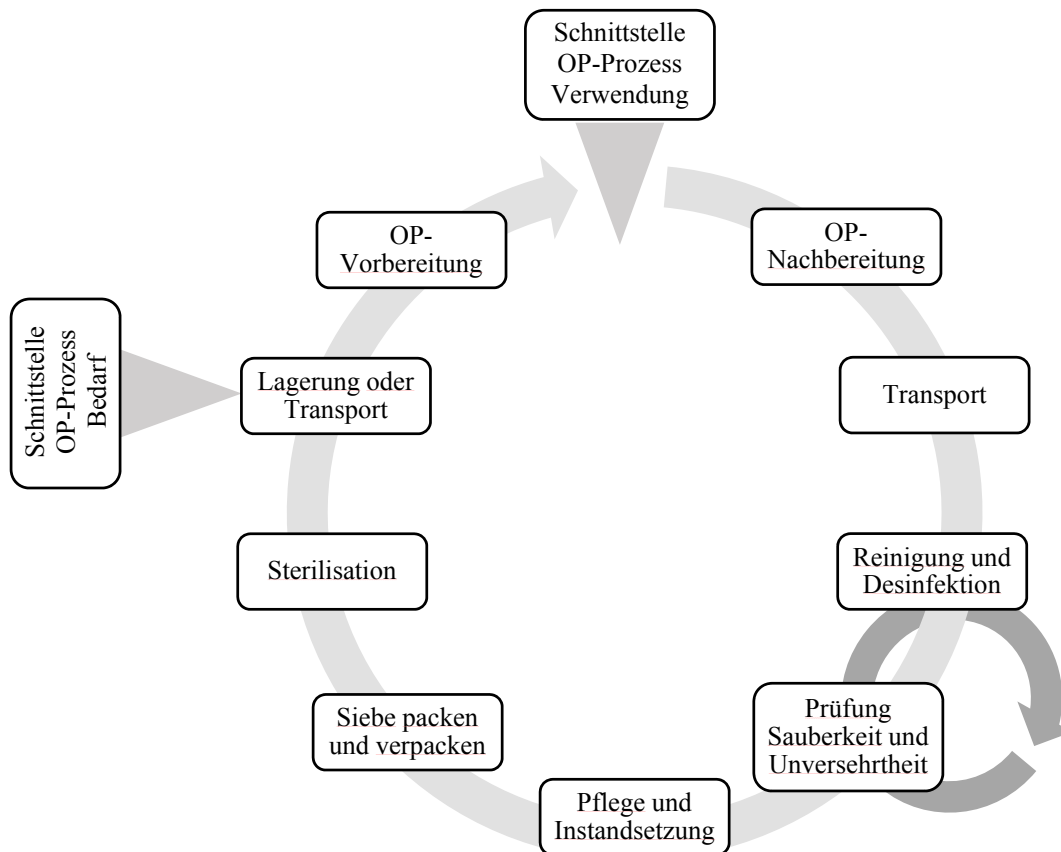


Abb. 3: Aufbereitungskreislauf für Mehrweginstrumente.⁵⁵

Im Folgenden soll der Kreislauf, anhand der Ausführungen der Empfehlung und der praktischen Erläuterungen des Handbuchs Sterilisation der Deutschen Gesellschaft für Sterilgutversorgung beschrieben werden.⁵⁶

Die Beschreibung beginnt mit der Zweckbestimmung des Instruments: der Verwendung in einem chirurgischen Eingriff. Sie stellt die Schnittstelle zum OP-Prozess dar.⁵⁷ Der Verwendung geht ein Schritt voraus, der als OP-Vorbereitung bezeichnet wird. Die OP-Vorbereitung beginnt mit der Bestellung des Instrumentenbedarfs entsprechend dem OP-Bedarf.⁵⁸ Nach Lieferung der bestellten Instrumente in Sieben werden sie von der operationstechnischen Assistenz für die ChirurgInnen ausgepackt, gezählt und für den Eingriff hergerichtet.⁵⁹

Während des Eingriffs werden die tatsächlich notwendigen Instrumente dann verwendet. Aus Sicht der Instrumentenversorgung ist jedoch nicht die tatsächliche Verwendung, sondern der

⁵⁵ Eigene Darstellung nach KRINKO und BfArM (2012), S. 1245; Giovanettoni/Kirmse (2016), S. 69-70.

⁵⁶ Vgl. KRINKO und BfArM (2012).

⁵⁷ Vgl. Bender et al. (2015), S. 508.

⁵⁸ Vgl. Diamant (2018), S. 442.

⁵⁹ Vgl. Bender et al. (2015), S. 505; Harders et al. (2006), S. 510; von Eiff (2009b), S. 676; Stockert/Langerman (2014), S. 647.

Sterilitätsverlust durch Öffnen der sterilen Siebverpackung bei der OP-Vorbereitung relevant.⁶⁰ Eine Aufbereitung vor der nächsten Verwendung ist immer dann erforderlich, wenn die Verpackung eines bestimmungsgemäß sterilen Medizinproduktes geöffnet oder beschädigt ist, auch wenn das Medizinprodukt nicht verwendet wurde. Nicht nur das Öffnen der Verpackung induziert den Aufbereitungskreislauf. Auch wenn ein steril anzuwendendes Medizinprodukt nicht bereits in diesem Zustand ausgeliefert wurde und nach Angaben des Herstellers aufzubereiten ist oder das Verfalldatum abgelaufen ist, kann dies den in Abbildung 3 dargestellten Prozess auslösen.

Nach der Verwendung des Instruments erfolgt ebenfalls noch im OP-Saal die Nachbereitung. Man spricht auch von „Entsorgung“.⁶¹ Dieser Begriff ist aber im Hinblick auf die Abgrenzung zu Einweginstrumenten irreführend und wird deshalb in dieser Arbeit nicht verwendet. Im Zuge der OP-Nachbereitung im Sterilgutprozess werden die Instrumente nach dem Eingriff sortiert, gezählt, zerlegt und für den Transport in die krankenhauserne Aufbereitungseinheit für Medizinprodukte (AEMP) verpackt.⁶² Zweck dieses Arbeitsschritts ist es, eine möglichst schnelle anschließende Reinigung in der AEMP vorzubereiten.⁶³

Zuvor müssen die Instrumente zügig und zur Vermeidung von Kontamination oder Beschädigung sicher verpackt zum Ort der Aufbereitung, der AEMP, transportiert werden.⁶⁴ In der AEMP finden zunächst Reinigung und Desinfektion statt mit anschließender Prüfung auf Sauberkeit und Unversehrtheit. Die Reinigung dient der möglichst rückstandsfreien Entfernung von organischem Material und Medikamenten und hat Einfluss auf das Ergebnis von Desinfektion und Sterilisation.⁶⁵ Denn nur saubere und keimarme Instrumente können sicher desinfiziert und sterilisiert werden.⁶⁶ Der Reinigungsvorgang beinhaltet neben dem maschinellen Vorgang optional einen manuellen Vorgang.⁶⁷ Eine manuelle Vorreinigung ist bei besonders starken Verschmutzungen, schwierig entfernbaren, schwierig erreichbaren oder angetrockneten Verunreinigungen oder ungünstigen Oberflächen notwendig.⁶⁸ Je nach gewünschter Kapazität und vorhandenem Platz in der AEMP stehen für die anschließende maschinelle Reinigung und Desinfektion verschiedenste Reinigungs- und

⁶⁰ Vgl. auch im Weiteren KRINKO und BfArM (2012), S. 1246.

⁶¹ Vgl. Frese-Meier (2015), S. 793; Giovanettoni/Kirmse (2016), S. 71.

⁶² Vgl. Schwarz et al. (2005), S.5; Stockert/Langerman (2014), S. 652-653.

⁶³ Vgl. Giovanettoni/Kirmse (2016), S. 71-72.

⁶⁴ Vgl. KRINKO und BfArM (2012), S. 1252 und 1258.

⁶⁵ Vgl. KRINKO und BfArM (2012), S. 1288; Zanette (2016), S. 293.

⁶⁶ Vgl. Carter et al. (2016), S. 200.

⁶⁷ Vgl. Giovanettoni/Kirmse (2016), S. 72-73.

⁶⁸ Vgl. Carter et al. (2016), S. 217.

Desinfektionsmaschinen zur Verfügung.⁶⁹ Je nach Herstellerangaben und Instrumenteneigenschaften sind spezielle Verfahren und/oder Reinigungsmittel zu verwenden.⁷⁰ Hierbei ist vor allem auf die Hitzebeständigkeit der Instrumente abzustellen.⁷¹ Fällt die Prüfung auf Sauberkeit im Anschluss an Reinigung und Desinfektion negativ aus, wird der Schritt der Reinigung und Desinfektion wiederholt. Es folgen die Vorgänge Pflege und Instandsetzung. Dabei werden die gereinigten Instrumente auf Abnutzungserscheinungen, Beschädigungen, Oberflächenveränderungen und Funktionstätigkeit überprüft und gegebenenfalls repariert oder ausgetauscht.⁷²

Im nächsten Schritt werden die desinfizierten und funktionsfähigen Instrumente entsprechend der vorgesehenen Siebgruppierung in Siebe gepackt. Während des darauf folgenden Sterilisationsvorgangs befinden sich die Instrumente in Sieben. Die Sterilisation erfolgt mit einem geeigneten maschinellen Verfahren durch einen Sterilisator, der entsprechenden speziellen Produktnorm genügt.⁷³ Zu den häufigsten Verfahren zählen die Dampfsterilisation, die Sterilisation mit Wasserstoffperoxid, die Niedertemperatur-Dampf-Verfahren mit Formaldehyd und die Sterilisation mit Ethylenoxid.⁷⁴ Wobei die Dampfsterilisation mit Wasserdampf aufgrund seiner ökonomischen und ökologischen Vorteilhaftigkeit, seiner Wirksamkeit und der einfachen Anwendung den anderen Verfahren grundsätzlich vorzuziehen ist.⁷⁵ Die Dampfsterilisation stellt folglich das Standardverfahren dar, von dem nur dann abgewichen wird, wenn seine Anwendung nicht möglich ist.⁷⁶ Gegen die Anwendung der Dampfsterilisation spricht in erster Linie eine nicht ausreichende Thermostabilität von Instrumenten.⁷⁷ Der Prozessschritts Sterilisation dient dazu nach der Reinigung und Desinfektion eventuell noch an den Instrumenten verbliebene mit einer mathematischen Wahrscheinlichkeit Mikroorganismen abzutöten.⁷⁸ Die Begrenzung auf die mathematische Wahrscheinlichkeit beruht auf der Sterilitätsdefinition des europäischen Arzneibuchs, in der festgeschrieben ist, dass eine Wahrscheinlichkeit von Restorganismen in Höhe von 10^{-6} toleriert wird.

⁶⁹ Vgl. Carter et al. (2016), S. 246.

⁷⁰ Vgl. Giovanettoni/Kirmse (2016), S. 73; Carter et al. (2016), S. 243.

⁷¹ Vgl. Carter et al. (2016), S. 216-217.

⁷² Vgl. Reinecke (2015b), S. 780; Giovanettoni/Kirmse (2016), S. 76 und 85; von Eiff (2009a), S. 659.

⁷³ Vgl. Denhöfer (2016), S. 296.

⁷⁴ Vgl. Zanette (2016), S. 292.

⁷⁵ Vgl. Denhöfer (2016), S. 294.

⁷⁶ Vgl. Salzbrunn (2016), S. 369.

⁷⁷ Vgl. Witte (2016), S. 322; von dem Hagen (2016), S. 343; Salzbrunn (2016), S. 386.

⁷⁸ Vgl. auch im Weiteren Zanette (2016), S. 291.

Die sterilen Instrumente und Siebe werden anschließend so verpackt und versiegelt, dass sterilisierte und nicht sterilisierte eindeutig zu unterscheiden sind und ein Verlust der Sterilität nicht unbemerkt bleiben kann.⁷⁹ Die Behältnisse sind zu beschriften mit Informationen zum Namen des Herstellers, der Produktbezeichnung, der Chargenkennzeichnung, dem Verfallsdatum, der Kennzeichnung „steril“, der Art des Sterilisationsverfahrens und, falls erforderlich, Hinweisen zu Lagerung und Handhabung sowie weiteren spezifischen Hinweisen.⁸⁰ Die Sterilisation soll eventuell noch vorhandene Mikroorganismen abtöten und die Instrumente somit wieder in den Zustand der sterilen Einsatzfähigkeit, den sie zu Beginn der Beschreibung des Kreislaufs hatten, zurückversetzen.⁸¹ Mit der Dokumentation der Freigabe der sterilen Instrumente endet der Aufbereitungsprozess in der AEMP.

Je nachdem, ob die Instrumente sofort wieder für einen Eingriff benötigt werden oder wo sie gelagert werden, folgen die Schritte Transport, Lagerung oder Transport und Lagerung.⁸² Der Kreislauf setzt sich fort, wenn über die Schnittstelle zum OP-Prozess der Bedarf an chirurgischen Instrumenten eingeht. Auf diese Weise bestimmt der übergeordnete OP-Prozess durch seinen Bedarf welche und wie viele Instrumente der Sterilgutversorgungsprozess bereitzustellen hat.

Für den gesamten Aufbereitungskreislauf gilt, dass Prozessschritte und Umfang der Aufbereitungsmaßnahmen im Detail von der Art des Instruments, der vorausgegangenen Verwendung und der folgenden Verwendung abhängen.⁸³ Da die Schritte des Aufbereitungskreislaufs aufeinander aufbauen und sich folglich gegenseitig beeinflussen, muss der gesamte Prozess nicht nur auf Zweckbestimmung, Funktion, Aufbau und Material des jeweiligen Instruments abgestimmt sein, sondern auch auf die vorausgegangenen Aufbereitungsschritte sowie die vorausgegangene und nachfolgende Anwendung.⁸⁴

2.3.2 Die Verwendung von Sieben für Mehrweginstrumente

In diesem Unterkapitel soll auf den Begriff des Siebes und die Funktion von Sieben im Sterilgutversorgungsprozess eingegangen werden. Für Gewöhnlich werden Mehrweginstrumente in sogenannten Sieben aufbewahrt, transportiert und aufbereitet.⁸⁵ Unter

⁷⁹ Vgl. Schwarz et al. (2005), S.7; Schilling et al. (2016), S. 272.

⁸⁰ Vgl. KRINKO und BfArM (2012), S. 1256-1257.

⁸¹ Vgl. KRINKO und BfArM (2012), S. 1288.

⁸² Vgl. Park/Dickerson (2009), S. 243.

⁸³ Vgl. KRINKO und BfArM (2012), S. 1245.

⁸⁴ Vgl. KRINKO und BfArM (2012), S. 1246.

⁸⁵ Vgl. Schwarz et al. (2005), S. 6; Ahmadi et al. (2018), S. 6; Reymondon et al. (2008), S. 225; Dobson et al. (2015), S. 225.

einem Sieb versteht man in diesem Zusammenhang zum einen das physische Mehrwegbehältnis, häufig einen siebartig perforierten Metallcontainer.⁸⁶ Zum anderen ist unter dem Begriff nicht nur ein Behältnis, sondern auch eine Gruppierung von Instrumenten zu verstehen, die gemeinsam den Versorgungsprozess durchlaufen.⁸⁷ Eine solche Gruppierung entspricht in der Regel dem Bedarf eines bestimmten Eingriffs oder ähnlicher Eingriffe.⁸⁸ Ein Sieb enthält demnach die für eine Art von Eingriff benötigten Mehrweginstrumente oder die für mehrere Arten von Eingriffen benötigten Mehrweginstrumente.⁸⁹ Der Bedarf eines Eingriffs kann durch ein oder mehrere Siebe unterschiedlicher Art bedient werden.⁹⁰ Das heißt der Bedarf eines Eingriffs kann durch ein oder mehrere Siebe bereitgestellt werden und ein Sieb kann den Bedarf eines oder mehrerer Arten von Eingriffen enthalten.⁹¹ Man findet in der Praxis beispielsweise häufig sogenannte Grundsiebe, die den gemeinsamen Bedarf aller oder bestimmter Eingriffe decken und sogenannte Spezial- oder Zusatzsiebe, die spezifische Instrumente für bestimmte Eingriffe enthalten.⁹² Die folgende Abbildung zeigt ein Osteosynthese-Sieb ohne Implantate. Es handelt sich um ein Spezialsieb, weil es spezielle für eine Osteosynthese notwendige Instrumente enthält.⁹³ Dazu wird beispielsweise ein Grundsieb für offene Eingriffe und Wundverschlüsse kombiniert. Werden Implantate benötigt, können in einem Zusatzsieb die Instrumente zum Einsetzen von Implantaten bereitgestellt werden.

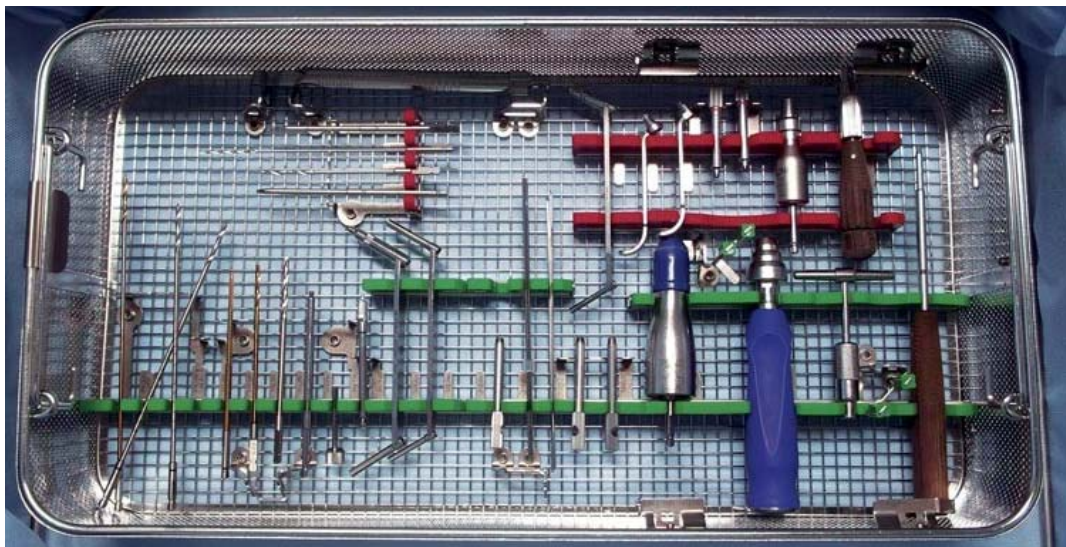


Abb. 4: Osteosynthese-Sieb.⁹⁴

⁸⁶ Vgl. Schwarz et al. (2005), S. 7.

⁸⁷ Vgl. Frese-Meier (2015); S. 797; Diamant et al. (2017), S. 439.

⁸⁸ Vgl. Diamant et al. (2017), S. 439.

⁸⁹ Vgl. Dollevoet (2018), S. 1.

⁹⁰ Vgl. Dollevoet (2018), S. 1.

⁹¹ Vgl. Ahmadi et al. (2018), S. 6.

⁹² Vgl. Frese-Meier (2015); S. 798; Jerosch/Attmanspacher (2000), S. 82.

⁹³ Vgl. Frese-Meier (2015); S. 798; Zaiss (2018), S. 244.

⁹⁴ Vgl. Zaiss (2018), S. 244.

Es gilt als allgemeiner Konsens, dass die Aufbewahrung in Sieben aus ökonomischen und qualitativen Gründen sowie unter risiko- und prozessbezogenen Aspekten vorteilhaft ist, weshalb sie flächendeckender Standard in deutschen Krankenhäusern ist.⁹⁵

Abbildung 5 zeigt in einem Wirkungsgefüge verschiedene Gründe für die Siebnutzung. Genauso wie alle anderen Strategien und Maßnahmen in einem Krankenhaus, soll auch die Verwendung von Sieben den Hauptzielen *Qualität* und *Wirtschaftlichkeit* dienen.

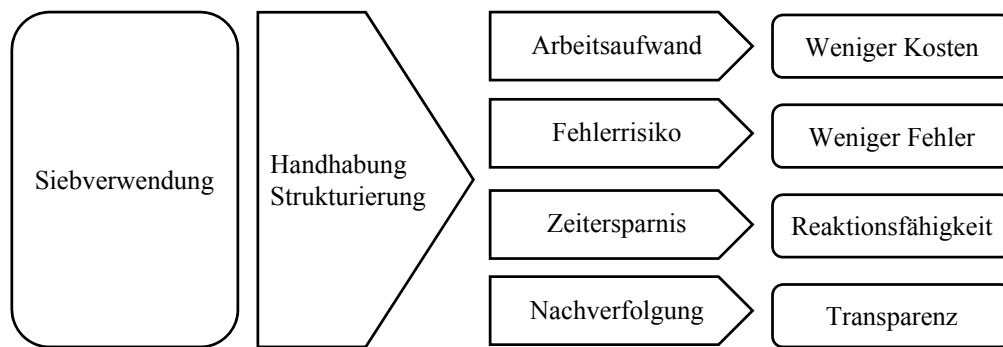


Abb. 5: Verwendung von Sieben.⁹⁶

In der ersten pfeilförmigen Form der Abbildung sind die unmittelbaren praktischen Vorzüge der Verwendung von Sieben aufgeführt: die Handhabung und die Strukturierung.⁹⁷

Die Handhabung wird durch die Nutzung von Sieben vereinfacht, da weniger einzelne Handgriffe anfallen. Das bedeutet, Prozesse werden vereinfacht, indem Teilprozesse wegfallen.⁹⁸ Entlang des gesamten Instrumentenkreislaufs können Prozesse auf diese Weise reduziert werden. Beispielsweise wird die Bestellung der Instrumente vereinfacht, wenn statt der einzelnen für einen Eingriff benötigten Instrumente, direkt ein komplettes Sieb bestellt werden kann, das alle für diesen Eingriff benötigten Instrumente enthält. Die Vorteile in der Handhabung schlagen sich zum einen in geringerem Arbeitsaufwand nieder, denn zahlreiche einzelne Instrumente werden zu einem Arbeitspaket zusammengefasst. Weniger Handgriffe verursachen unmittelbar weniger Personalaufwand und weniger Prozesse verursachen weniger Gemein- und administrative Overhead-Kosten.⁹⁹ Zum anderen bedeuten insgesamt weniger Handgriffe auch weniger potentiell falsche Handgriffe und deshalb ein geringeres Fehlerrisiko. Die Zeitersparnis durch die feste Zuordnung von Instrumenten zu Sieben und weniger notwendige Handgriffe können den Prozess der Bereitstellung beschleunigen und somit eine bessere Reaktionsfähigkeit bei Notfällen bewirken.¹⁰⁰

⁹⁵ Vgl. Ahmadi et al. (2018), S. 6; Dobson et al. (2015), S. 225; Machline (2008), S. 26.

⁹⁶ Eigene Darstellung nach Baines (2001) S. 35-38; Machline (2008) S. 26.

⁹⁷ Vgl. auch im Weiteren Baines (2001) S. 35-38; Machline (2008) S. 26.

⁹⁸ Vgl. Machline (2008), S. 26.

⁹⁹ Vgl. auch im Weiteren Machline (2008), S. 26.

¹⁰⁰ Vgl. Baines (2001), S. 34.

Mit dem Begriff „Strukturierung“, der als zweiter Punkt in der ersten pfeilförmigen Form der Abbildung 5 angeführt wird, ist in diesem Zusammenhang gemeint, dass es dem menschlichen Gehirn einfacher fällt, eine strukturierte, wiederkehrende Anordnung von Instrumenten kognitiv zu verarbeiten, als eine Menge aus einzelnen ungeordneten Instrumenten.¹⁰¹ Optimaler Weise sind die Siebstrukturen den MitarbeiterInnen der AEMP irgendwann weitestgehend bekannt. Dadurch fallen fehlende oder falsche Instrumente bei der Bedarfsbereitstellung und der Aufbereitung eher auf. Die Wahrscheinlichkeit, dass Fehler passieren oder unbemerkt bleiben, kann folglich als geringer eingestuft werden. Daneben erleichtert die Strukturierung des Instrumentenbestands in Form von Siebgruppierungen das gezielte Auffinden von Instrumenten.¹⁰² Im Hinblick auf die vielerorts angestrebte digitale Verfolgung der Instrumente ist dank der Gruppierung eine geringere Komplexität zu bewältigen.¹⁰³ Letztendlich kann die Siebverwendung einen Beitrag zu den in der letzten Spalte der Abbildung 5 aufgeführten Zielen leisten: zur Reduktion von Kosten und Fehlerrisiken sowie zur Erhöhung der Reaktionsfähigkeit und Transparenz.

2.3.3 Versorgungsprozess von Einweginstrumenten

Betrachtet für ein einzelnes Instrument, gestaltet sich der Versorgungsprozess von Einweginstrumenten im Allgemeinen folgendermaßen: das für einen Eingriff benötigte Instrument wird beschafft, benutzt und anschließend entsorgt.¹⁰⁴ Für ein einzelnes Instrument betrachtet, handelt es sich zwar um keinen Kreislauf, aus Sicht des Krankenhauses jedoch wird dieser lineare Prozess zu einem geschlossenen Kreislauf. Denn wird der Bedarf an einem sterilen chirurgischen Instrument durch ein Einweginstrument gedeckt, so wird das Instrument durch die Wiederbeschaffung eines Instruments der gleichen Sorte ersetzt.

¹⁰¹ Vgl. auch im Weiteren Machline (2008), S. 26.

¹⁰² Vgl. Machline (2008), S. 26.

¹⁰³ Vgl. Jeuken (2009), S. 637.

¹⁰⁴ Vgl. Sherman et al. (2018), S. 436; Ahmadi et al. (2018), S. 5; Campion et al. (2012), S. 193; Schaer et al. (1995), S. 1813.

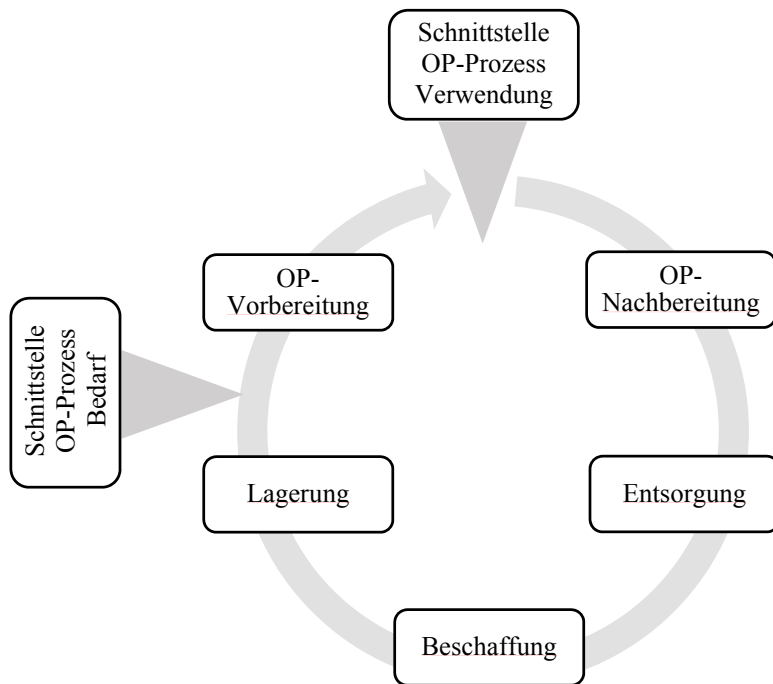


Abb. 6: Aufbereitungskreislauf für Einweginstrumente.¹⁰⁵

Im Folgenden soll der Kreislauf anhand von Abbildung 6 beschrieben werden: Wie beim Mehrweginstrumentenkreislauf beginnt die Beschreibung mit der Zweckbestimmung des Instruments als Hilfsmittel in einem chirurgischen Eingriff. Die Verwendung stellt die Schnittstelle von Sterilgutversorgungs- und OP-Prozess dar. Die Vor- und Nachbereitung im OP-Saal unterscheidet sich nur geringfügig von der im Mehrwegprozess. Im Zuge der Vorbereitung wird bei den meisten Einweginstrumenten die sterile Verpackung geöffnet, wodurch es ungeachtet der tatsächlichen Nutzung als verbraucht gilt.¹⁰⁶ Nach der Verwendung oder einem anderen Ereignis, das zur Folge hat, dass das Instrument nicht mehr verwendet werden kann, wird es dem zentralen Entsorgungsprozess des Krankenhauses und der materiellen Verwertung zugeführt.¹⁰⁷

Im nächsten Teilprozess erfolgt der Ersatz entsorgter Einweginstrumente. Die Beschaffung beinhaltet die Prozessschritte der Bestellung und Anlieferung der benötigten Instrumente.¹⁰⁸ Der Bestellbedarf resultiert aus der Bedarfsermittlung und der Bestimmung der Bestellmengen und Bestellzeitpunkte. Die Bedarfsermittlung kann auf Basis unterschiedlicher Verfahren erfolgen.¹⁰⁹ Ausgangspunkt ist in allen Fällen der OP-Bedarf.¹¹⁰ Die Bestimmung der

¹⁰⁵ Eigene Darstellung.

¹⁰⁶ Vgl. Ahmadi et al. (2018), S. 13.

¹⁰⁷ Vgl. Campion et al. (2012), S. 193; Sherman et al. (2018), S. 437; Schaer et al. (1995), S. 1813.

¹⁰⁸ Vgl. Jeuken (2009), S. 642-645.

¹⁰⁹ Vgl. Frodl (2012), S. 60.

¹¹⁰ Vgl. Frodl (2012), S. 61.

Bestellmengen und -zeitpunkte legt fest, wie der OP-Bedarf zu Bestellungen gebündelt wird.¹¹¹ Bei der Gestaltung des Beschaffungsprozesses sind die logistischen Ansprüche der hohen Lagerumschlagshäufigkeit und des relativ hohen Anteils der Logistikkosten im Verhältnis zum Wert der Instrumente zu beachten.¹¹²

Auf die Beschaffung und Lieferung der bereits steril verpackten Instrumente folgt die Lagerung im Zentrallager, im OP-Bereich oder in dessen Nähe.¹¹³ Als logistischer Ansatz für die Abwicklung des Lagers bietet sich ein modulares Versorgungssystem an, bei dem die Instrumente an vordefinierten Lagerplätzen in vordefinierten Mengen gelagert werden.¹¹⁴ Bei einem solchen System induziert eine Lagerentnahme einen Beschaffungsauftrag. Für den weiteren Verlauf des Versorgungsprozesses folgt, dass nach der Meldung des Bedarfs an einem Einweginstrument seitens des OP-Prozesses, das entsprechende Instrument aus dem Lager entnommen wird und sich der Kreislauf mit der OP-Vorbereitung fortsetzt.

2.4 Weitere Differenzierung der Abgrenzung zwischen Einweg- und Mehrweginstrumenten

Die Abgrenzung der beiden Kategorien *Einweg* und *Mehrweg* erscheint nur auf den ersten Blick so eindeutig wie für die beiden in Kapitel 2.3.1 und 2.3.3 beschriebenen „Reinformen“. Werden nämlich weitere Möglichkeiten der Gestaltung des Versorgungsprozesses einbezogen, so wird die Abgrenzung komplexer. Neben den ursprünglichen Grundformen Einweg und Mehrweg, haben sich in der Praxis unter anderem etabliert: die Aufbereitung durch externe Dienstleister, die Aufbereitung von Einweginstrumenten und Pay-Per-Use-Finanzierungskonzepte für Mehrweginstrumente.¹¹⁵ Wie sind diese Varianten in die binäre Einweg-Mehrweg-Systematik einzuordnen?

Zunächst soll die rechtliche Lage für den in hohem Maße regulierten Bereich der Medizinprodukte betrachtet werden. Von der Seite des Gesetzgebers wird im Medizinproduktegesetz keine Unterscheidung in Einweg- und Mehrweginstrumente vorgenommen.¹¹⁶ Er überlässt die Bezeichnung den Herstellern: Gemäß der Richtlinie 94/42 der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft (EWG) muss die Gebrauchsanweisung von zur Wiederverwendung vorgesehenen Produkten Angaben zur Aufbereitung und zur

¹¹¹ Vgl. Ahmadi (2018), S. 5; Frodl (2012), S. 68.

¹¹² Vgl. Kriegel (2012), S. 122.

¹¹³ Vgl. Ahmadi (2018), S. 5; Schmeck et al. (2008), S. 806; Park/Dickerson (2009), S. 243.

¹¹⁴ Vgl. Schmeck et al. (2008), S. 806.

¹¹⁵ Vgl. Thiede/Kramer (2013), S. 5-7.

¹¹⁶ Vgl. Jäkel (2016), S. 398.

Nutzungsdauer enthalten.¹¹⁷ Die Vorgabe wird konkretisiert durch DIN EN ISO 17664 und eine Guideline der Compliance and Enforcement Group (COEN), die vorschreiben, welche und wie der Hersteller Angaben zur Aufbereitung wiederverwendbarer Medizinprodukte zu machen hat.¹¹⁸ Daraus folgt, dass die Unterscheidung in Einweg- oder Mehrweginstrument durch die Herstellerangaben in Form der Produktbezeichnung festgelegt wird.¹¹⁹ Macht der Hersteller Angaben zu Wiederverwendung und Aufbereitung eines Instruments, wird es als Mehrweginstrument bezeichnet, enthält die Gebrauchsanweisung hingegen keine Angaben zur Wiederverwendung, so kann gefolgert werden, dass das Instrument als Einweginstrument vorgesehen ist.

Die Herstellerangaben und die daraus resultierende Unterscheidung in Einweg- und Mehrweginstrumente stellen nach der aktuellen Rechtsauffassung jedoch keine feste Vorgabe dar.¹²⁰ Vielmehr lässt der Gesetzgeber den Anwendern der Medizinprodukte den Freiraum, über geeignete Aufbereitungsverfahren - auch für Einweginstrumente - selbst zu entscheiden.¹²¹ Die Bedingung ist, dass das gewählte Aufbereitungsverfahren validiert und sicher ist. Viele nicht explizit als Mehrweginstrumente gekennzeichnete Instrumente können trotz fehlender Herstellerangaben sicher und wirtschaftlich aufbereitet werden.¹²² Ein möglicher Grund dafür, dass kein Aufbereitungshinweis für ein Instrument vorliegt, können fehlende Kenntnisse eines Aufbereitungsverfahrens seitens des Produzenten sein.¹²³ Die Aufbereitung und Wiederverwendung von Instrumenten, die laut Hersteller als Einweginstrumente vorgesehen sind, ist laut Medizinproduktegesetz damit zulässig.¹²⁴ Diese Aussage ist natürlich auf den Gültigkeitsbereich der deutschen Gesetzgebung beschränkt und kann je nach nationalem Recht abweichen. Aus den vorangegangenen Ausführungen folgt, dass die Einteilung der Hersteller in Einweg- und Mehrweginstrumente nicht der tatsächlichen praktischen Umsetzung entsprechen muss. Denn wird ein vom Hersteller als Einweginstrument gekennzeichnetes Instrument aufbereitet und wiederverwendet, statt nach der Verwendung entsorgt, so wird es im Zuge seiner praktischen Anwendung zu einem Mehrweginstrument.¹²⁵ Es unterscheidet sich entsprechend deutlich von Einweginstrumenten, die nach der Verwendung entsorgt werden.¹²⁶

¹¹⁷ Vgl. Richtlinie 93/42/EWG (1993).

¹¹⁸ Vgl. DIN EN ISO 17664:2018-04; COEN Working Group (2014).

¹¹⁹ Vgl. auch im Weiteren Jäkel (2016), S. 398.

¹²⁰ Vgl. Jäkel (2016), S. 404.

¹²¹ Vgl. auch im Weiteren Schneider (2002), S. 454.

¹²² Vgl. Ischinger et al. (2002), S. 897; Jäkel (2016), S. 404.

¹²³ Vgl. Bracklo (2013), S. 734.

¹²⁴ Vgl. Ischinger et al. (2002), S. 897.

¹²⁵ Vgl. Jäkel (2016), S. 404.

¹²⁶ Vgl. Schneider (2002), S. 455.

Dieser Abschnitt hat gezeigt, dass die Variante der Aufbereitung von Einweginstrumenten nicht eindeutig in die binäre Einweg-Mehrweg-Systematik einzuordnen ist, und dass auch der Rückgriff auf Gesetzgeber und Hersteller keine eindeutige Antwort auf die Frage bietet, wie die weiteren Varianten in die eingangs vorgestellte binäre Einweg-Mehrweg-Systematik einzuordnen sind.

In gegensätzlicher Art und Weise, aber ebenso wenig eindeutig, verhält es sich mit Mehrweginstrumenten, die nicht vom Krankenhaus selbst aufbereitet werden, sondern von einem Dienstleister. Der Gesetzgeber gewährt den notwendigen Freiraum, um externe Dienstleister mit der Aufbereitung von Medizinprodukten zu beauftragen.¹²⁷ Für die Auftragnehmer gilt als Bedingung, dass sie über Sachkenntnis, Voraussetzungen und erforderliche Mittel zur ordnungsgemäßen Ausführung der Aufbereitung verfügen müssen, um sie „unter Beachtung der Angaben des Herstellers mit geeigneten validierten Verfahren so durchzuführen, dass der Erfolg dieser Verfahren nachvollziehbar gewährleistet ist und die Sicherheit und Gesundheit von PatientInnen, AnwenderInnen oder Dritten nicht gefährdet wird“^{128, 129}. Ebenso wie für die Aufbereitung durch die krankenhauserne AEMP ist die Fähigkeit zur ordnungsgemäßen Aufbereitung kritischer Medizinprodukte in Form einer Zertifizierung der Einführung und Anwendung eines Qualitätsmanagementsystems nachzuweisen.¹³⁰ Ein Krankenhaus kann sich aus ökonomischen, qualitativen und haftungsrechtlichen Gründen für eine Aufbereitung durch Dienstleister entscheiden.¹³¹ Sie kann das Ergebnis des Outsourcings der AEMP oder von Teilen davon sein. Sie ist aber auch für kleinere Krankenhäuser oder Krankenhausverbände eine Option, um die Aufbereitung wirtschaftlich zu organisieren.¹³² Der Dienstleister kann ein externes Unternehmen, das Sterilisations- und Logistikleistungen anbietet, ein anderes Krankenhaus oder eine Beteiligungsgesellschaft sein.¹³³ Die externe Aufbereitung kann auch nur für bestimmte Instrumente gewählt werden, deren Aufbereitung durch die eigene Aufbereitung vergleichsweise höhere Kosten verursacht, für deren Aufbereitung nicht das notwendige Know-How oder keine eigene Zertifizierung vorliegt.¹³⁴ Denn die Zertifizierung der Aufbereitung wird jeweils für bestimmte Medizinprodukte- und Artikelgruppen ausgesprochen.

¹²⁷ Vgl. Ischinger et al. (2002), S. 896.

¹²⁸ MPBetreibV i.d.F. vom 11.12.2014, § 8, Abs. 1.

¹²⁹ Vgl. MPBetreibV i.d.F. vom 11.12.2014, § 5 und 8.

¹³⁰ Vgl. Ischinger et al. (2002), S. 896; Jäkel (2008), S. 297.

¹³¹ Vgl. Riedl (2002), S. 107; Timm (2018), S. 246.

¹³² Vgl. Kriegel (2012), S. 144.

¹³³ Vgl. Schmeck et al. (2008), S. 807.

¹³⁴ Vgl. auch im Weiteren Jäkel (2008), S. 297.

Wird die Aufbereitung chirurgischer Instrumente nicht vom Anwender selbst durchgeführt, sondern ein externer Dienstleister beauftragt, so entspricht dies aus Sicht des Anwenders weder ausschließlich einem Einweginstrument, noch einem Mehrweginstrument. Denn das Instrument wird zwar mehrmals verwendet, aber der Verwendung geht seitens des Anwenders kein Aufbereitungsprozess sondern ein logistischer Prozess voraus, wie er charakteristisch für Einweginstrumente ist. Das vom Hersteller als Mehrweginstrument deklarierte Instrument weist folglich unter diesen Gesichtspunkten ebenfalls Eigenschaften eines Einweginstrumentes auf. Wie die vorher diskutierte Variante der Wiederverwendung von Einweginstrumenten kann folglich auch die Variante der externen Aufbereitung von Mehrweginstrumenten nicht eindeutig in die binäre Einweg-Mehrweg-Systematik eingeordnet werden.

Aus den vorangegangenen Ausführungen können bereits Mehrweginstrumente, die vom Krankenhaus selbst aufbereitet werden von Mehrweginstrumenten, die von einem Dienstleister aufbereitet werden unterschieden werden, sowie Einweginstrumente, die nach der Verwendung entsorgt werden, von solchen unterschieden werden, die für eine oder mehrere weitere Verwendungen aufbereitet werden.¹³⁵ Eine weitere Unterkategorie von Mehrweginstrumenten, die in der Praxis anzutreffen ist, ist die Finanzierung von Mehrweginstrumenten über sogenannte Pay-Per-Use-Konzepte. Als Pay-Per-Use-Konzepte werden Beschaffungs- und Finanzierungskonzepte verstanden, bei denen die Kosten eines Instruments oder Instrumentensets in Form einer Bezahlung pro Nutzung anfallen.¹³⁶ Die Instrumente können verwendet werden, ohne dass sie Eigentum des Anwenders sind.¹³⁷ Es bedarf keiner Investition seitens des Anwenders und es ist folglich kein Kapital in Instrumenten gebunden. Je nach Vertragsgestaltung kann ein Pay-Per-Use-Vertrag zudem regelmäßige Wartungen und Ersatzbeschaffungen beinhalten. Mehrweginstrumente, deren Finanzierung als Pay-Per-Use abgewickelt wird, unterscheiden sich von Mehrweginstrumenten, die Eigentum des Anwenders sind, durch ihre Kostenstruktur. Die Verwendung eines Mehrweginstrumentes, die eine Aufbereitung des Instruments einschließt, verursacht unter anderem Aufbereitungskosten, Instandhaltungskosten und Reparaturkosten.¹³⁸ Es handelt sich sowohl um variable als auch um fixe Kostenanteile. Im Unterschied dazu verursacht die Verwendung eines Mehrweginstrumentes im Rahmen eines Pay-Per-Use-Vertrags ausschließlich Kosten in Form von einer Art Nutzungsgebühr, bei der es sich aus Sicht der Instrumentenverwendung um Einzelkosten handelt. Was die Abgrenzung von Einweg- und Mehrweginstrumenten gemäß der

¹³⁵ Vgl. Schneider (2002), S. 455.

¹³⁶ Vgl. Stiller (2013), o. S.

¹³⁷ Vgl. auch im Weiteren Wolter (2012), o. S.

¹³⁸ Vgl. Muscarella (2001), S. 68.

binären Einweg-Mehrweg-Systematik angeht, so können Pay-Per-Use-Instrumente aufgrund ihrer Kostenstruktur hinsichtlich der Aufbereitungskosten mit Mehrweginstrumenten gleichgesetzt werden, hinsichtlich der Beschaffungskosten jedoch können sie als Einweginstrumente interpretiert werden. Denn der Preis je Nutzung ist mit der Beschaffung eines Einweginstrumentes vergleichbar: In beiden Fällen handelt es sich um Einzelkosten im Gegensatz zu den Gemeinkosten, die im Zusammenhang mit dem Eigentum eines Mehrweginstrumentes anfallen. Daraus folgt die Erkenntnis, dass auch für die dritte Bereitstellungsvariante der Pay-Per-Use-Instrumente keine eindeutige Einordnung in die binäre Einweg-Mehrweg-Systematik gelingt.

Vor dem Hintergrund der beschriebenen Schwierigkeiten bei der eindeutigen Einordnung der unterschiedlichen Varianten der Bereitstellung von chirurgischen Instrumenten in eine binäre Einweg-Mehrweg-Systematik, wird im Folgenden eine differenziertere Abgrenzung anhand einer Tabelle vorgeschlagen.

| Einordnung nach/als | Herstellerangabe | Prozess | Kostenstruktur | Haftung | Beschaffenheit |
|--------------------------------------|-------------------------|----------------|-----------------------|----------------|-----------------------|
| Einweginstrument, einmalig verwendet | EW | EW | EW | EW | EW |
| Mehrweginstrument intern aufbereitet | MW | MW | MW | MW | MW |
| Wiederaufbereitetes Einweginstrument | EW | MW | EW+ MW | MW | EW |
| Fremdaufbereitetes Mehrweginstrument | MW | EW | EW+MW | EW | MW |
| Pay-Per-Use-Mehrweginstrument | MW | MW | EW | MW | MW |

Tab. 2: Einordnung der Bereitstellungsvarianten in die Einweg-Mehrweg-Systematik.¹³⁹

In den Spalten der Tabelle 2 sind verschiedene Kategorien zu finden, nach denen eine Abgrenzung in Einweg und Mehrweg möglich ist. Es handelt sich um die Kategorien *Herstellerangabe*, *Prozess*, *Kostenstruktur*, *Haftung* und *Beschaffenheit*. Sie wurden gewählt, da sich die Grundformen von Einweg- und Mehrweginstrumenten in deren Hinsicht wesentlich unterscheiden. Inwiefern sie sich unterscheiden, wird im Folgenden beschrieben, wobei auf die Punkte *Herstellerangabe* und *Prozess* nicht nochmal eingegangen wird, weil sie bereits in diesem und dem vorangegangenen Kapitel ausführlich besprochen wurden. Wie sich die Varianten in Bezug auf die Kriterien *Kostenstruktur*, *Haftung* und *Beschaffenheit* unterscheiden, wird unter den folgenden drei Punkten dargestellt.

¹³⁹ In Anlehnung an KRINKO und BfArM (2012), S. 1247.

- Aus den unterschiedlichen Versorgungsprozessen, die unterschiedliche Ressourcen unterschiedlich beanspruchen, folgen zwangsweise unterschiedliche Kostenstrukturen. Die Kostenstruktur von Einweg- und Mehrweginstrumenten wird in Kapitel 5.2 ausführlich thematisiert. An dieser Stelle soll deshalb zunächst nur der auffälligste Unterschied genannt werden. Dieser Unterschied besteht in der Kostenart: für Einweginstrumente fallen wertmäßig größtenteils Einzelkosten in Form der Anschaffungskosten an, wohingegen für die Verwendung von Mehrweginstrumenten als größter Kostenblock Aufbereitungskosten in Form von Gemeinkosten anfallen.¹⁴⁰
- Die möglichen haftungsrechtlichen Konsequenzen bei der Verwendung von Einweg- und Mehrweginstrumenten unterscheiden sich insofern, dass bei Verwendung von Einweginstrumenten der Hersteller der Einweginstrumente einen Teil des Haftungsrisikos für Hygienemängel zu tragen hat.¹⁴¹ Für den Anwender entfällt logischerweise bei Einweginstrumenten, die nicht aufbereitet werden, das Risiko einer mangelhaften Aufbereitung, das bei Mehrweginstrumenten besteht. Daraus kann man folgern, dass für Einweginstrumente die haftungsrechtlichen Risiken als geringer einzuschätzen sind, weil der Hersteller die Sterilität garantiert und die damit verbundenen Haftungsrisiken trägt, wohingegen für Mehrweginstrumente der Sterilisationserfolg vom Betreiber nachvollziehbar sichergestellt werden muss.¹⁴²
- Die Unterscheidung in Bezug auf die Beschaffenheit zielt nicht auf eine Bewertung, sondern unterschiedliche Merkmale ab. So weisen Einweginstrumente im Allgemeinen eine andere Material- und Verarbeitungsbeschaffenheit auf als Mehrweginstrumente.¹⁴³ Zwei wesentliche Unterschiede sind beispielsweise, dass Einweginstrumente tendenziell einfacher gefertigt sind als Mehrweginstrumente und dass Mehrweginstrumente im Gegensatz zu Einweginstrumenten Abnutzungserscheinungen aufweisen können.¹⁴⁴ In Kapitel 5.2 werden die qualitativen Unterschiede zwischen Einweg- und Mehrweginstrumenten ausführlich diskutiert.

Neben den Spalten für die Kategorien *Herstellerangabe*, *Prozess*, *Kostenstruktur*, *Haftung* und *Beschaffenheit* besteht Tabelle 2 aus den Zeilen für die in diesem Kapitel vorgestellten weiteren Varianten zwischen Einweg und Mehrweg. Die Tabelle gibt an, welche Variante hinsichtlich

¹⁴⁰ Vgl. Adler et al. (2005), S. 271; Muscarella (2001), S. 68.

¹⁴¹ Vgl. Felber/Müller (2004), S. 46; Kern/Reuter (2014), S. 785; Gaßner/Reich-Malter (2006), S. 152.

¹⁴² Vgl. KRINKO und BfArM (2012), S. 1288.

¹⁴³ Vgl. Fengler et al. (2000), S. 391; Schaer et al. (1995), S. 1813; Demoulin et al. (1996), S. 524; Apelgren et al. (1993), S. 33; Yung et al. (2010), S. 517; Manatakis/Georgopoulos (2014), S. 3.

¹⁴⁴ Vgl. Schaer et al. (1995), S. 1813; Demoulin et al. (1996), S. 524; Apelgren et al. (1993), S. 33; Yung et al. (2010), S. 517; Manatakis/Georgopoulos (2014), S. 3; Fengler et al. (2000), S. 391.

welcher Kategorie Eigenschaften eines Einweg- oder eines Mehrweginstrumentes in Reinform aufweist. Die Zuordnung als Einweginstrument ist in der Tabelle gekennzeichnet mit „EW“, wenn die Eigenschaften der Reinform eines Einweginstrumentes entsprechen, das steril beschafft und einmalig verwendet wird, oder mit „MW“, wenn die Eigenschaften der Reinform eines Mehrweginstrumentes, das in der hauseigenen AEMP aufbereitet wird, entsprechen.

Unter den folgenden Punkten wird die Zuordnung in Tabelle 2 beschrieben.

- Die Einordnung einmalig verwendeter Einweginstrumente und intern aufbereiteter Mehrweginstrumente ist erwartungsgemäß eindeutig und für alle Kategorien übereinstimmend: Erstere weisen in jeder Hinsicht Eigenschaften der Grundform Einweg, zweitere der Grundform Mehrweg auf.
- Wiederaufbereitete Einweginstrumente sind nach Herstellerangaben als Einweginstrument deklariert. Da sie jedoch aufbereitet und wiederverwendet werden und die Aufbereitung den gleichen Standards zu genügen hat wie die Aufbereitung von Mehrweginstrumenten¹⁴⁵, folgt der Versorgungsprozess einem ähnlichen Prozess wie bei Mehrweginstrumenten.¹⁴⁶ Entsprechend weist die Kostenstruktur, trotz der in der Regel deutlich geringeren Anschaffungskosten und Nutzungsdauern von Einweginstrumenten, auch Ähnlichkeiten mit der Kostenstruktur von Mehrweginstrumenten auf. Abgesehen von der ersten Verwendung, in der die Sterilität durch den Hersteller garantiert ist, weist das aufbereitete Instrument haftungsrechtlich Eigenschaften eines Mehrweginstrumentes auf.¹⁴⁷ Die Beschaffenheit entspricht der eines Einweginstrumentes, wobei unter Umständen mit Abnutzungserscheinungen durch die mehrmalige Verwendung zu rechnen ist.¹⁴⁸
- Fremdaufbereitete Mehrweginstrumente weisen hinsichtlich der Herstellerangaben und der Beschaffenheit des Instruments Eigenschaften von Mehrweginstrumenten auf, denn sie werden als solche erworben und verwendet. Aus Sicht des Versorgungsprozesses und des Haftungsrechts erfolgt die Zuordnung zu Einweginstrumenten. Begründet wird diese Zuordnung für den Versorgungsprozess damit, dass der Prozess seitens des Anwenders größtenteils in der logistischen Aufgabe der Abgabe und Annahme der verwendeten und aufbereiteten Instrumente besteht. Diese Prozesse sind mit dem Prozess von Einweginstrumenten zu vergleichen. Für die haftungsrechtliche Einordnung lautet die Begründung, dass die Haftungsrisiken der Aufbereitung beim

¹⁴⁵ Vgl. Jäkel (2016), S. 404.

¹⁴⁶ Vgl. Diamant et al. (2017), S. 440.

¹⁴⁷ Vgl. Ischinger et al. (2002), S. 891.

¹⁴⁸ Vgl. Luther (2014), S. 22; Siu et al. (2017), S. 31; Stockert/Langerman (2014), S. 652.

Dienstleister liegen und wie bei den Einweginstrumenten nicht vom Anwender zu tragen sind.¹⁴⁹ Die Kostenstruktur weist Eigenschaften von Einweg und Mehrweg auf. Die Anschaffung und Abnutzung entspricht der von Mehrweginstrumenten, wohingegen die Aufbereitungskosten für den Dienstleister in Form von Einzelkosten je Aufbereitung statt in Form von Gemeinkosten in der AEMP anfallen.

- Pay-Per-Use-Mehrweginstrumente unterscheiden sich lediglich hinsichtlich der Finanzierung von intern aufbereiteten Mehrweginstrumenten. Folglich weichen die Angaben in der Tabelle für die Kategorie *Kostenstruktur* von der Einordnung als Mehrweginstrument ab. Die Kostenstruktur von Pay-Per-Use-Mehrweginstrumenten besteht, wie die Bezeichnung besagt, darin, dass die Kosten pro Verwendung des Instruments anfallen. Statt der typischen gemeinkostendominierten Kostenstruktur von Mehrweginstrumenten, fallen Einzelkosten pro Nutzung an, weshalb die Kostenstruktur der Kostenstruktur von Einweginstrumenten ähnlicher ist. Für den nicht in der Tabelle aufgeführten Fall, dass zusätzlich Wartungsverträge bestehen, so geht das entsprechende Haftungsrisiko auf den Vertragspartner über und hinsichtlich der Haftung liegen Eigenschaften von Einweginstrumenten vor.

In dieser Arbeit wird eine ökonomische bzw. betriebswirtschaftliche Sichtweise und keine juristische oder definatorische Sichtweise eingeschlagen. Vor dieser Prämisse sind die Eigenschaften hinsichtlich der Prozess- und Kostenstruktur entscheidend für die Klassifizierung der Varianten. Sie stellen für die betriebswirtschaftliche Sichtweise die wichtigsten Kategorien dar. Diese Arbeit wird sich im Folgenden in der Formulierungsweise auf die beiden Grundformen beschränken. Da sich die anderen vorgestellten Varianten, wie in Tabelle 2 dargestellt, als Unterformen oder Hybride der Grundformen einordnen lassen, schließt die Formulierungsweise sie ebenfalls ein.

Neben den in diesem Kapitel betrachteten alternativen Nutzungsformen existieren noch weitere Alternativen. Unter anderem kann sogenanntes „Peel Packing“ angewendet werden, das darin besteht einzelne selten benutzte Mehrweginstrumente separat zu verpacken.¹⁵⁰ Das hat zum Ziel unnötige Aufbereitungen zu vermeiden, denn wird das Instrument nicht tatsächlich in einem Eingriff benutzt, muss es nicht aufbereitet, sondern lediglich das Peel Pack erneuert werden.¹⁵¹ Des Weiteren besteht durch die Technik der „Flash Sterilization“ die Möglichkeit, Mehrweginstrumente besonders schnell aufzubereiten.¹⁵² Sie kann als weitere Variante von

¹⁴⁹ Vgl. Felber/Müller (2004), S. 46.

¹⁵⁰ Vgl. Mhlaba et al. (2015), S. 82.

¹⁵¹ Vgl. Mhlaba et al. (2015), S. 83.

¹⁵² Vgl. Diamant et al. (2018), S. 440.

Mehrweginstrumenten betrachtet werden. Sie unterscheidet sich von Mehrweginstrumenten fast ausschließlich in Bezug auf die Höhe der Aufbereitungskosten. Sie kann beispielsweise sinnvoll sein, wenn ein Instrument kurzfristig unerwartet benötigt wird oder wenn eine Verunreinigung kurz vor der Anwendung festgestellt wird.

3 Ziele und Zielerreichung in der Sterilgutversorgung

In diesem Kapitel wird ein Zielsystem für den Prozess der Sterilgutversorgung erarbeitet. Dazu werden im ersten Teil zunächst Notwendigkeit und Eigenschaften eines Zielsystems kurz beschrieben. Im zweiten Teil werden Ziele und Zielsystem eines Krankenhauses aus dem Krankenhausfinanzierungsgesetz und dem fünften Sozialgesetzbuch hergeleitet. Die daraus identifizierten Oberziele des Krankenhauses stellen den Ausgangspunkt für die Ableitung der Ziele und des Zielsystems der Sterilgutversorgung dar, die Gegenstand des dritten Teils sind. Als Ergebnis wird im dritten Teil das Zielsystem für die Sterilgutversorgung abgeleitet und anhand einer grafischen Darstellung verdeutlicht.

3.1 Betriebswirtschaftliche Grundlagen zu Zielen und Zielsystemen

Ziele im betriebswirtschaftlichen Sinn formulieren gewünschte zukünftige Zustände, die aus Entscheidungen resultieren sollen.¹⁵³ Da ein Krankenhaus, wie jede komplexe Organisation, in unterschiedlichen Fachbereichen, auf unterschiedlichen Hierarchiestufen und mit unterschiedlichen zeitlichen Perspektiven Entscheidungen zu treffen hat, sind entsprechend unterschiedliche gewünschte zukünftige Zustände zu formulieren.¹⁵⁴ Deshalb verfolgt ein Krankenhaus mehrere Ziele.

Die unterschiedlichen Ziele einer Institution werden in einem Zielsystem zusammengeführt. Ein Zielsystem ist eine geordnete Menge von Zielen, die in Beziehungen zueinander stehen.¹⁵⁵ Arten von Zielbeziehungen sind: Komplementarität, Konkurrenz, Antinomie und Neutralität.¹⁵⁶ Neutralität besteht zwischen Zielen, deren Erreichung unabhängig voneinander erfolgt. Von Konkurrenz spricht man, wenn sich Ziele negativ beeinflussen. Im Gegensatz zur Konkurrenz, besteht bei der Komplementarität ein positiver Zusammenhang zwischen Zielen. Einen Spezialfall der Komplementarität stellt die Mittel-Zweck-Beziehung dar, bei der der positive Einfluss nur einseitig besteht. Diese Mittel-Zweck-Beziehungen gliedern ein Zielsystem in verschiedene Zielebenen.¹⁵⁷ Man kann in Ober-, Zwischen- und Unterziele gliedern, die sich daraus ergeben, ob sie den Oberzielen mittelbar oder unmittelbar dienen. Zwischen- und Unterziele dienen gemäß des Top-Down-Planungsprinzips der Konkretisierung und

¹⁵³ Vgl. Bea (2009), S. 338.

¹⁵⁴ Vgl. Busse/Geissler (2015), S. 43.

¹⁵⁵ Vgl. Jung (2006), S. 33.

¹⁵⁶ Vgl. Thommen et al. (2017), S. 49.

¹⁵⁷ Vgl. auch im Weiteren Thommen et al. (2017), S. 49.

Operationalisierung der Oberziele und orientieren sich an Organisation und Prozessstruktur.¹⁵⁸ Aus diesen Überlegungen ergibt sich ein mehrdimensionales Zielsystem, das sich ausgehend von Oberzielen über Mittel-Zweck-Beziehungen in Unter- und Zwischenziele verzweigt.¹⁵⁹ Die Unterziele dienen als Mittel zur Erreichung übergeordneter Oberziele und können Oberziele für weitere untergeordnete Stufen von Unterzielen sein.

3.2 Ziele eines Krankenhauses

Die Ziele der Sterilgutversorgung leiten sich aus dem Zielsystem des Krankenhauses als übergeordnete Einheit ab. Deshalb soll zunächst das Zielsystem eines Krankenhauses beschrieben werden.

Ausgangspunkt für die Identifizierung allgemeiner betriebswirtschaftlicher Ziele für ein Krankenhaus soll der vom Gesetzgeber formulierte Zweck eines Krankenhauses sein.

In § 2 des Krankenhausfinanzierungsgesetzes (KHG) wird mit der Definition eines Krankenhauses als

*Einrichtungen, in denen durch ärztliche und pflegerische Hilfeleistung Krankheiten, Leiden oder Körperschäden festgestellt und geheilt oder gelindert werden sollen oder Geburtshilfe geleistet wird und in denen die zu versorgenden Personen untergebracht und gepflegt werden können*¹⁶⁰

sein primärer Zweck bestimmt: die medizinische Hilfeleistung an PatientInnen. Zur Art und Weise, nach der die Bereitstellung dieser Hilfeleistung zu erfolgen hat, enthält das fünfte Sozialgesetzbuch (SGB) weitere Paragraphen. In § 2 Abs. 1 des fünften SGBs heißt es:

*Die Krankenkassen stellen den Versicherten die (...) Leistungen unter Beachtung des Wirtschaftlichkeitsgebots (§ 12) zur Verfügung (...).*¹⁶¹

§ 12 des fünften SGBs stellt unter dem Titel *Wirtschaftlichkeitsgebot* sicher, dass die durch das Krankenhaus zu erbringende Leistung die gesundheitliche Versorgung gewährleistet und unwirtschaftliche Leistungen darüber hinaus unterlassen werden. In Absatz 1 heißt es:

*Die Leistungen müssen ausreichend, zweckmäßig und wirtschaftlich sein, sie dürfen das Maß des Notwendigen nicht überschreiten. Leistungen, die nicht notwendig sind oder unwirtschaftlich sind, können Versicherte nicht beanspruchen, dürfen Leistungserbringer nicht bewirken und die Krankenkassen nicht bewilligen.*¹⁶²

¹⁵⁸ Vgl. Schweitzer (2011) S. 46.

¹⁵⁹ Vgl. auch im Weiteren Reichmann et al. (2017), S. 34-35.

¹⁶⁰ KHG i.d.F. vom 20.11.2019.

¹⁶¹ SGB V i.d.F. vom 9.8.2019.

¹⁶² SGB V i.d.F. vom 9.8.2019.

§ 70 des fünften SGBs verlangt, dass die Leistung des Krankenhauses folgende Eigenschaften aufweist:

Die Krankenkassen und die Leistungserbringer haben eine bedarfsgerechte und gleichmäßige, dem allgemein anerkannten Stand der medizinischen Erkenntnisse entsprechende Versorgung der Versicherten zu gewährleisten. Die Versorgung der Versicherten muss ausreichend und zweckmäßig sein, darf das Maß des Notwendigen nicht überschreiten und muss in der fachlich gebotenen Qualität sowie wirtschaftlich erbracht werden. ¹⁶³

Aus dem gesetzlich definierten Zweck eines Krankenhauses lassen sich zwei Zieldimensionen ableiten, die unabhängig von der Trägerschaft, der Größe oder den Rahmenbedingungen aus Betriebswirtschaftlicher Sicht im Zielsystem eines Krankenhauses abzubilden sind: die Dimension *Qualität* und die Dimension *Wirtschaftlichkeit*. Die Qualität stellt ein sachliches Ziel dar, da es sich auf die Beschaffenheit der Leistung bezieht.¹⁶⁴ Die Wirtschaftlichkeit stellt ein Formalziel dar, da sie das Verhältnis von Einsatzgütern und Ausbringung beschreibt. Im Folgenden werden die Ziele *Qualität* und *Wirtschaftlichkeit* in jeweils einem Unterkapitel genauer beschrieben.

3.2.1 Qualität als Oberziel

Um den Begriff der Qualität im Krankenhaus zu konkretisieren, wird die Einteilung der Qualität in drei Ebenen nach Donabedian herangezogen.¹⁶⁵ Der Ansatz empfiehlt sich aufgrund seiner Anschaulichkeit und Praktikabilität, die bedingen, dass er im Bereich des Gesundheitswesens weit verbreitet ist und auch vom Gesetzgeber benutzt wird.¹⁶⁶ Er unterscheidet die Strukturqualität, die Prozessqualität und die Ergebnisqualität.¹⁶⁷ Die Strukturqualität beschreibt die infrastrukturellen Voraussetzungen eines Krankenhauses.¹⁶⁸ Die Prozessqualität beschreibt, inwiefern die Bereitstellung der Krankenhausleistung nach der gewünschten Vorgehensweise umgesetzt wird. Die Eigenschaften der resultierenden Behandlungsleistung stellen die Ergebnisqualität dar. Der Zusammenhang zwischen den Ebenen ist folgendermaßen zu verstehen: Die Strukturqualität gilt als Grundvoraussetzung für die anderen Qualitätsebenen. Man kann sie als notwendige Bedingung für eine hohe Ergebnisqualität bezeichnen, die

¹⁶³ SGB V i.d.F. vom 9.8.2019.

¹⁶⁴ Vgl. auch im Weiteren Thommen et al. (2017), S. 45-46.

¹⁶⁵ Vgl. Donabedian (1966), o. S.

¹⁶⁶ Vgl. Braun et al. (2016), S. 100; Petzold et al. (2018), S. 195.

¹⁶⁷ Vgl. Donabedian (1966) zitiert nach Schwartz et al. (2006), S. 1184.

¹⁶⁸ Vgl. auch im Weiteren Donabedian (1966) zitiert nach Braun et al. (2016), S. 100.

Prozessqualität als hinreichende Bedingung. Die Prozessqualität gestaltet den Leistungserstellungsprozess so, dass die vorhandene Struktur optimal genutzt wird.

Die Herangehensweise, die Qualität in drei Ebenen aufzuteilen, ermöglicht zwar den Begriff zu konkretisieren, ersetzt jedoch keine Begriffsdefinition. Die Definition der Qualität im Krankenhaus im fünften Sozialgesetzbuch lautet, dass Qualität dann gegeben ist, wenn die erbrachte Leistung den anerkannten Kriterien für ihre fachgerechte Erbringung genügt.¹⁶⁹ Eine Konkretisierung der Anforderungen für Struktur-, Prozess- oder Ergebnisqualität zum Zwecke einer ganzheitlichen Bewertung ist in keinem deutschen Gesetzestext oder keiner Richtlinie zu finden.¹⁷⁰ Die Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF), als eine bedeutende Institution des deutschen Gesundheitswesens, nimmt mit ihrer Definition Bezug auf die drei Ebenen nach Donabedian. Qualität definiert sie als die Beschaffenheit von Strukturen, Prozessen und Ergebnissen, die anhand von validen Indikatoren bestimmt werden kann.¹⁷¹

3.2.2 Wirtschaftlichkeit als Oberziel

Das andere Hauptziel eines Krankenhauses ist die Wirtschaftlichkeit. Wirtschaftlichkeit im Allgemeinen bezeichnet das Verhältnis von wertmäßigem Input und wertmäßigem Output.¹⁷² Das Sozialgesetzbuch versteht unter Wirtschaftlichkeit eine Input-Output-Vorgabe, die erfüllt ist, wenn der Input das Maß des Notwendigen nicht überschreitet.¹⁷³ Input und Output stehen in einem Mittel-Zweck-Verhältnis, das als umso wirtschaftlicher gilt, je günstiger dieses ausfällt.¹⁷⁴ Wirtschaftlichkeit kann über das Maximalprinzip oder das Minimalprinzip erreicht werden.¹⁷⁵ Das Maximalprinzip besagt, dass mit einem gegebenen Inputlevel ein maximales Outputlevel erzielt werden soll. Das Minimalprinzip besagt, dass mit einem minimalen Inputlevel ein festgelegtes Outputlevel erzielt werden soll.¹⁷⁶ Für die Wirtschaftlichkeit als Ziel eines Krankenhauses ist das Minimalprinzip anzuwenden, denn in § 12 Abs. 5 und in § 70 des fünften SGBs wird das Outputlevel als ausreichend und zweckmäßig festgelegt.¹⁷⁷ Die beeinflussbare Größe des Input-Output-Verhältnisses ist also der Input, was dem

¹⁶⁹ Vgl. SGB V i.d.F. vom 9.8.2019, § 106, Abs. 2a, Nr.3.

¹⁷⁰ Vgl. Petzold et al. (2018), S. 200.

¹⁷¹ Vgl. AWMF (2020), o. S.

¹⁷² Vgl. Weber et al. (2014), S. 3.

¹⁷³ Vgl. Engelhard (2008), S. 208.

¹⁷⁴ Vgl. Eichhorn/Merk (2016), S. 22.

¹⁷⁵ Vgl. auch im Weiteren Eichhorn/Merk (2016), S. 179.

¹⁷⁶ Vgl. Eichhorn/Merk (2016), S. 180.

¹⁷⁷ Vgl. SGB V i.d.F. vom 9.8.2019; Engelhard (2008), S. 208.

Minimalprinzip entspricht. Unter Wirtschaftlichkeit als Ziel eines Krankenhauses versteht man demzufolge, den Output einer ausreichenden und zweckmäßigen medizinischen Versorgung mit geringstmöglichem Input zu erreichen.¹⁷⁸ Das entspricht einer Deckung des Ist-Bedarfs zu möglichst geringen Kosten.

3.2.3 Zielsystem eines Krankenhauses auf Ebene der Oberziele

Die Oberziele des Krankenhauses stellen die oberste Ebene des Zielsystems dar. Das Zielsystem bildet die Ziele und ihre Beziehungen zueinander ab. Im Zielsystem des Krankenhauses stehen die Ziele *Qualität* und *Wirtschaftlichkeit* in keiner eindeutigen Beziehung, vielmehr finden sich Beispiele komplementärer, konkurrierender oder neutraler Ausprägungen je nach Betrachtungsgegenstand und Perspektive. Die unterschiedlichen möglichen Beziehungsausprägungen werden im Folgenden anhand von Abbildung 7 beschrieben.

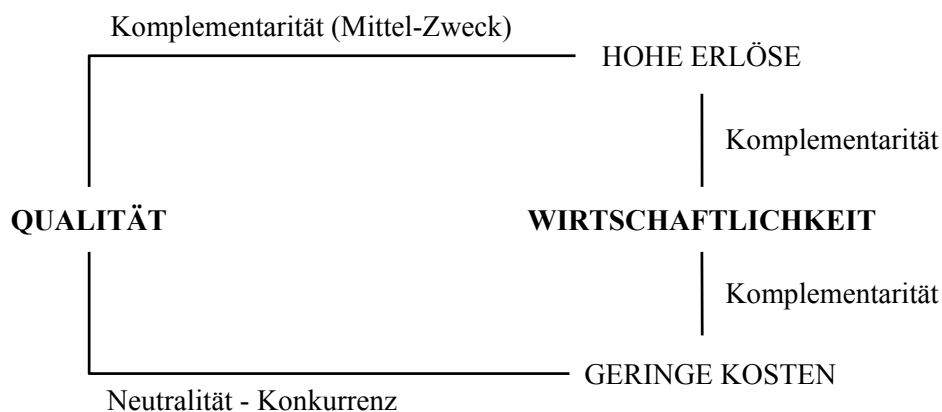


Abb. 7: Beziehungen zwischen den Zielen Qualität und Wirtschaftlichkeit.¹⁷⁹

Für die Darstellung der Beziehung zwischen den Zielen *Qualität* und *Wirtschaftlichkeit* ist es sinnvoll, die Zielgröße *Wirtschaftlichkeit*, die eine Verhältnisgröße ist, in ihre beiden Bestandteile Erlöse und Kosten zu unterteilen. Die Ziele *hohe Erlöse* und *geringe Kosten* stehen zum Ziel *Wirtschaftlichkeit* in einer komplementären Beziehung. Die Zielgröße *Qualität* steht bei dieser Betrachtungsweise mit der Zielgröße *Wirtschaftlichkeit* nur mittelbar in Beziehung. Die unmittelbare Beziehung zwischen der Qualität und hohen Erlösen ist eine Komplementarität und zwar in Form einer Mittel-Zweck-Beziehung mit der Qualität als Zweck. Denn eine hohe Qualität der Krankenhausleistung kann eine höhere Nachfrage begünstigen, die wiederum mehr Erlöse verspricht. Die Beziehung zwischen Qualität und Kosten lässt sich nicht

¹⁷⁸ Vgl. Engelhard (2008), S. 209.

¹⁷⁹ Eigene Darstellung.

so eindeutig bezeichnen. Sie kann als neutral bezeichnet werden unter der Annahme, dass die Art und Weise des Mitteleinsatzes entscheidend dafür ist, ob ein hoher Input einen hohen Output produziert. Diese Annahme ist für komplexe Leistungsprozesse, wie sie im Krankenhaus vorzufinden sind, realistisch. Jedoch gilt diese Neutralität nur für ein begrenztes Kostenniveau. Begrenzt wird es durch die Beeinträchtigung der Qualität. Denn ist ein bestimmtes Kostenniveau unterschritten und die Qualität beeinträchtigt, dann ist die Beziehung zwischen Kosten und Qualität als Konkurrenz einzuordnen.

Was die hierarchische Anordnung der beiden Ziele *Qualität* und *Wirtschaftlichkeit* im Zielsystem betrifft, so ist in § 12 des fünften SGB eine Regelung für die Beziehung der Zielgrößen zu finden.¹⁸⁰ Der Gesetzgeber regelt das Spannungsverhältnis, indem er einen Mindestqualitätsstandard festlegt.¹⁸¹ Das Qualitätsangebot, das über diesen Mindeststandard hinausgeht, begrenzt er mit dem Wirtschaftlichkeitsgebot. Er schreibt ein Qualitätsniveau vor, das eine ausreichende und zweckmäßige Leistung gewährleistet.¹⁸² Bis zur Erfüllung des Mindestqualitätsstandards ist das Qualitätsziel als übergeordnet zu betrachten. Ein solcher orientiert sich unter anderem an medizinisch-wissenschaftlichen Leitlinien von Fachgesellschaften und nationalen Versorgungsleitlinien.¹⁸³ Ist die Erfüllung des Mindestqualitätsstandards gewährleistet, müssen Leistungen darüber hinaus dem Kriterium *Wirtschaftlichkeit* genügen.¹⁸⁴ Für das Qualitätsspektrum oberhalb des Mindeststandards gilt folglich die Wirtschaftlichkeit als übergeordnetes Ziel.

Aus den Hauptzielen des Krankenhauses wird im nächsten Kapitel das hierarchisch untergeordnete Zielsystem der Sterilgutversorgung abgeleitet.

3.3 Ziele der Sterilgutversorgung

In diesem Kapitel wird beschrieben, welche Ziele für die Sterilgutversorgung zu formulieren sind, um zur Zielerreichung des Krankenhauses beizutragen. Im vorangegangenen Kapitel wurden Qualität und Wirtschaftlichkeit als Oberziele eines Krankenhauses herausgearbeitet. In diesem Kapitel sollen Zwischen- und Unterziele für die Sterilgutversorgung erarbeitet werden, die unmittelbar oder mittelbar über den OP-Prozess Einfluss auf die Oberziele haben. Die Erarbeitung soll jeweils vom Oberziel ausgehend in zwei Teilkapiteln erfolgen. Das erste

¹⁸⁰ Vgl. SGB V i.d.F. vom 9.8.2019.

¹⁸¹ Vgl. auch im Weiteren Engelhard (2008), S. 199.

¹⁸² Vgl. SGB V i.d.F. vom 9.8.2019, § 12 Abs. 1, Satz 1.

¹⁸³ Vgl. Wienke et al. (2020), S. 1.

¹⁸⁴ Vgl. Engelhard (2008), S. 209.

Teilkapitel umfasst die Ziele, die dem Oberziel *Qualität* dienen und das zweite Teilkapitel umfasst die Ziele, die dem Oberziel *Wirtschaftlichkeit* dienen. In einem dritten Teilkapitel werden die Ziele in einem Zielsystem zusammengeführt.

3.3.1 Qualität in der Sterilgutversorgung

Der Ausgangspunkt für den ersten Teil ist das Oberziel *Qualität*. Qualität wurde in Kapitel 3.2.1 gemäß dem fünften Sozialgesetzbuch definiert als Erfüllung der anerkannten Kriterien zur fachgerechten Erbringung einer Leistung.¹⁸⁵ Die fachgerechte Erbringung der Sterilgutversorgung wird hauptsächlich durch zwei Institutionen vorgeschrieben: durch die Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention beim Robert Koch-Institut und durch das Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte. Sie haben 2012 eine gemeinsame Empfehlung unter dem Titel „Anforderungen an die Hygiene bei der Aufbereitung von Medizinprodukten“ verfasst, die als Maßstab für die fachgerechte Erbringung der Sterilgutversorgung heranzuziehen ist.¹⁸⁶ Grundlage der Empfehlung sind Aufbereitungsverfahren, gesetzliche Vorgaben zum Schutz von PatientInnen, AnwenderInnen und Dritten sowie die Notwendigkeit die Qualität durch ein Qualitätsmanagementsystem garantieren zu können.¹⁸⁷

Als Aufgabe der Sterilgutversorgung definiert die Empfehlung sicher zu stellen, dass von den chirurgischen Instrumenten bei der Anwendung keine Gefahr von Gesundheitsschäden, insbesondere Infektionen oder andere körperliche Reaktionen ausgehen und dass keine Gesundheitsschäden aus technisch-funktionellen Defiziten der Instrumente resultieren.¹⁸⁸ Aus dieser Aufgabe sollen in den folgenden Abschnitten die Hauptziele abgeleitet werden.

Gesundheitsschäden können die Folge von Verunreinigungen an Instrumenten, von eingeschränkter Funktionsfähigkeit oder von fehlenden notwendigen Instrumente sein.¹⁸⁹ Verunreinigte oder eingeschränkt funktionsfähige Instrumente können, wenn sie trotzdem zur Anwendung kommen, Infektionen und andere körperliche Reaktionen oder Verletzungen zur Folge haben.¹⁹⁰ Wenn sie andernfalls nicht zur Anwendung kommen, sondern ersetzt werden müssen, drohen wirtschaftliche und qualitative Folgen.¹⁹¹ Lediglich wirtschaftliche Folgen

¹⁸⁵ Vgl. SGB V i.d.F. vom 9.8.2019, § 106, Abs. 2a, Nr.3.

¹⁸⁶ KRINKO und BfArM (2012).

¹⁸⁷ Vgl. KRINKO und BfArM (2012), S. 1245.

¹⁸⁸ Vgl. KRINKO und BfArM (2012), S. 1246.

¹⁸⁹ Vgl. Yoon et al. (2019), S. 70; Stockert/Langerman (2014), S. 650.

¹⁹⁰ Vgl. Luther (2014), S. 22; Wong et al. (2010), S. 192.

¹⁹¹ Vgl. Stockert/Langerman (2014), S. 647; Guédon et al. (2016), S. 2729; Diamant et al. (2018), S. 442.

drohen, wenn das Instrument vor Beginn des Eingriffs ersetzt werden kann. Denn werden Verunreinigung, eingeschränkte Funktionsfähigkeit oder Fehlen während der OP-Vorbereitung vor Beginn des Eingriffs festgestellt und das betroffene Instrument bis zum Beginn des Eingriffs ersetzt, beschränken sich die Folgen auf die Kosten der Verzögerung.¹⁹²

Sowohl wirtschaftliche als auch qualitative Folgen drohen, wenn das Instrument während des Eingriffs ersetzt werden muss.¹⁹³ Denn werden Fehlen, Verunreinigung oder eingeschränkte Funktionsfähigkeit erst während des Eingriffs festgestellt und der Ersatz muss durch den Springerdienst erfolgen, entstehen Kosten in Folge der OP-Verzögerung und qualitative Beeinträchtigungen durch den Anstieg des Infektionsrisikos.¹⁹⁴ Das Infektionsrisiko steigt, weil die Häufigkeit des Betretens und Verlassens des Operationssaals und die Höhe der bakteriellen Luftverunreinigung positiv korreliert sind¹⁹⁵ und ein linearer Zusammenhang zwischen der Höhe der bakteriellen Luftverunreinigung und der Häufigkeit postoperativer Wundinfektionen besteht.¹⁹⁶ Darüber hinaus bedeuten Unterbrechungen oder Verzögerung eines Eingriffs oder andere Unregelmäßigkeiten im Prozessablauf zusätzlichen Stress für die Beteiligten, der das Risiko weiterer Fehler erhöht.¹⁹⁷

Um die Qualität der Sterilgutversorgung sicher zu stellen, müssen die beschriebenen Defizite vermieden werden. Zu diesem Zweck werden folgende Ziele formuliert: Sauberkeit, Funktionsfähigkeit, Bedarfsdeckung und Rechtzeitigkeit. Das Ziel *Sauberkeit* beschreibt in diesem Zusammenhang, dass die Instrumente keine Verschmutzungen aufweisen, die sterile Verpackung unversehrt ist und die Lagerfrist nicht überschritten ist.¹⁹⁸ Die *Funktionsfähigkeit* wird in der Aufgabenbeschreibung der Empfehlung bereits explizit als die Abwesenheit technisch-funktioneller Defizite beschrieben. Unter *Bedarfsdeckung* ist die Bereitstellung des vom OP-Prozess angeforderten Instrumententyps in der angeforderten Menge am Einsatzort zu verstehen. Unter *Rechtzeitigkeit* ist die Bereitstellung zum angeforderten Zeitpunkt zu verstehen. Denn die chirurgischen Instrumente für einen Eingriff müssen zum Zeitpunkt der vorgesehenen Verwendung am Ort der vorgesehenen Verwendung sein. Die Sterilgutversorgung muss plakativ ausgedrückt das richtige Instrument, zur richtigen Zeit am richtigen Ort zur Verfügung stellen.¹⁹⁹ Insbesondere vor dem Hintergrund von unvorhersehbaren Bedarfsfällen im Fall von notfallbedingten Eingriffen, ist ein weiteres Ziel

¹⁹² Vgl. Farrokhi et al. (2015), S. 277; Guédon et al. (2016), S. 2729.

¹⁹³ Vgl. Diamant et al. (2018), S. 442.

¹⁹⁴ Vgl. Stockert/Langerman (2014), S. 647.

¹⁹⁵ Vgl. Andersson et al. (2012), S. 752; Panahi et al. (2012), S. 2691-2692.

¹⁹⁶ Vgl. Whyte et al. (1982), S. 134; Lidwell et al. (1983), S. 129; Andersson et al. (2012), S. 750–751.

¹⁹⁷ Vgl. Guédon et al. (2016), S. 2729.

¹⁹⁸ Vgl. KRINKO und BfArM (2012), S. 1255 und 1257.

¹⁹⁹ Vgl. Stockert/Langerman (2014), S. 654.

notwendig, das eine schnelle Bereitstellung in Notfällen abbildet. Dieses Ziel wird als *Reaktionsfähigkeit* bezeichnet. Es dient der Gewährleistung des Ziels *Rechtzeitigkeit* und wird entsprechend als dessen Unterziel eingeordnet. Ein weiteres Unterziel, das auf alle Qualitätskriterien Einfluss hat, ist die Anzahl der Instrumente pro Sieb. Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der Anzahl an Instrumenten pro Sieb und der Fehlerrate.²⁰⁰ Je mehr Instrumente, desto mehr fehlende, beschädigte oder verunreinigte Instrumente und desto länger die Aufbereitungsdauer je Sieb.²⁰¹ Die Anzahl an Instrumenten pro Sieb kann folglich Einfluss auf die Qualitätsziele *Sauberkeit*, *Funktionsfähigkeit*, *Bedarfsdeckung*, *Rechtzeitigkeit* und *Reaktionsfähigkeit* haben.

Man kann die abgeleiteten Qualitätsziele unter einem übergeordneten Qualitätsziel zusammenfassen. Gemäß der Prozessstruktur in Abbildung 2 wird das Oberziel *Qualität* mittelbar über die Qualität des OP-Prozesses erreicht, der wiederum von der Qualität des Sterilgutversorgungsprozesses beeinflusst wird. Der Sterilgutprozess kann die Qualität des OP-Prozesses durch eine einwandfreie Sterilgutversorgung unterstützen. Entsprechend lautet das qualitative Oberziel der Sterilgutversorgung: *einwandfreie Bereitstellung*. Die Ziele *Sauberkeit*, *Funktionsfähigkeit*, *Bedarfsdeckung* und *Rechtzeitigkeit* sind die Kriterien für eine einwandfreie Bereitstellung. Die Reaktionsfähigkeit unterstützt die Rechtzeitigkeit und die Begrenzung der Anzahl Instrumente pro Sieb unterstützt alle Qualitätskriterien.

3.3.2 Wirtschaftlichkeit in der Sterilgutversorgung

In diesem Unterkapitel werden die Ziele der Sterilgutversorgung beschrieben, die sich aus dem Oberziel *Wirtschaftlichkeit* ableiten. In einem zweiten Schritt werden Einflussgrößen bestimmt, die diese Ziele maßgeblich beeinflussen und im Zielsystem als deren Unterziele dargestellt sind. Da die Sterilgutversorgung als Hilfsprozess selbst keine Erlöse am Markt erwirtschaften kann und keinen Einfluss auf ihre Erlöse aus der internen Leistungsverrechnung hat, wird ihre Wirtschaftlichkeit durch die Kostenkomponente bestimmt. Das wirtschaftliche Oberziel der Sterilgutversorgung lautet folglich: Minimierung der Kosten, die entlang und durch den Sterilgutversorgungsprozess entstehen. Die Unterziele ergeben sich aus der Minimierung der verschiedenen Kostenkategorien, die direkt aus dem Versorgungsprozesses abgeleitet werden, und aus Ergänzungen in Form von Kapitalkosten und Folgekosten aus Qualitätszielen.

²⁰⁰ Vgl. Stockert/Langerman (2014), S. 650 und 653, van Meter/Adam S. 652.e2.

²⁰¹ Vgl. Stockert/Langerman (2014), S. 653.

Die Kostenziele, die direkt aus dem Versorgungsprozesses abgeleitet werden, ergeben sich aus den in Kapitel 2 beschriebenen Versorgungsprozessen für Mehrweg- und Einweginstrumente. Unter den folgenden Aufzählungspunkten werden aus den Teilprozessen die Kostenkategorien *perioperative Kosten*, *Transportkosten*, *Aufbereitungskosten*, *Lagerungskosten*, *Entsorgungskosten* und *Beschaffungskosten* aufgegriffen.

- Unter *perioperativen Kosten* werden die Kosten zusammengefasst, die während der Teilprozesse OP-Vorbereitung, OP-Verwendung und OP-Nachbereitung im Zusammenhang mit der Sterilgutversorgung anfallen. Zu den typischen Tätigkeiten gehören das Öffnen der Siebe, das Auspacken der Instrumente, die Überprüfung der Sterilität oder das Zählen der Instrumente.²⁰²
- Die *Transportkosten* bezeichnen die Kosten für Transporte innerhalb des Krankenhauses.²⁰³ Transportkosten, die im Zuge der Beschaffung anfallen, sind in den Beschaffungskosten enthalten.
- In den *Aufbereitungskosten* werden die Kosten der Schritte *Reinigung und Desinfektion*, *Prüfung auf Sauberkeit und Unversehrtheit*, *Pflege und Instandsetzung*, *Siebe packen und verpacken* sowie *Sterilisation* des Kreislaufs von Mehrweginstrumenten zusammengefasst.²⁰⁴ Außerdem enthalten sie die Abnutzungskosten. Der Wertverlust durch Abnutzung bildet den Verschleiß eines Mehrweginstrumentes aufgrund der Nutzung und insbesondere der im Anschluss notwendigen Aufbereitung ab.²⁰⁵
- Bei der Ein- und Auslagerung von Sieben im Mehrwegkreislauf fallen Kosten an. Dazu gehören unter anderen Personalkosten durch den Arbeitsprozess des Lagerns, Abschreibungen der Lagereinrichtung oder die Mietkosten des Lagerplatzes im Zuge der internen Leistungsverrechnung.²⁰⁶ Sie werden zusammengefasst zu *Lagerungskosten*.
- Die *Entsorgungskosten* sind die Kosten, die im Versorgungsprozess der Einweginstrumente für eine sichere Entsorgung nach der Bereitstellung anfallen.²⁰⁷ Die Entsorgungskosten der Mehrweginstrumente am Ende ihrer Nutzungsdauer werden in den Abnutzungskosten abgebildet.

²⁰² Vgl. Dobson et al. (2015), S. 228; von Eiff (2009b), S. 676; Stockert/Langerman (2014), S. 647; Wannemuehler et al. (2015), S. 2811.

²⁰³ Vgl. Schmeck et al. (2008), S. 808.

²⁰⁴ Vgl. Stockert/Langerman (2014), S. 647-648; Mhlaba et al. (2015), S. 84; John-Baptiste et al. (2016), S. E405; Krohn et al. (2017), S. 86; Schaer et al. (1995), S. 1813.

²⁰⁵ Vgl. Luther (2014), S. 22; Siu et al. (2017), S. 31; Stockert/Langerman (2014), S. 652.

²⁰⁶ Vgl. Siu et al. (2017), S. 32; Stockert/Langerman (2014), S. 652.

²⁰⁷ Vgl. Slater et al. (2009), S. 672; Schaer et al. (1995), S. 1813.

- Als *Beschaffungskosten* werden die Kosten bezeichnet, die während des Teilschritts *Beschaffung* im Versorgungsprozess der Einweginstrumente entstehen. Dazu gehören neben dem Preis auch die Kosten des Beschaffungsprozesses.
- Mehrweginstrumente sind buchhalterisch im Anlagevermögen verzeichnet und werden entsprechend abgeschrieben. Kalkulatorisch werden ihre *Be- und Anschaffungskosten* in den Kapitalkosten und Abnutzungskosten abgebildet.

Die aufgeführten Kostenkategorien stellen die Kostenziele dar, die im Sinne der Zielerreichung zu minimieren sind. Sie werden ergänzt um Kostenziele, die nicht direkt aus einer der Stufen der Versorgungsprozesse resultieren, sondern Opportunitätskosten oder Folgekosten darstellen. Eine in der Literatur häufig als Kostenfaktor der Sterilgutversorgung angeführte Form von Opportunitätskosten stellen Kapitalkosten dar.²⁰⁸ Die Opportunitätskosten des gebundenen Kapitals bilden die Tatsache ab, dass der Instrumentenbestand eines Krankenhauses Kapital bindet, das nicht anderweitig genutzt werden kann.²⁰⁹

Die Kostenziele werden außerdem ergänzt um die Minimierung der Folgekosten mangelhafter Bereitstellung. Sie bilden die wirtschaftlichen Folgen nicht einwandfreier Bereitstellungen ab.²¹⁰ Wie im vorangegangenen Kapitel zur Qualität in der Sterilgutversorgung beschrieben, kann eine mangelhafte Bereitstellung Kosten zur Folge haben. Sie können in Form von tatsächlichen Kosten oder auch in Form von Opportunitätskosten anfallen.²¹¹ Tatsächliche Kosten entstehen, wenn das Instrument ersetzt wird und der Prozess verzögert wird.²¹² Einer 2012 im Ärzteblatt erschienene Kalkulation für deutsche Krankenhäuser zufolge liegen die Kosten pro OP-Minute zwischen 40 und 50 Euro.²¹³ Da diese Schätzung acht Jahre zurückliegt, kann inzwischen von einem höheren Wert ausgegangen werden. Opportunitätskosten entstehen, weil die Kapazität der Operationssaalnutzung in der Regel eine knappe Ressource darstellt. Sie verursacht zwar hohe Fixkosten, kann aber während der Verzögerung nicht wertschöpfend genutzt werden und Erlöse erzielen.²¹⁴ In jeder Minute der Nichtnutzung des Operationssaals, fallen deshalb Kosten in Form entgangener Erlöse, an.²¹⁵ Im Jahr 2016 berechnete eine Studie auf Basis der an das Institut für das Entgeltsystem im Krankenhaus gemeldeten Daten die Erlöse pro OP-Minute fachübergreifend auf 16,63 €/min.²¹⁶

²⁰⁸ Vgl. Prat et al. (2004), S. 249; Yung et al. (2010), S. 516; Siu et al. (2017), S. 31; Bijvank/Vis (2012), S. 497.

²⁰⁹ Vgl. Siu et al. (2017), S. 31; Bijvank/Vis (2012), S. 497.

²¹⁰ Vgl. Wong et al. (2010), S. 192; Allen/Polk (2002), S. 475-476.

²¹¹ Vgl. Allen/Polk (2002), S. 475-476.

²¹² Vgl. Bijvank/Vis (2012), S. 498; Guédon et al. (2016), S. 2729; Diamant et al. (2018), S. 442.

²¹³ Vgl. Fleischer (2012), S. A2555.

²¹⁴ Vgl. Bijvank/Vis (2012), S. 505; Bracklo (2013), S. 731.

²¹⁵ Vgl. Bracklo (2013), S. 731.

²¹⁶ Vgl. Waeschle (2016), S. 141.

Die Kostenziele werden von verschiedenen Einflussgrößen bestimmt. Aus den Einflussgrößen, die maßgeblich bestimmen, in welcher Höhe Kosten anfallen, ergeben sich untergeordnete Ziele zu den Kostenzielen. Sie werden im Folgenden beschrieben.

- Die perioperativen Kosten werden bestimmt von der Anzahl der bereitgestellten Einweg- und Mehrweginstrumente und der bereitgestellten Siebe.
- Die Aufbereitungskosten werden bestimmt von der Art und Anzahl der bereitgestellten und anschließend aufzubereitenden Mehrweginstrumente. Sie werden differenziert in manuelle und maschinelle Aufbereitungskosten. Erstere werden bestimmt von Art und Anzahl der Mehrweginstrumente, die bereitgestellt werden, und Zweitere von der Anzahl an Sieben, die bereitgestellt werden.
- Die Transportkosten werden bestimmt von der Anzahl an Sieben, da sich Mehrweginstrumente während des Transports als Teil einer Siebgruppierung in Siebbehältnissen befinden. Für die Transportkosten der Mehrweginstrumente ist die Anzahl der bereitgestellten Siebe bestimmend. Die Transportkosten der Einweginstrumente sind in den Beschaffungskosten enthalten.
- Die Lagerkosten werden bestimmt von der Anzahl an Sieben, in denen die Mehrweginstrumente gelagert werden. Die Lagermenge ergibt sich aus dem Siebbestand.
- Die Beschaffungskosten werden bestimmt von der Art der Instrumente, die den Preis je Instrument vorgibt, und von der Anzahl an Instrumenten je Art. Die Entsorgungskosten werden ebenfalls von der Anzahl bereitgestellter Einweginstrumente bestimmt.
- Der Wertverlust durch Abnutzung wird bestimmt von der Art bzw. dem Wert der Instrumente sowie der Anzahl der Aufbereitungen, die wiederum aus der Anzahl Bereitstellungen folgt.
- Die Kapitalkosten werden hauptsächlich bestimmt durch den Wert des Instrumentenbestands, der sich nach Art und Anzahl der Mehrweginstrumente richtet.
- Die Folgekosten mangelhafter Bereitstellung werden bestimmt von der Qualität der Sterilgutversorgung.

Zusammenfassend resultiert aus den Ausführungen dieses Teilkapitels als wirtschaftliches Oberziel der Sterilgutversorgung die Minimierung der Kosten oder, im Fall der Opportunitätskosten und Folgekosten, die Vermeidung der Kosten. Diesem Ziel sind verschiedene Kostenziele untergeordnet, aus denen sich die gesamten Kosten zusammensetzen. Diesen Zielen sind wiederum Ziele untergeordnet, die die Höhe der Kosten bestimmen.

Außerdem beeinflussen die im vorherigen Unterkapitel beschriebenen Qualitätsziele das Ziel der Vermeidung von Folgekosten bei OP-Verzögerungen.

3.3.3 Zielsystem der Sterilgutversorgung

Die in 3.3.1 und 3.3.2 herausgearbeiteten Ziele der Sterilgutversorgung werden in diesem Kapitel in einem Zielsystem zusammengeführt, das die Beziehungen und Zusammenhänge zwischen den Zielen verdeutlicht.

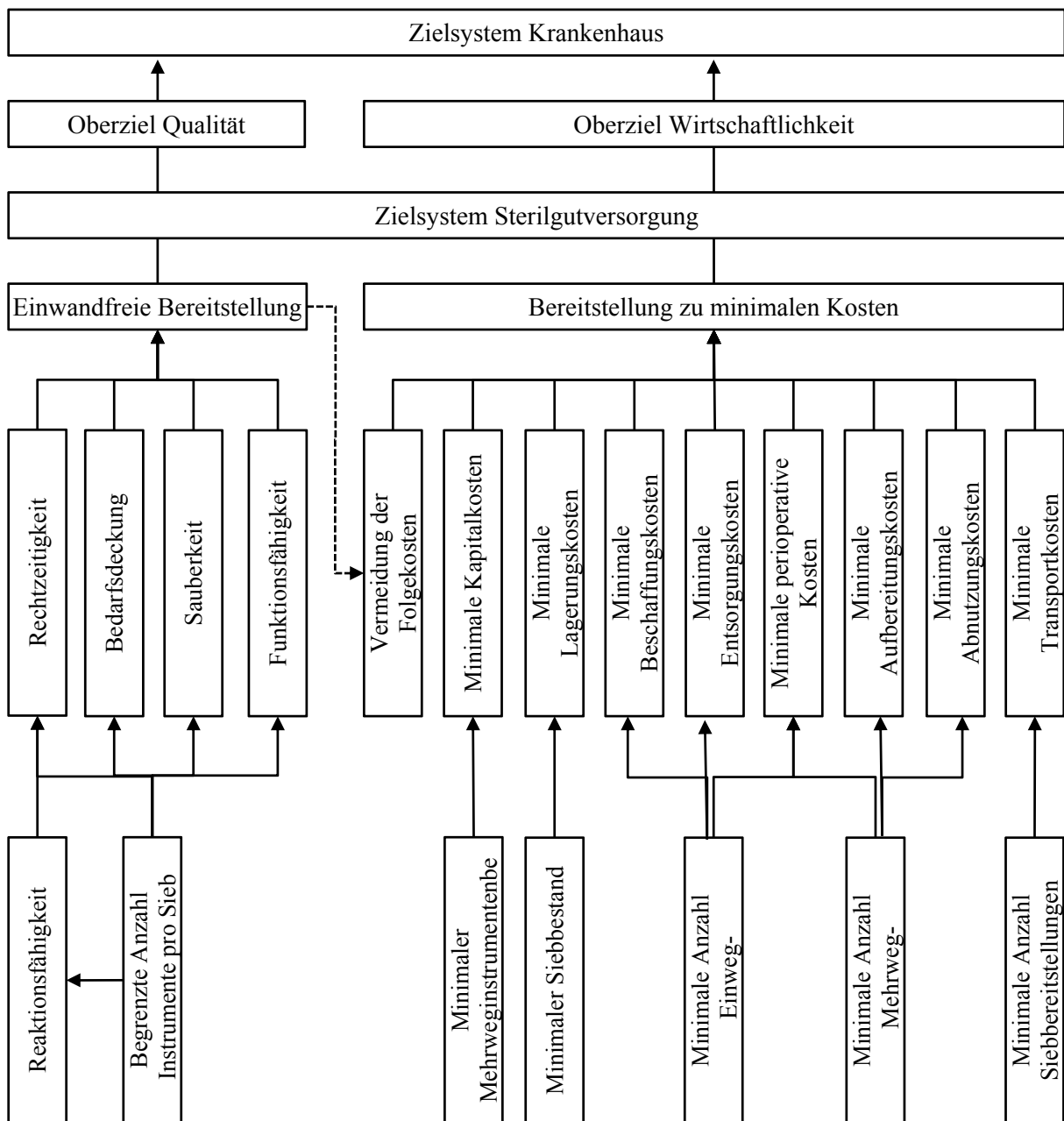


Abb. 8: Zielsystem der Sterilgutversorgung.²¹⁷

²¹⁷ Eigene Darstellung.

Das Zielsystem in Abbildung 8 wird von oben nach unten beschrieben. Oben sind die Oberziele des Krankenhauses dargestellt, um zu zeigen, wie das Zielsystem der Sterilgutversorgung zum übergeordneten Zielsystem des Krankenhauses beiträgt. Darunter ist das Zielsystem der Sterilgutversorgung dargestellt. Als Oberziele der Sterilgutversorgung sind die beiden Ziele *Einwandfreie Bereitstellung* und *Bereitstellung zu minimalen Kosten* dargestellt. Das Ziel *Einwandfreie Bereitstellung* dient dem Krankenhausoberziel *Qualität* und das Ziel *Bereitstellung zu minimalen Kosten* dient dem Krankenhausoberziel *Wirtschaftlichkeit*.

Das Zielsystem der Sterilgutversorgung kann ausgehend von den beiden Oberzielen *Qualität* und *Wirtschaftlichkeit* in einen linken und einen rechten Teil untergliedert werden. Der linke Teil bildet die auf Qualität ausgerichteten Ziele ab, der rechte Teil bildet die auf Wirtschaftlichkeit ausgerichteten Ziele ab.

Auf der linken Seite ist das übergeordnete Ziel *einwandfreie Bereitstellung* mit seinen Unterzielen zu sehen. Eine einwandfreie Bereitstellung besteht darin, den OP-Bedarf in der geforderten Art und Anzahl rechtzeitig zur Verfügung zu stellen und darin, dass die bereitgestellten Instrumente sowohl sauber und steril als auch funktionsfähig sind. Die Unterziele *Rechtzeitigkeit*, *Reaktionsfähigkeit*, *Bedarfsdeckung*, *Sauberkeit* und *Funktionsfähigkeit* stellen die entsprechenden Ziele dar. Die Beziehungen zwischen den Qualitätszielen sind, mit Ausnahme der Beziehung zwischen *Rechtzeitigkeit* und *Reaktionsfähigkeit*, neutral, denn die Zielerreichung der einzelnen Kriterien ist voneinander unabhängig. Sie sind jedoch alle fünf notwendig, um das übergeordnete Ziel erfüllen zu können. Denn sie sind nicht gegeneinander substituierbar. Eine Zweck-Mittel-Beziehung besteht zwischen der *Rechtzeitigkeit* und der *Reaktionsfähigkeit*. Denn *Reaktionsfähigkeit* trägt dazu bei *Rechtzeitigkeit* auch für kurzfristige Bedarfe zu gewährleisten. Das Ziel der begrenzten Anzahl an Instrumenten pro Sieb ist im Zielsystem eine Ebene unter den Qualitätskriterien dargestellt. Der Grund dafür ist, dass Mittel-Zweck-Beziehungen zu den anderen Qualitätszielen bestehen. Eine begrenzte Anzahl Instrumente begünstigt die übergeordneten Ziele.

Auf der rechten Seite sind die Ziele dargestellt, die dem wirtschaftlichen Ziel *Bereitstellung zu minimalen Kosten* untergeordnet sind. Alle Kosten, die im Zusammenhang mit der Sterilgutversorgung anfallen, sollen so gering wie möglich gehalten werden. Die Abbildung führt die Kostenkategorien aus dem vorangegangenen Kapitel auf: die Transportkosten, die Abnutzungskosten, die Aufbereitungskosten, die perioperativen Kosten, die Entsorgungskosten, die Beschaffungskosten, die Lagerungskosten, die Kapitalkosten und die Folgekosten. Die Kosten, die im Zuge der Versorgungsprozesse anfallen, sind ebenso zu minimieren wie die Opportunitätskosten. Folgekosten bei mangelhafter Bereitstellung sollten

möglichst vermieden werden. Letzteres Kostenziel fungiert als Bindeglied zwischen den beiden Oberzielen der Sterilgutversorgung. Wird das Ziel der einwandfreien Bereitstellung verfehlt, so zieht das sowohl für die Qualität selbst, als auch für das Kostenziel Beeinträchtigungen nach sich. Die Folgekosten mangelhafter Bereitstellung reflektieren auf diese Weise die monetären Folgen mangelhafter Qualität in der Sterilgutversorgung.

Auf der Ebene unter den Kostenzielen sind die Ziele abgebildet, die sich aus den Einflussgrößen ergeben, von denen die Höhe der Kosten der übergeordneten Kostenziele abhängen. Sie wurden ebenfalls im vorangegangenen Kapitel definiert. Es handelt sich um den Mehrweginstrumentenbestand, den Siebbestand, die Anzahl der Einwegbereitstellungen, die Anzahl der Mehrwegbereitstellungen und die Anzahl der Siebbereitstellungen. Die Einflussfaktoren werden im Zielsystem jeweils als Unterziele des Ziels oder der Ziele abgebildet, zu denen eine Mittel-Zweck-Beziehung besteht.

Im nächsten Abschnitt soll auf die Beziehungen zwischen den Oberzielen, eingegangen werden. Wie in Kapitel 3.2.3 bereits beschrieben, besteht zwischen dem Oberziel *Einwandfreie Bereitstellung* und dem Oberziel *Bereitstellung zu minimalen Kosten* mittelbar über das Ziel der Vermeidung von Folgekosten eine Zweck-Mittel-Beziehung. Das Ziel der einwandfreien Bereitstellung unterstützt in dieser Hinsicht das Ziel der Kostenminimierung. Gleichzeitig besteht zwischen den Oberzielen eine Konkurrenz. Das Ziel der einwandfreien Bereitstellung kann durch Mittelkürzungen in Folge der Überbetonung von Kostenzielen behindert werden. Andererseits kann das Ziel der Bereitstellung zu minimalen Kosten durch eine Überbetonung der Qualitätsziele behindert werden. Diese Zusammenhänge machen deutlich, dass das Zielsystem insgesamt zu betrachten und zu verfolgen ist, weil eine isolierte Zielerreichung im Hinblick auf die Oberziele des Krankenhauses nicht sinnvoll ist. Vielmehr ist durch das Zielsystem sichergestellt, dass dem finanziellen Ziel durch das Qualitätsziel Grenzen gesetzt sind. Und zwar, indem eine einwandfreie Bereitstellung mit möglichst geringen Kosten verfolgt wird. Die Zielsetzung der Sterilgutversorgung kann deshalb zusammengefasst werden zu: einwandfreie Bereitstellung zu minimalen Kosten.

4 Ableitung des Optimierungsbedarfs aus dem Status quo der Zielerreichung

In diesem Kapitel soll anhand einschlägiger Literatur der Status quo der Zielerreichung in der Praxis aufgezeigt werden, um Optimierungsbedarf im Hinblick auf den Prozess der Bereitstellung steriler chirurgischer Instrumente zu identifizieren. Ausgangspunkt sind Kennzahlen zur Beurteilung der Sterilgutversorgung. Sie werden als Indikatoren für Defizite in der Zielerreichung der Sterilgutversorgung herangezogen. Auf Basis einer systematischen Literaturrecherche zu Kennzahlen für die Sterilgutversorgung werden für die beiden in Kapitel 3.3.3 definierten Oberziele der Sterilgutversorgung je eine Kennzahl zur Abbildung der Zielerreichung ausgewählt. Die empirische Evidenz für Optimierungsbedarf im Prozess der Bereitstellung steriler chirurgischer Instrumente wird an ausgewählten Studienergebnissen zu diesen beiden Kennzahlen dokumentiert. Im zweiten Unterkapitel werden Defizite der Sterilgutversorgung aus der Literatur vorgestellt. Diese Defizite stellen mögliche Ursachen für Zwischenfälle im OP-Ablauf oder geringe Nutzungsgrade dar. Im dritten Unterkapitel wird schließlich die Notwendigkeit der Optimierung bei der Versorgung mit sterilen chirurgischen Instrumenten begründet. Das Kapitel endet mit einer systematischen Literaturrecherche zu Optimierungsansätzen für den Sterilgutversorgungsprozess.

4.1 Systematische Literaturrecherche zu Kennzahlen zur Beurteilung des Sterilgutversorgungsprozesses

Zur Beurteilung der Zielerreichung können Kennzahlen herangezogen werden. In diesem Kapitel sollen geeignete Kennzahlen für die in Kapitel 3 formulierten Ziele der Sterilgutversorgung gefunden werden. Dazu wird zunächst eine systematische Literaturrecherche zu in der Literatur verwendeten Kennzahlen speziell zur Beurteilung der Sterilgutversorgung durchgeführt. Danach werden die Kennzahlen aus der Literatur den Zielen aus Kapitel 3 zugeordnet. Abschließend wird jeweils eine Kennzahl für die beiden Oberziele *einwandfreie Bereitstellung* und *minimale Kosten* gewählt.

Für die systematische Literaturrecherche wird das PRISMA-Konzept angewendet. PRISMA steht für Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyse.²¹⁸ Es handelt sich um ein Konzept zur einheitlichen Darstellung systematischer Übersichtsarbeiten und Metaanalysen und wurde speziell für den Bereich Healthcare entworfen.

²¹⁸ Vgl. auch im Weiteren Moher et al. (2009), S. 264-269.

Im Folgenden wird zunächst die Suchstrategie beschrieben und im Anschluss werden die Ergebnisse der Suche strukturiert dargestellt.

Als Datenbank für die Suche nach Literatur wird *PubMed* gewählt. Dabei handelt es sich um eine Meta-Datenbank für wissenschaftliche Artikel mit Healthcare-Bezug. Die Suche wird mit den Suchbegriffen „performance efficiency cost surgical instrument“ durchgeführt. Die Auswahl der Suchbegriffe ist folgendermaßen zu begründen: Ziel der Suche sind Kennzahlen zur Beurteilung der Sterilgutversorgung. Da der Begriff „Kennzahlen“ selten explizit enthalten ist, werden die Begriffe „performance“ und „efficiency“ verwendet, als das, was mit den Kennzahlen gemessen wird. Denn gesucht werden Kennzahlen zur Beurteilung der Leistung und Effizienz der Sterilgutversorgung in Abgrenzung zur technischen Ausstattung oder chemisch mikrobakteriellen Ergebnissen. Außerdem handelt es sich bei „key performance indicator“ um einen populären englischen Begriff für Kennzahlen. Der Begriff „cost“ soll sicherstellen, dass eine betriebswirtschaftliche Sichtweise eingenommen wird oder zumindest ökonomische Aspekte betrachtet werden. Die Begriffe „surgical instrument“ legen die Suche auf den Bereich der Sterilgutversorgung fest. Der Begriff Sterilisation wird bewusst vermieden, weil er bei einem Testsuchlauf zu viele Treffer zu medizinischen Methoden oder chemisch-technischen Studien geliefert hat.

Die Auswahl der Studien soll nach folgenden Kriterien erfolgen:

- Leistungen des Sterilgutversorgungsprozesses sind Gegenstand einer quantitativen Bewertung

Ausschlusskriterien hingegen sind:

- chemisch-technische Betrachtungsweise
- medizinische Betrachtungsweise
- Beurteilung von chirurgischen Instrumenten ohne Bezug zum Sterilgutversorgungsprozess

Des Weiteren werden standardmäßig Suchtreffer ausgeschlossen, die keine wissenschaftlichen Artikel darstellen oder zu denen kein Volltext zugänglich oder erhältlich ist.

Im Folgenden werden die Durchführung und die Ergebnisse der Suche beschrieben.

Die Suche mit den Suchbegriffen in *PubMed* ergibt 123 Treffer. Ein Artikel wird von *PubMed* doppelt aufgeführt. Drei Artikel sind nicht zugänglich und können deshalb nicht berücksichtigt werden. Des Weiteren wird ein Treffer entfernt, bei dem es sich um keinen wissenschaftlichen Artikel, sondern eine Kongressteilnehmerliste handelt. Ein weiterer Artikel wird entfernt, weil er sich mit Instrumenten für die Veterinärmedizin beschäftigt, an die so deutlich geringere hygienische Anforderungen gestellt werden, dass sie nicht vergleichbar sind. Für das Screening

verbleiben damit 117 Treffer, die auf die Selektions- und Ausschlusskriterien überprüft werden. Als Ergebnis der Selektion anhand der Ausschlusskriterien *chemisch-technische Betrachtungsweise* (3), *rein medizinisch* (75) und *kein Bezug zu Sterilgutversorgungsprozess* (30) werden 103 Treffer entfernt. Der erste Selektionsschritt reduziert die Anzahl von Treffern von 123 auf 9 relevante Studien.

Bei der Analyse der Treffer fällt der Artikel von Stockert und Langerman auf, weil seine primäre Fragestellung die Beurteilung des Sterilgutversorgungsprozesses ist. Die anderen Treffer verfolgen in erster Linie andere Fragestellungen und die Beurteilung des Sterilgutversorgungsprozesses stellt lediglich ein „Nebenprodukt“ dar. Deshalb hat sich die Autorin entschieden, mit dem Ziel weitere relevante Artikel zur Beurteilung des Sterilgutversorgungsprozesses zu finden, eine zweite Recherche in *Google Scholar* durchzuführen, deren Ausgangspunkt der Artikel von Stockert und Langerman sein soll. Mit dem Filter „zitiert von“ sollen in *Google Scholar* Artikel gesucht werden, die den Artikel von Stockert und Langerman zitieren. Auf diese Weise sollen Artikel mit gleicher oder ähnlicher Fragestellung gefunden werden. Im Anschluss an den Suchlauf findet die Auswahl nach den gleichen Selektions- und Ausschlusskriterien wie bei der Suche in *PubMed* statt.

Die Suche ergibt 65 Treffer. 13 Artikel sind nicht zugänglich, 2 werden ausgeschlossen, weil es sich um keinen wissenschaftlichen Artikel handelt. Ein portugiesischsprachiger und ein spanischsprachiger Artikel müssen ausgeschlossen werden. Für das Screening nach den Selektions- und Ausschlusskriterien verbleiben 48 Treffer. Aufgrund des Ausschlusskriteriums *rein medizinisch* werden fünf Treffer ausgeschlossen, anhand des Ausschlusskriteriums *kein Bezug zu Sterilgutversorgungsprozess* werden 22 Treffer ausgeschlossen. Zwei weitere Treffer werden ausgeschlossen aufgrund der chemisch-technischen Sichtweise sowie ein weiterer Treffer zu ökologischen Fragestellungen. Die Selektion reduziert die Anzahl von Treffern von 45 auf 18 relevante Treffer. Drei der relevanten Artikel sind ebenfalls Ergebnis der Suche in *PubMed*.

Beide Suchen wurden mit identischer Suchstrategie mehrfach wiederholt und zuletzt am 22.5.2021 aktualisiert.

In Abbildung 9 ist das PRISMA Flow Diagramm, das gemäß der PRISMA-Methode der grafischen Darstellung des Such- und Selektionsprozesses dient, dargestellt. Es fasst die Recherche zusammen.

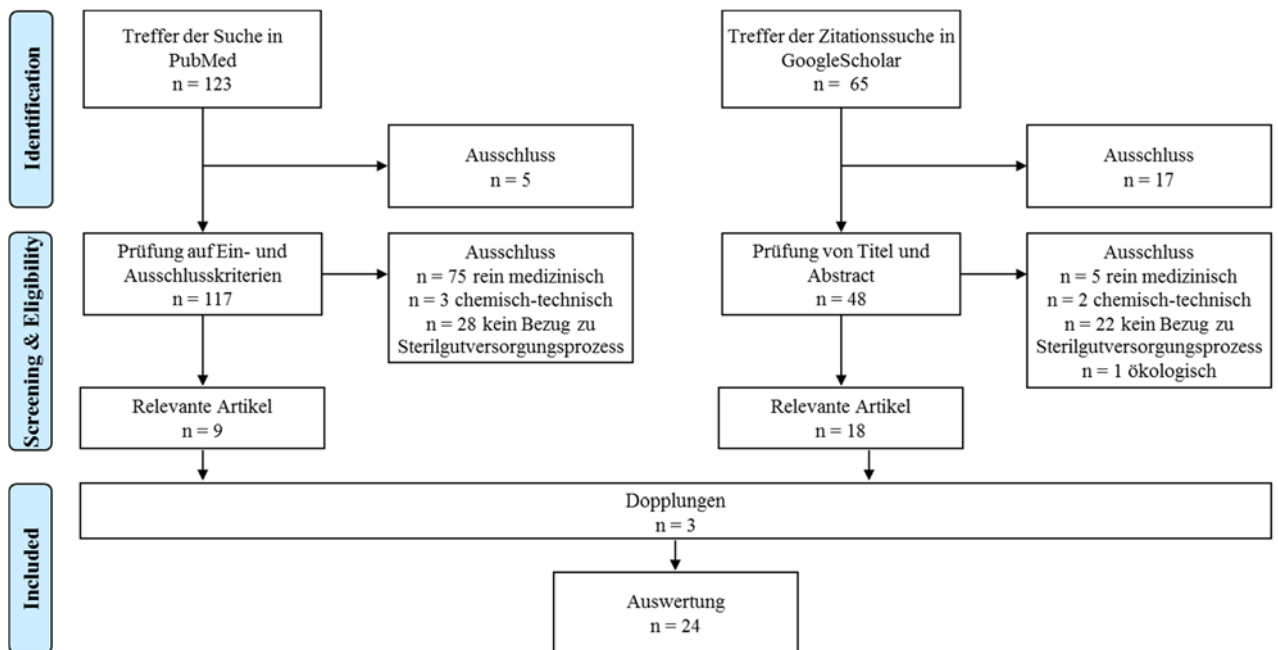


Abb. 9: PRISMA Flow Diagramm der systematischen Literaturrecherche nach Studien zu Kennzahlen zur Beurteilung der Zielerreichung.²¹⁹

Die in den beiden Suchläufen als relevant identifizierte Studien, die zur Auswertung herangezogen werden, sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt. Der obere heller unterlegte Teil führt die Studien des ersten Suchlaufs in *PubMed* auf, der dunkler unterlegte die Ergebnisse des zweiten Suchlaufs in *Google Scholar* und die weiß hinterlegten Studien wurden in beiden Recherchen gefunden.

Aus Gründen der Darstellung wurde für die in der Tabelle aufgeführten Studien auf Fußnoten verzichtet, da diese keine Information über den Tabelleneintrag hinaus enthalten würden.

| Studiennummer | Autoren | Jahr | Land |
|---------------|--------------------|------|-------------|
| 1 | Attard et al. | 2018 | UK |
| 2 | Bugbee et al. | 2020 | USA |
| 3 | Capra et al. | 2019 | USA |
| 4 | Chin et al. | 2014 | UK |
| 5 | Crosby et al. | 2020 | Kanada |
| 6 | DeMare et al. | 2020 | USA |
| 7 | Gidumal et al. | 2021 | USA |
| 8 | Stockert/Langerman | 2014 | USA |
| 9 | Tibesku et al. | 2013 | Deutschland |
| 10 | Ahmadi et al. | 2019 | USA |
| 11 | Alfred et al. | 2020 | USA |
| 12 | Barua/O'Regan | 2017 | UK |
| 13 | Chasseigne et al. | 2018 | Frankreich |
| 14 | Cichos et al. | 2017 | USA |

²¹⁹ Eigene Darstellung.

| | | | |
|----|----------------------|------|-------------|
| 15 | Dyas et al. | 2018 | USA |
| 16 | Dobson et al. | 2015 | USA |
| 17 | von Eiff | 2011 | Deutschland |
| 18 | Farrelly et al. | 2017 | USA |
| 19 | Fogliatto et al. | 2019 | Brasilien |
| 20 | John-Baptiste et al. | 2016 | UK, Kanada |
| 21 | Mhlaba et al. | 2015 | USA |
| 22 | van Meter/Adam | 2016 | USA |
| 23 | Nino et al. | 2020 | USA |
| 24 | Yoon et al. | 2018 | USA |

Tab. 3: Studien zu Kennzahlen zur Beurteilung der Zielerreichung.²²⁰

Die in der Tabelle aufgeführten Studien werden auf enthaltene Kennzahlen, die zur Beurteilung des Sterilgutversorgungsprozesses verwendet werden, analysiert. Die Kennzahlen werden anhand des abgebildeten Sachverhalts kategorisiert. Die Kategorien sind:

- Kennzahlen, die die zeitliche Dauer verschiedener Teilprozesse des Versorgungsprozesses berechnen.
- Kennzahlen, die die Kosten verschiedener Teilprozesse des Versorgungsprozesses beziffern.
- Kennzahlen, die die Anzahl an Sieben oder an Instrumenten im Bestand oder benutzter Siebe und Instrumente angeben.
- Kennzahlen, die den Anteil genutzter Instrumente in einem Sieb abbilden, sogenannte Nutzungsgrade.
- Kennzahlen, die das Gewicht der Siebe messen.
- Kennzahlen, die angeben, wie viele unerwünschte Ereignisse, deren Ursache im Sterilgutversorgungsprozess liegt, anfallen.

Die folgende Tabelle enthält in der ersten Spalte die soeben beschriebenen sieben Kategorien. In der zweiten Spalte ist angegeben, welche der Studien aus Tabelle 3 Kennzahlen aus den sieben Kategorien verwenden. Da es der Zweck dieses Kapitels ist, Kennzahlen für die Oberziele der Sterilgutversorgung zu finden, ist der dritten Spalte die Zuordnung zu einem der Oberziele gemäß Abbildung 8 zu entnehmen.

²²⁰ Eigene Darstellung.

| Kennzahlkategorie | Studiennummer | Zuordnung zu Ziel | Anzahl Studien |
|---------------------------|--------------------------------|-------------------|----------------|
| Prozessdauer | 1-6, 8, 9, 12, 15-24 | | 19 |
| Kosten | 3, 6, 8, 9, 13-22, 24 | Bereitstellung zu | 15 |
| Anzahl Siebe/ Instrumente | 1, 3-5, 8, 15-17, 22, 24 | minimalen Kosten | 10 |
| Nutzungsgrad | 4, 5, 7, 12-14, 17, 19, 21, 22 | | 11 |
| Siebgewicht | 1, 3, 10, 14, 15, 19 | einwandfreie | 6 |
| Zwischenfälle | 1, 8, 11, 13, 23 | Bereitstellung | 5 |

Tab. 4: Zuordnung der Kennzahlen zur Beurteilung der Zielerreichung zu den Oberzielen.²²¹

In der ersten Zeile ist angegeben, in welchen Studien Kennzahlen zur zeitlichen Dauer verschiedener Teilprozesse des Versorgungsprozesses genannt werden. Von den 24 Studien wird in 19 davon die Prozessdauer herangezogen, um den Sterilgutversorgungsprozess zu beurteilen. Der zweiten Zeile kann entnommen werden, dass in 15 der 24 Studien Kostenkennzahlen zur Beurteilung dienen. Sowohl für die Kosten- als auch für die Prozessdauer kennzahlen gilt, dass entsprechende Kennzahlen, über die in den Studien verwendeten Kennzahlen hinaus, für jeden einzelnen Abschnitt der Versorgungsprozesse, für jede Kostenart, jede Kostenstelle und jeden Kostenträger des Versorgungsprozesses definiert werden können.²²² Die Kennzahlen beider Kategorien sind dem wirtschaftlichen Oberziel der Sterilgutversorgung, der Bereitstellung zu minimalen Kosten, zugeordnet. Die Zuordnung lässt sich direkt aus Abbildung 8 ableiten, denn die Kostenziele sind darin als Unterzeile des Ziels *Bereitstellung zu minimalen Kosten* dargestellt. Die Kategorie der Kennzahlen zur Prozessdauer ist zwar nicht in Abbildung 8 zu finden, kann aber als untergeordnete Ebene der Kostenziele betrachtet werden, weil eine Abhängigkeit der Kosten von der Dauer der Prozesse besteht.

Die Kategorie der dritten Zeile fasst Kennzahlen zusammen, die die Anzahl an Sieben oder an Instrumenten im Bestand oder die Anzahl benutzter Siebe und Instrumente angeben. Sie werden in 10 der 24 Studien herangezogen. Entsprechende Zielgrößen sind ebenso wie im Fall der Kostenkennzahlen in Abbildung 8 zu finden und dienen dem Ziel der Bereitstellung zu minimalen Kosten.

Die nächste Zeile führt Studien zu Nutzungsgraden auf. Es handelt sich dabei um eine speziell für die Sterilgutversorgung entwickelte Kennzahl. Sie kommt in 11 der 24 Studien in Tabelle 3 zur Anwendung. In Kapitel 2.3.2 wurde die Verwendung von Sieben beschrieben. Mit der Gruppierung von Instrumenten in Siebe geht einher, dass nicht immer alle in einem Sieb enthaltenen Instrumente, die für einen Eingriff bereitgestellt werden, für den Eingriff benötigt werden. Es müssen trotzdem alle im geöffneten Sieb enthaltenen Instrumente den gesamten

²²¹ Eigene Darstellung.

²²² Vgl. Au/Rudmik (2013), S. 748-752.

Aufbereitungskreislauf durchlaufen.²²³ Die Aufbereitung verursacht Kosten, bindet Kapazitäten und verkürzt durch die Abnutzung im Aufbereitungsprozess die Nutzungsdauer der Mehrweginstrumente.²²⁴ Nutzungsgrade bilden ab, wie viele Instrumente unnötig aufbereitet werden. Im Allgemeinen handelt es sich um eine Verhältniskennzahl, die die für einen Eingriff zur Verfügung gestellten und die tatsächlich zum Einsatz gekommenen Instrumente ins Verhältnis setzt. Das heißt, sie gibt an, welcher Anteil der in einem Sieb enthaltenen Instrumente in einem Eingriff verwendet wurde. Im Umkehrschluss gibt sie also Auskunft darüber, wie viele Instrumente nicht benutzt und trotzdem aufbereitet werden. Nutzungsgrade können somit vermeidbare Kosten aufzeigen und werden deshalb dem Ziel *Bereitstellung zu minimalen Kosten* zugeordnet.

In der fünften Zeile werden die Analyseergebnisse zu Kennzahlen aufgeführt, die sich auf das Gewicht der Mehrwegsiebe beziehen. 6 von 24 Studien führen das Siebgewicht als Kennzahl an. Es kann zum einen als schnell und einfach messbare Annäherung an die Menge der Instrumente in einem Sieb dienen und zum anderen gibt es Hinweise auf die körperliche Belastung der AEMP-MitarbeiterInnen.²²⁵ Abgesehen von der Arbeitssicherheit, die nicht als Zielgröße in Abbildung 8 enthalten ist, können die Kennzahlen der Kategorie dazu dienen die Zielgröße *begrenzte Anzahl Instrumente pro Sieb*, die im Zielsystem aus Abbildung 8 dem Ziel *einwandfreie Bereitstellung* untergeordnet ist, abzubilden.

Die letzte Zeile enthält Kennzahlen zu instrumentenbedingten Zwischenfällen. Die Kennzahlen, die in der Kategorie zusammengefasst werden, sind vergleichsweise vielfältig. Sie enthält Kennzahlen, die den Anteil fehlender oder beschädigter Instrumente angibt genauso wie Kennzahlen zu Springerarbeitszeiten außerhalb des OP-Saals, die der kurzfristigen Nachlieferung von Instrumenten dienen, oder zu Wartezeiten der ChirurgInnen.²²⁶ Sie werden in 5 der 24 Studien als Kennzahlen für die Sterilgutversorgung herangezogen. Die Kennzahlen dieser Kategorie sind Hinweise auf Bereitstellungen, die nicht einwandfrei verlaufen und werden deshalb dem Ziel *einwandfreie Bereitstellung* zugeordnet.²²⁷ Fehlende Instrumente gefährden das Ziel *Bedarfsdeckung* aus Abbildung 8 und beschädigte Instrumente das Ziel *Funktionsfähigkeit*, beide sind Voraussetzung für das Oberziel der einwandfreien Bereitstellung. Die Kennzahlen zur Springerarbeitszeit außerhalb des OP-Saals und zur Wartezeit der ChirurgInnen quantifizieren die Folgen nicht einwandfreier Bereitstellungen.²²⁸

²²³ Vgl. Ahmadi et al. (2018), S. 6; Yoon et al. (2019), S. 70-71.

²²⁴ Vgl. Stockert/Langerman (2014), S. 647 und 652.

²²⁵ Vgl. Farrelly (2017), S. 324.

²²⁶ Vgl. Stockert/Langerman (2014), S. 647.

²²⁷ Vgl. Stockert/Langerman (2014), S. 650.

²²⁸ Vgl. Stockert/Langerman (2014), S. 647.

Je häufiger Ersatz für fehlende, beschädigte oder nicht saubere Instrumente benötigt wird, desto höher fallen die beiden Kennzahlen aus. Deshalb dienen sie dazu, die Funktion der Sterilgutversorgung als Hilfsprozess im OP abzubilden.

Es soll noch darauf hingewiesen werden, dass über die aufgeführten Kennzahlen, die explizit im Zusammenhang mit der Sterilgutversorgung veröffentlicht wurden, hinaus Kennzahlen zur Beurteilung der Sterilgutversorgung aus anderen Bereichen zur Verfügung stehen. Allen voran sind an dieser Stelle Logistikkennzahlen zu nennen. Da es sich beim Sterilgutversorgungsprozess um einen Logistikprozess handelt, kann zur Beurteilung auf ein breites Angebot an Kennzahlen aus der Logistik zurückgegriffen werden. Stellvertretend für die zahlreichen Logistikkennzahlen soll die Übertragbarkeit am Beispiel der Durchlaufzeit gezeigt werden. Die Durchlaufzeit stellt eine in der Logistik standardmäßig verwendete Kennzahl dar.²²⁹ Bezogen auf den Sterilgutversorgungsprozess könnte die Durchlaufzeit in der AEMP als die Zeit zwischen Ankunft eines Instruments oder Siebs aus dem OP und dem Abschluss der Sterilisation, definiert sein.²³⁰ Eine kurze Durchlaufzeit lässt effiziente und gut abgestimmte Prozesse vermuten.

Die Literaturrecherche zu Kennzahlen zur Beurteilung des Sterilgutversorgungsprozesses lässt sich folgendermaßen zusammenfassen: Die Anzahl an Studien, die sich speziell der Fragestellung widmet, erscheint vor dem Hintergrund der bereits geschilderten ökonomischen und prozessualen Bedeutung noch relativ gering. Umso mehr in Anbetracht der Tatsache, dass viele der Studien primär andere Fragestellungen verfolgen und die Beurteilung des Sterilgutversorgungsprozesses lediglich ein sekundärer Output ist. Gleichzeitig kann auf die Aktualität des Themas geschlossen werden, weil die Mehrzahl der Studien aus den letzten Jahren stammt. Beide Punkte weisen auf den Forschungsbedarf, den diese Arbeit leisten möchte, hin.

4.1.1 Ausgewählte Kennzahlen zur Abbildung der Oberziele der Sterilgutversorgung

Im Folgenden wird die Auswahl je einer Kennzahlkategorie für die Oberziele der Sterilgutversorgung begründet. Die durch die systematische Literaturrecherche identifizierten Kennzahlen zur Beurteilung der Sterilgutversorgung wurden durch Tabelle 4 einem der Oberziele im Zielsystem der Sterilgutversorgung zugeordnet. Für die weitere Argumentation

²²⁹ Vgl. Gottmann (2016), S. 48.

²³⁰ Vgl. auch im Weiteren van Meter/Adam (2016), S. 652.e2.

soll jeweils eine Kennzahl pro Oberziel gewählt werden, die als besonders geeignet gilt, die Zielerreichung in Bezug auf die Fragestellung dieser Arbeit zu beurteilen. Für das Ziel der minimalen Kosten liegt es auf den ersten Blick nahe, eine der Kostenkennzahlen zu wählen. Es ist jedoch zu beachten, dass im Sinne einer Kostenminimierung die minierbaren Kosten im Mittelpunkt stehen sollten. Das heißt, es geht weniger um die Höhe der Kosten, als vielmehr darum, ob geringere Kosten bei gleichem Output möglich wären. Zudem können die verschiedenen Kostenkennzahlen, die die systematische Literaturrecherche lieferte, ohne Referenz keine Aussage zum Stand der Kostenminimierung machen. Das gleiche gilt für die Kennzahlen der Kategorien *Prozessdauer* und *Anzahl* in den Zeilen 1 und 3 der Tabelle 4, denn sie sind den Kostenkennzahlen gemäß Zielsystem untergeordnet. Die Kennzahl *Nutzungsgrad* dagegen kann so interpretiert werden, dass sie aufzeigt, inwiefern das Ziel der Kostenminimierung verfehlt wird. Denn ein geringer Nutzungsgrad weist darauf hin, dass ein Teil der Aufbereitungskosten vermeidbar ist und somit die Kosten nicht auf minimalem Niveau sind. Deshalb wird der Nutzungsgrad für die Abbildung des wirtschaftlichen Ziels gewählt. Zur Abbildung des Ziels *einwandfreie Bereitstellung*, eignet sich eine Kennzahl zu Zwischenfällen im OP-Ablauf. Zweck der Versorgung mit sterilen chirurgischen Instrumenten ist die Unterstützung des OP-Prozesses. Der OP-Prozess stellt einen Hauptprozess im Krankenhaus dar und die Sterilgutversorgung einen Hilfsprozess dieses Hauptprozesses. Der Hilfsprozess soll den planmäßigen Ablauf des Hauptprozesses gewährleisten. Probleme im Hilfsprozess können Zwischenfälle im OP-Ablauf zur Folge haben.²³¹ Die Anzahl der Zwischenfälle im OP-Ablauf, die auf chirurgische Instrumente zurückzuführen sind, kann deshalb als Kennzahl zur Beurteilung des Sterilgutversorgungsprozesses herangezogen werden. Für die Kennzahl spricht zum einen, dass es gemäß der Prozessstruktur der primäre Zweck der Sterilgutversorgung ist, den OP-Prozess zu bedienen und zum anderen, dass Probleme im Sterilgutversorgungsprozess an der Schnittstelle zum OP-Prozess bei der Anwendung in einem Eingriff besonders deutlich sichtbar werden. Das liegt daran, dass spätestens in diesem Schritt Fehler aus den vorherigen Schritten bemerkt werden, dass Fehler in diesem Teilabschnitt schwieriger zu beheben sind und dass sie eher und besser dokumentiert werden. Den beiden Kennzahlen *Zwischenfälle im OP-Ablauf* und *Nutzungsgrad* werden im Folgenden jeweils ein eigenes Kapitel gewidmet, weil sie im Anschluss als Ausgangspunkt für die Ableitung des Optimierungsbedarfs herangezogen werden.

²³¹ Vgl. Diamant et al. (2018), S. 442.

4.1.2 Zwischenfälle im OP-Ablauf

Um eine Einschätzung zum Stand der Zielerreichung der Sterilgutversorgung anhand der Kennzahl *Zwischenfälle im OP-Ablauf* anstellen zu können, wird eine ergänzende systematische Literaturrecherche durchgeführt. Sie soll die weiteren Studien zu dieser Fragestellung finden, die in der Suche mit der Fragestellung aus Kapitel 4.1 nicht enthalten waren, weil sie beispielsweise aus der Perspektive des OP-Prozesses argumentieren oder nicht explizit chirurgische Instrumente und die Sterilgutversorgung als Ursache für Zwischenfälle im OP-Ablauf benennen.

Für die systematische Literaturrecherche wird wie in Kapitel 4.1 das PRISMA-Konzept verwendet und zunächst in *PubMed* und anschließend in *Google Scholar* gesucht. Die Suche in *PubMed* wird mit den Suchbegriffen „incident failure sterile instrument surgery“ durchgeführt. Die Auswahl der Suchbegriffe ist folgendermaßen zu begründen: Gesucht werden Studien zu Zwischenfällen im OP-Ablauf, die auf den Sterilgutversorgungsprozess zurückzuführen sind. Die Begriffe *incident* und *failure* stellen Suchbegriffe für den Sachverhalt unerwünschter Vorfälle dar. Die Begriffe *sterile* und *instrument* sollen einen Zusammenhang mit der Sterilgutversorgung sicherstellen und der Begriff *surgery* soll den Suchbereich auf Zwischenfälle im OP-Ablauf ausrichten.

Die Auswahl der Studien soll nach folgenden Kriterien erfolgen:

- Zwischenfälle im OP-Ablauf, deren Ursache im Zusammenhang mit der Sterilgutversorgung steht, werden quantitativ erfasst

Ausschlusskriterien hingegen sind:

- menschlich oder medizinische Ursachen ohne Bezug zu Sterilgutversorgung
- Betrachtung einer speziellen Methode oder spezieller Instrumente, die keine Aussagen darüber hinaus zulassen
- Ursache der Zwischenfälle im OP-Ablauf sind Hilfsmittel, Implantate oder technische Geräte, keine Instrumente

Des Weiteren werden standardmäßig Suchtreffer ausgeschlossen, die keine wissenschaftlichen Artikel darstellen oder zu denen kein Volltext zugänglich oder erhältlich ist.

Im Folgenden werden Durchführung und Ergebnisse der Suche beschrieben. Die Suche mit den Suchbegriffen in *PubMed* liefert 77 Treffer. Zwei Treffer werden ausgeschlossen, weil sie auf Französisch sind, einer, weil er aus dem Gebiet der Veterinärmedizin stammt und bei dem es sich um die Kongressteilnehmerliste, die auch bei der Recherche zu den Kennzahlen in der Trefferliste aufgeführt wurde. Die verbliebenen 73 Studien werden anhand der Selektions- und Ausschlusskriterien gescreent. 51 Studien werden ausgeschlossen, weil sie

ausschließlich Zwischenfälle mit menschlichen oder medizinischen Ursachen betrachten. Sechs weitere Studien werden aus der Trefferliste entfernt, weil sie spezielle Methoden betrachten und die Aussagekraft der Studien deshalb auf diese Sachverhalte begrenzt ist. Schließlich werden 13 Studien aufgrund des dritten Ausschlusskriteriums ausgeschlossen, das besagt, dass die Zwischenfälle ursächlich auf Instrumente, nicht auf sonstige Hilfsmittel, Implantate oder technische Geräte zurückzuführen sein sollen. Nach dem Screening verbleiben nur drei relevante Studien. Aufgrund der geringen Anzahl relevanter Treffer, sind Suchläufe mit leicht veränderten Suchbegriffen in *PubMed* getestet worden. Jedoch sind durch keinen davon mehr relevante Artikel gefunden worden. Da das Problem des geringen Sucherfolgs darin vermutet wird, dass es schwer ist, geeignete Suchbegriffe zu finden, die eine ausreichende Abgrenzung zu medizinischen Fragestellungen gewährleisten, aber gleichzeitig eine größere Anzahl relevanter Studien zu instrumentenbedingten Zwischenfällen im OP-Ablauf liefern, wird auf eine andere Suchstrategie ausgewichen.

Ausgehend von der ältesten und zudem unter dem Aspekt der Zielsetzung zutreffendsten Studie aus der *PubMed*-Recherche wird eine Suche in *Google Scholar* durchgeführt. Es handelt sich um die Studie von Wubben et al. aus dem Jahr 2010. Mit Hilfe der entsprechenden Suchfunktion in *Google Scholar* werden alle Studien gesucht, die die Studie von Wubben et al. zitieren. Diese Vorgehensweise schränkt die Suche automatisch auf Studien ab 2010 ein. Laut *Google Scholar* zitieren 38 Artikel die Studie von Wubben et al. zu instrumentenbezogenen Zwischenfällen im OP-Ablauf. Sechs Artikel darunter sind nicht zugänglich, zwei sind nicht von wissenschaftlicher Qualität und drei Artikel werden doppelt aufgeführt. Es verbleiben 27 Artikel, die hinsichtlich der gleichen Kriterien wie bei der *PubMed*-Suche gescreent werden. 6 Artikel werden ausgeschlossen, weil sie menschliche oder medizinische Zwischenfälle ohne Bezug zur Sterilgutversorgung behandeln. 5 Artikel betrachten nur eine spezielle Methode oder spezielle Instrumente, weswegen keine Aussagen zur Sterilgutversorgung insgesamt abzuleiten sind. 2 Artikel werden durch das Ausschlusskriterium, dass Hilfsmittel, Implantate oder technische Geräte die Ursache der Zwischenfälle im OP-Ablauf sind, entfernt. 5 weitere Artikel fallen zwar unter keines der Ausschlusskriterien, werden aber ausgeschlossen, weil sie Architektur, Instrumentendesign, ambulante Pflege, Inventarsimulationen oder traditionelle chinesische Medizin behandeln und somit nicht der Suchanfrage entsprechen. Die Selektion reduziert die Anzahl von Treffern von 38 auf 9 Treffer. Zusammen mit dem ersten Suchlauf in *PubMed* wurden also zwölf Studien zu instrumentenbedingten Zwischenfällen im OP-Ablauf gefunden. Beide Suchen wurden mit identischer Suchstrategie mehrfach wiederholt und zuletzt

am 22.5.2021 aktualisiert. Das PRISMA Flow Diagramm zu der beschriebenen systematischen Literaturrecherche ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

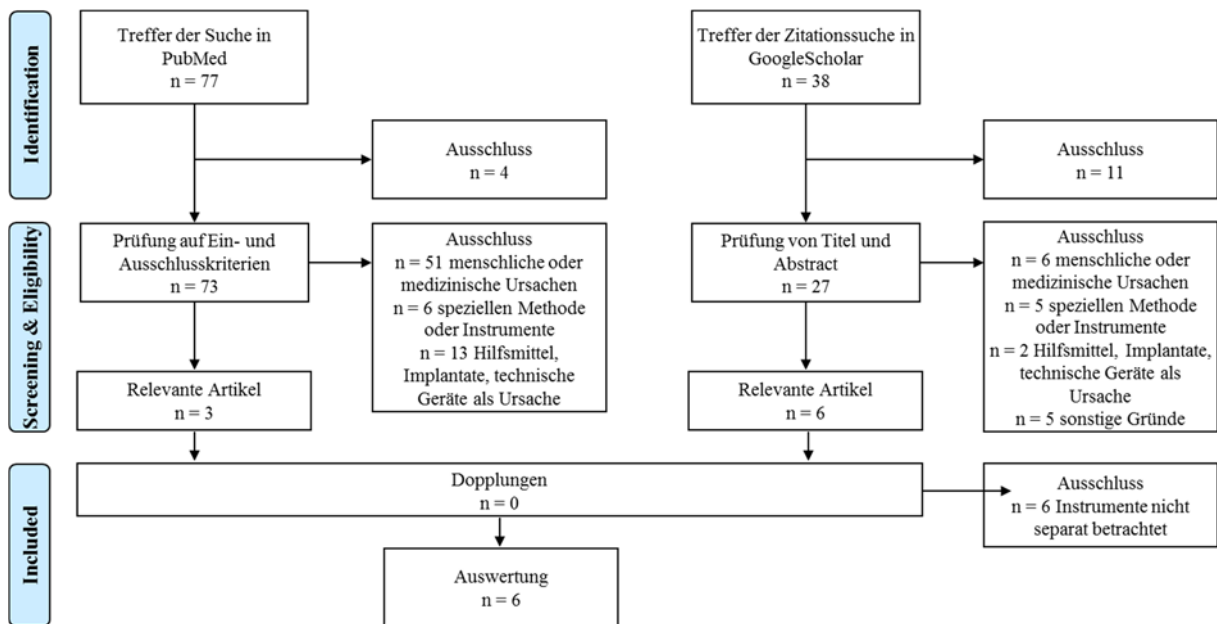


Abb. 10: PRISMA Flow Diagramm der systematischen Literaturrecherche nach Studien zu Zwischenfällen im OP-Ablauf.²³²

Bei der Analyse der Studien fiel auf, dass nicht alle Studien, die Instrumente als Ursache von Zwischenfällen im OP-Ablauf untersuchen, chirurgische Instrumente von anderen Arten von chirurgischer Ausstattung, wie beispielsweise technischen Geräten, abgrenzen.²³³ Da jedoch technisch aufwendige Geräte im Vergleich zu rein mechanischen Instrumenten ein höheres Fehlerrisiko aufweisen, verzerrt die fehlende Differenzierung die Einschätzung für instrumentenbezogene Zwischenfälle.²³⁴ Aus diesem Grund werden 6 Studien, die Instrumente nicht separat von technischen Geräten betrachten, nicht zur Auswertung verwendet.

Die durch die systematische Literaturrecherche als relevant identifizierte Studien sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt. Ebenso wie für die Tabelle zur Kennzahlrecherche gilt, dass der obere heller unterlegte Teil die Studien des ersten Suchlaufs in *PubMed* aufführt, der dunkler unterlegte die Ergebnisse des zweiten Suchlaufs in *Google Scholar*. Außerdem wird aus Gründen der Darstellung und Sinnhaftigkeit wieder auf Fußnoten in der Tabelle verzichtet, die keine Information über den Tabelleneintrag hinaus enthalten. In der ersten Spalte sind die Autoren zu finden, in der zweiten das Jahr der Veröffentlichung und in der dritten Spalte das Land, in dem die Studie stattfand. In den letzten beiden Spalten werden ausgewählte Ergebnisse

²³² Eigene Darstellung.

²³³ Vgl. van Beuzekom et al. (2012); Cooper et al. (2002); Rodrigues et al. (2012); Verdaasdonk et al. (2007); Weerakkody et al. (2013); Wong (2010).

²³⁴ Vgl. Verdaasdonk et al. (2007), S. 276.

der Studien gegenübergestellt. Im Anschluss an die Tabelle werden die Ergebnisse der sechs als relevant für die Fragestellung der instrumentenbezogenen Zwischenfälle im OP-Ablauf identifizierten Studien jeweils in einem kurzen Absatz zusammengefasst. Danach werden die letzten beiden Spalten erklärt und diskutiert.

| Autoren | Jahr | Land | Anzahl Eingriffe | Durchschnittlicher Anteil an Eingriffen mit instrumentenbedingten Zwischenfällen | Anteil instrumentenbedingter Zwischenfälle an gesamten Zwischenfällen |
|--------------------------------|-------------|-------------|-------------------------|---|--|
| Harders et al. ²³⁵ | 2006 | USA | 239 | 7 % | 10 % |
| Stockert/Langerman | 2014 | USA | 49 | - | - |
| Wubben et al. ²³⁶ | 2010 | Niederlande | 911 | 7 % | 46 %* |
| Alfred et al. ²³⁷ | 2020 | USA | 41.799 | 9 % | ..** |
| Driessen et al. ²³⁸ | 2017 | Niederlande | 920 | 4 % | 10 % |
| Guédon et al. | 2016 | Niederlande | | - | - |

* Bezugsgröße beinhaltet nur Zwischenfälle aufgrund von chirurgischer Ausstattung

** keine Bezugsgröße, da nur instrumentenbezogenen Zwischenfälle betrachtet

Tab. 5: Studien zu Zwischenfällen im OP-Ablauf.²³⁹

Harders et al. untersuchten 2006 an einem US-amerikanischen Universitätsklinikum unter anderem die Ursachen für Verzögerungen bei chirurgischen Eingriffen von mehr als 35 Minuten Dauer. Im Zuge der Untersuchung konnte festgestellt werden, dass nicht verfügbare Instrumente der häufigste nicht medizinische Grund für Verzögerungen von Eingriffen waren und der zweithäufigste Grund unter allen untersuchten Ursachen.²⁴⁰ 10 % der 170 Verspätungen in 239 betrachteten chirurgischen Eingriffen waren durch nicht verfügbare Instrumente oder Hilfsmittel verursacht.²⁴¹ Zu den anderen untersuchten möglichen Ursachen gehörten beispielsweise medizinische Komplikationen, verspätetes Eintreffen von PatientInnen, Anästhesisten oder ChirurgInnen, technische Probleme und fehlende Labor- oder Diagnoseberichte.

In einer fragebogenbasierten Untersuchung von Wubben et al. 2010 in einem großen Lehrkrankenhaus in den Niederlanden wurden für 16 % der 911 beobachteten chirurgischen Eingriffe Zwischenfälle aufgrund der chirurgischen Ausstattung gemeldet.²⁴² Die Autoren

²³⁵ Vgl. Harders et al. (2006), S. 512.

²³⁶ Vgl. Wubben et al. (2010), S. 2.

²³⁷ Vgl. Alfred et al. (2020), S. 7.

²³⁸ Vgl. Driessen et al. (2017), S. 2470.

²³⁹ Eigene Darstellung.

²⁴⁰ Vgl. Harders et al. (2006), S. 511.

²⁴¹ Vgl. auch im Weiteren Harders et al. (2006), S. 512.

²⁴² Vgl. Wubben et al. (2010), S. 2.

weisen, darauf hin, dass dieser Wert möglicherweise aufgrund des Rückmeldungsverhaltens zu hoch ausfällt. Denn sie stellten fest, dass die Fragebögen zu Zwischenfällen eher für Eingriffe mit Zwischenfällen ausgefüllt wurden.²⁴³ Sie schätzen aber trotzdem, dass der Anteil an Zwischenfällen aufgrund der chirurgischen Ausstattung nicht unter 9 % liegt. Von diesen Zwischenfällen werden 46 % durch chirurgische Instrumente verursacht.²⁴⁴ Dass chirurgische Instrumente im OP fehlen, stellte mit 14 % die zweithäufigste Ursache für Zwischenfälle aufgrund der chirurgischen Ausstattung dar.²⁴⁵ Die Folgen eines Zwischenfalls wurden auf durchschnittlich 12 Minuten zusätzliche Arbeitszeit für das chirurgische Team und 5 Minuten Verspätung des OP-Plans kalkuliert. Unter der Annahme eines Minutensatzes für den OP in Höhe von 40-50 Euro, wie er in einem Artikel des Ärzteblatts angegeben wird, fallen während dieser Verzögerung 200-250 Euro Kosten an, denen keine Erlöse gegenüberstehen.²⁴⁶ Hieran wird nochmal die unmittelbare ökonomische Relevanz einer einwandfreien Sterilgutversorgung deutlich.

Die jüngste Studie der Tabelle stammt von Alfred et al. aus dem Jahr 2020. In einer retrospektiven Studie an einem US-amerikanischen Universitätsklinikum wurden Daten zu 41.799 chirurgischen Eingriffen ausgewertet.²⁴⁷ Der Prozessschritt der Siebzusammenstellung war Gegenstand der Untersuchung und die Zwischenfälle im OP-Ablauf wurden herangezogen, um auf Anzahl und Art der Fehler im Siebzusammenstellungsprozess zu schließen. In durchschnittlich 9 % der Fälle wiesen Zwischenfälle im OP-Ablauf auf fehlerhafte Siebe hin. Die häufigsten Fehler bei der Siebzusammenstellung waren fehlende Instrumente (18 %), beschädigte Instrumente (11 %) und falsche Instrumente (9 %).²⁴⁸

Driessen et al. verfolgen mit ihrer Studie aus dem Jahr 2017 das Ziel, Risikofaktoren und ihre Folgen für die Patientensicherheit in einem minimal-invasiven Eingriff zu bestimmen.²⁴⁹ Die Daten der Studie stammen aus mehreren gynäkologischen Einrichtungen in den Niederlanden, aus denen ChirurgInnen Risikofaktoren meldeten.²⁵⁰ Aus den betrachteten 2237 Eingriffen wurden in 920 Eingriffen Risikofaktoren gemeldet.²⁵¹ Nach den ChirurgInnen und chirurgischen Teams stellte die technische Ausstattung den dritthäufigsten Risikofaktor dar.

²⁴³ Vgl. Wubben et al. (2010), S. 4.

²⁴⁴ Vgl. Wubben et al. (2010), S. 2.

²⁴⁵ Vgl. Wubben et al. (2010), S. 3.

²⁴⁶ Vgl. Fleischer (2012), S. A2555.

²⁴⁷ Vgl. auch im Weiteren Alfred et al. (2020), S. 7.

²⁴⁸ Vgl. Alfred et al. (2020), S. 10.

²⁴⁹ Vgl. Driessen et al. (2017), S. 2467.

²⁵⁰ Vgl. Driessen et al. (2017), S. 2468.

²⁵¹ Vgl. auch im Weiteren Driessen et al. (2017), S. 2470.

Die Ursache von 4 % der gemeldeten Risikofaktoren waren fehlende oder nicht funktionsfähige Instrumente.²⁵²

Guédon et al. untersuchten im Jahr 2016 mit einer qualitativen Studie in zwei niederländischen Krankenhäusern (ein Universitätsklinikum mit eigener AEMP, ein Lehrkrankenhaus, das die AEMP ausgelagert hat) Fehlerrisiken im Prozess der Sterilgutversorgung.²⁵³ Risiken und Risikoquellen werden durch qualitative Prozessanalysen multidisziplinärer Teams erarbeitet und bewertet.²⁵⁴ Die Bewertung richtete sich nach der Häufigkeit, den Folgen für die Patientensicherheit und nach den Kontrollmöglichkeiten.²⁵⁵ Ergebnisse der Analyse bei interner Aufbereitung waren 172 Risiken und Risikoquellen im Sterilgutversorgungsprozess.²⁵⁶ Darunter wurden 23 als hochriskant eingestuft, was bedeutet, dass sie zu einer Verzögerung oder dem Abbruch der OP und schwerwiegenden Folgen für den PatientInnen führen können.²⁵⁷ Die Differenzierung der Risiken nach Teilprozessen ergab, dass 16 % der festgestellten Risiken auf die Sterilisation zurückzuführen waren.²⁵⁸ Guédon et al. kommen deshalb zu dem Schluss, dass Risiken für die Patientensicherheit aufgrund von Defiziten in der Sterilgutversorgung bestehen und dass viele der Risiken als hoch zu bewerten sind.²⁵⁹

Für ihren Artikel aus dem Jahr 2014 führten Stockert und Langerman eine Beobachtungsstudie an einem US-amerikanischen Universitätsklinikum durch.²⁶⁰ Es wurden 237 Siebe in 49 Eingriffen untersucht.²⁶¹ Untersucht wurde zum einen der Nutzungsgrad, der im nächsten Kapitel besprochen wird, und zum anderen die Vollständigkeit und Korrektheit der Siebe. Außerdem wurde untersucht, wie oft Instrumente nach OP-Beginn nachgeliefert werden müssen und wie lange die ChirurgInnen auf Instrumente warten müssen.²⁶² Beides sind Folgen von instrumentenbedingten Zwischenfällen. Durchschnittlich musste der OP-Saal drei bis sechs Mal pro Stunde verlassen werden, um Instrumente zu besorgen.²⁶³ In 29 % der Eingriffe mussten ChirurgInnen auf Instrumente warten. Zu beachten ist, dass keine Differenzierung dahingehend stattfand, ob das Instrument aus medizinischen Gründen nachträglich besorgt werden musste oder wegen eines Defizits bei der Sterilgutversorgung. Was die Vollständigkeit

²⁵² Vgl. Driessen et al. (2017), S. 2469.

²⁵³ Vgl. Guédon et al. (2016), S. 2728-2729.

²⁵⁴ Vgl. Guédon et al. (2016), S.2729.

²⁵⁵ Vgl. Guédon et al. (2016), S. 2730.

²⁵⁶ Vgl. Guédon et al. (2016), S. 2733.

²⁵⁷ Vgl. Guédon et al. (2016), S. 2730.

²⁵⁸ Vgl. Guédon et al. (2016), S. 2732.

²⁵⁹ Vgl. Guédon et al. (2016), S.2733.

²⁶⁰ Vgl. Stockert/Langerman (2014), S. 647.

²⁶¹ Vgl. Stockert/Langerman (2014), S. 649-650.

²⁶² Vgl. Stockert/Langerman (2014), S. 647.

²⁶³ Vgl. auch im Weiteren Stockert/Langerman (2014), S. 650.

und Korrektheit der Siebe angeht, stellten Stockert und Langerman fest, dass von den bereitgestellten Sieben bei 11 % der Siebe, die an den OP geliefert wurden, Instrumente fehlten und dass 6 % der Siebe defekte Instrumente enthielten. In den 49 beobachteten Eingriffen wurden während des Eingriffs 18 Siebe aufgrund fehlender oder defekter Instrumente oder aufgrund eines unvorhergesehenen Bedarfs nachgefordert. Das entspricht 8 % der Siebe.

Die in den vorangegangenen Absätzen wiedergegebenen Studienergebnisse sollen anhand von zwei Kennzahlen zusammengefasst werden: dem durchschnittlichen Anteil an Eingriffen mit instrumentenbedingten Zwischenfällen und dem Anteil instrumentenbedingter Zwischenfälle an den gesamten Zwischenfällen.

- Der durchschnittliche Anteil an Eingriffen mit instrumentenbedingten Zwischenfällen, das heißt die Anzahl an instrumentenbedingten Zwischenfällen im Verhältnis zur gesamten Anzahl Eingriffe zeigt, wie häufig Zwischenfälle aufgrund von Instrumenten vorkommen. Die Kennzahl wurde, wenn sie nicht in der Studie explizit erhoben wurde, aus den Angaben berechnet. Der Wert ist in der zweitletzten Spalte von Tabelle 5 eingetragen und liegt zwischen 4 und 9 %.
- Der Anteil instrumentenbedingter Zwischenfälle an den gesamten Zwischenfällen, das heißt die Anzahl an instrumentenbedingten Zwischenfällen im Verhältnis zur gesamten Anzahl an Zwischenfällen, zeigt, welche Bedeutung instrumentenbezogene Zwischenfälle relativ zur Vielzahl an anderen Einflussfaktoren (unter anderem die chirurgische Leistung oder medizinischen Faktoren)²⁶⁴ auf das chirurgische Ergebnis haben. Die Höhe der Kennzahl auf Basis der Ergebnisse der Studien ist in der letzten Spalte von Tabelle 5 zu finden. Die Kennzahl liegt für die beiden Studien, aus deren Daten der Wert berechnet werden konnte, bei 10 %.

Für die Studien von Stockert und Langerman sowie Guédon et al. sind keine Angaben zu den beiden Kennzahlen in die Tabelle eingetragen, weil sie aufgrund fehlender Angaben in den Studien nicht berechnet werden konnten.

Die Frage dieses Kapitels lautet, ob die Häufigkeit von instrumentenbedingten Zwischenfällen auf eine Diskrepanz zwischen dem Ziel *einwandfreie Bereitstellung* und dem Stand der Zielerreichung laut Literatur Versorgung hinweisen.

Aus den Erkenntnissen der Studien wird zusammengefasst, dass Fehler bei der Sterilgutversorgung in 4 bis 9 % der Eingriffe zu Zwischenfällen führen und dass der Sterilgutversorgung 10 % der Zwischenfälle bei chirurgischen Eingriffen ursächlich

²⁶⁴ Vgl. Harders et al. (2006), S. 512.

zugeschrieben werden. Instrumentenbedingte Zwischenfälle werden in der Studie von Harders et al., die unter den betrachteten Studien die größte Anzahl an Zwischenfallursachen berücksichtigt, sogar als häufigste nicht medizinische Ursache für Verzögerungen im OP-Prozess identifiziert.²⁶⁵ Aus der Auswertung der Kennzahl kann demnach geschlossen werden, dass das Ziel der einwandfreien Bereitstellung in vielen Fällen verfehlt wird.

Auch wenn sich die Zwischenfälle im OP-Ablauf primär als Kennzahl zur Beurteilung der Qualität anbieten und auf Mängel hinsichtlich des Ziels *einwandfreie Bereitstellung* hinweisen, soll noch angemerkt werden, dass sie auch Rückschlüsse auf Mängel hinsichtlich des Ziels *Bereitstellung zu minimalen Kosten* zulassen. Denn wie im Zielsystem in Kapitel 3 beschrieben, besteht ein Zusammenhang zwischen mangelhafter Bereitstellung und der Kostenkategorie der Folgekosten.

4.1.3 Nutzungsgrad

In der Literatur finden sich unterschiedliche Formen von Nutzungsgraden.²⁶⁶ Die gemeinsame Grundform der Berechnung des Nutzungsgrads lautet:

$$\text{Nutzungsgrad} = \frac{\text{Anzahl genutzter Instrumente}}{\text{Anzahl zur Verfügung gestellter Instrumente}} \quad 267$$

Jedoch können sich die Nutzungsgrade darin unterscheiden, wie Zähler und Nenner definiert sind. Das heißt, welche Instrumente als genutzte Instrumente (Zähler) gelten und welche Instrumente als zur Verfügung gestellt (Nenner) gelten. Zur Veranschaulichung dieser Definitionsmöglichkeiten wird eine Abbildung herangezogen. Die Definitionsmöglichkeiten richten sich nach den unterschiedlichen Gründen für die Nichtnutzung eines bereitgestellten Instruments. Abbildung 9 zeigt die möglichen Gründe.

| | | | | |
|--|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| für einen Eingriff zur Verfügung gestellte Instrumente | | | | |
| benutzt | nicht benutzt | | | |
| | mangelhafte Lieferung | obsoletes Instrument | Gruppierung in Siebe | optionale Instrumente |

Abb. 11: Mögliche Gründe für die Nichtnutzung eines Instruments.²⁶⁸

²⁶⁵ Vgl. Harders et al. (2006), S. 511.

²⁶⁶ Vgl. Chasseigne et al. (2018), S. 20; Mhlaba et al. (2015), S.84; Chin et al. (2014), S. 2; Stockert/Langerman (2014), S. 650.

²⁶⁷ Vgl. Chin et al. (2014), S. 2; Stockert/Langerman (2014), S. 649; Mhlaba et al. (2015), S. 84.

²⁶⁸ Eigene Darstellung.

Abbildung 11 nimmt zunächst eine Unterteilung der für einen Eingriff zur Verfügung gestellten Instrumente in benutzte und nicht benutzte Instrumente vor. Die nicht benutzten Instrumente werden in der untersten Ebene der Abbildung unterteilt in die möglichen Gründe für die Nichtnutzung. Sie werden von links nach rechts beschrieben.

Ganz links findet man die mangelhafte Lieferung als möglichen Grund. Ein Instrument, das für einen Eingriff steril bereitgestellt, aber nicht genutzt wurde, kann eine mangelhafte Bereitstellung gewesen sein, wenn ein falsches, ein nicht funktionsfähiges oder ein nicht sauberes Instrument geliefert worden ist.²⁶⁹ Ein weiterer Grund, weswegen ein Instrument nicht genutzt wird, ist, dass es obsolet ist. Diese Ursache steht an zweiter Stelle von links. Beispielsweise sind obsolete Instrumente in Sieben vorzufinden, wenn ein technisch weiterentwickeltes Instrument in das Sieb aufgenommen wurde, ohne den Vorgänger aus dem Sieb zu entfernen.²⁷⁰ Der Siebtyp enthält also ein anderes Instrument, das die gleiche Funktion erfüllt, aber bevorzugt wird. Oder ein Instrument ist obsolet, weil chirurgenspezifische Instrumente nach Weggang der entsprechenden ChirurgInnen nicht aus dem Sieb entfernt wurden.²⁷¹ Im Fall obsoleter Instrumente ist die Nichtnutzung des Instruments in der entsprechenden Eingriff-Siebtyp-Kombination regelmäßig zu beobachten. Eine regelmäßige Nichtnutzung ist auch beim dritten Grund der Siebgruppierung zu beobachten. Ein Sieb, das für mehrere unterschiedliche Eingriffe mit unterschiedlichem Instrumentenbedarf zur Anwendung kommt, enthält Instrumente, die nicht in jedem dieser Eingriffe benötigt werden. Das heißt, für diesen Fall werden Instrumente bei bestimmten Eingriffen planmäßig und regelmäßig nicht benutzt. Der vierte mögliche Grund, dass ein Instrument nicht genutzt wird, ist, dass sein Einsatz nur optional ist. Das ist der Fall, wenn Optionen, beispielsweise unterschiedliche Größen oder Materialien, zur Auswahl stehen müssen oder wenn Optionen abhängig vom OP-Verlauf zur Verfügung stehen müssen oder der Umfang des Eingriffs erst während und durch den Eingriff festgestellt wird.²⁷² Auch können für mehr oder weniger wahrscheinliche Komplikationen oder Planabweichungen Instrumente vorgehalten werden.²⁷³ Wie der Nutzungsgrad letztendlich im Detail definiert wird, hängt davon ab, welchem Zweck die Kennzahl dient und welche Informationen in ihr enthalten sein sollen. Für einen handlungsorientierten Nutzungsgrad ist es beispielsweise wichtig, zwischen den beeinflussbaren und nicht beeinflussbaren Gründen für die Nichtnutzung eines bereitgestellten

²⁶⁹ Vgl. Stockert/Langerman (2014), S. 647; Yoon et al. (2019), S. 70.

²⁷⁰ Vgl. Farrokhi et al. (2015), S. 278.

²⁷¹ Vgl. Yoon et al. (2019), S. 71-72; Wannemuehler et al. (2015), S. 2811.

²⁷² Vgl. Stockert/Langerman (2014), S. 653-654; Dobson et al. (2015), S. 226; Ahmadi et al. (2019), S. 339.

²⁷³ Vgl. Ahmadi et al. (2018), S. 2.

Instruments zu differenzieren. Es ist also zu entscheiden, welche der in der vorangegangenen Abbildung aufgeführten Gründe in der Kennzahl Berücksichtigung finden sollen. Soll die Kennzahl, wie in dieser Arbeit zur Beurteilung der Zielerreichung dienen, ist die entscheidende Frage, welches Ziel durch die Kennzahl beurteilt werden soll. Je nachdem sind andere Nichtnutzungsgründe heranzuziehen:

- Fehllieferungen als erster möglicher Nichtnutzungsgrund sind Folge von Defiziten im Bereitstellungsprozess und damit ein Hinweis auf Optimierungsbedarf hinsichtlich der Qualitätsziele der Sterilgutversorgung.
- Obsolete Instrumente und Nichtnutzung aufgrund der Siebgruppierung stellen zwar beide regelmäßige Nichtnutzungsgründe dar, unterscheiden sich jedoch in Bezug auf die Vermeidbarkeit. Obsolete Instrumente sind das Ergebnis mangelnder Sorgfalt und unerwünscht.
- Die Nichtnutzung aufgrund der Siebgruppierung kann hingegen aus qualitativen und wirtschaftlichen Gründen vorteilhaft sein. Sie stellt kein per se unerwünschtes Ereignis dar, sondern ist logische Folge des Prinzips der Gruppierung von Instrumenten in Siebe, die für mehrere Eingriffe vorgesehen sind. Aber auch wenn Nichtnutzungen in solchen Fällen bewusst in Kauf genommen werden, kann ein geringer Nutzungsgrad auf Optimierungsbedarf hinsichtlich der Zuordnung der Instrumente in Siebe hinweisen.
- Der vierte Nichtnutzungsgrund, dass Optionen zur Verfügung stehen müssen, ist medizinisch begründet. Risiko und Sicherheitsbedürfnis sind gegen die Nachteile großer Siebe und unnötiger Aufbereitungen abzuwägen.²⁷⁴ Optionale Instrumente, die aus medizinischen Gründen vorzuhalten sind, sollten nicht in einen handlungsorientierten Nutzungsgrad einfließen.

Im Folgenden sollen die Ergebnisse verschiedener Studien, die Nutzungsgrade untersucht haben, vorgestellt werden. Da der Nutzungsgrad eine speziell für die Sterilgutversorgung entwickelte Kennzahl darstellt und zudem der Artikel von Stockert und Langerman, der Ausgangspunkt des zweiten Suchlaufs in Kapitel 4.1 war, einen der meist zitierten Artikel zu Nutzungsgraden darstellt, wird davon ausgegangen, dass die systematische Literaturrecherche aus 4.1 bereits die relevanten Studien zum Nutzungsgrad enthält. In der folgenden Tabelle sind diejenigen Studien aus der Recherche in Kapitel 4.1 zu finden, die einen Nutzungsgrad bestimmen.

²⁷⁴ Vgl. Stockert/Langerman (2014), S. 654.

| Autoren | Jahr | Land | Beobachteter Nutzungsgrad |
|--------------------|-------------|-------------|---|
| Barua/O'Regan | 2017 | UK | 30 bis 39 % ²⁷⁵ |
| Chasseigne et al. | 2018 | Frankreich | 58,3 und 95,8 % ²⁷⁶ |
| Chin et al. | 2014 | Kanada | durchschnittlich 27,8 % ²⁷⁷ |
| von Eiff et al. | 2019 | Deutschland | 26,3 bis 50,6 % ²⁷⁸ |
| Gidumal | 2021 | USA | 10 bis 43 %, durchschnittlich 17 % ²⁷⁹ |
| van Meter/Adam | 2016 | USA | 14 % und 26 %. ²⁸⁰ |
| Mhlaba et al. | 2015 | USA | durchschnittlich 22 % ²⁸¹ |
| Stockert/Langerman | 2014 | USA | 13 % und 22 %. ²⁸² |

Tab. 6: Studien zu Nutzungsgraden und Höhe der Nutzungsgrade.²⁸³

Die erste in der Tabelle angeführte Studie ist von Barua und O'Regan aus dem Jahr 2017. Es wurde eine viermonatige Beobachtungsstudie an einem Lehrkrankenhaus in Großbritannien durchgeführt.²⁸⁴ Die Beschreibung des Untersuchungsumfangs ist leider unvollständig, weshalb auch die Aussagekraft fraglich bleiben muss. Beobachtet wurde das Instrumentennutzungsverhalten von vier verschiedenen ChirurgInnen in jeweils vier Arten von Eingriffen. Das Ergebnis waren chirurgenspezifische Nutzungsgrade, die zwischen 30 und 39 % lagen.

Für den Artikel von Chasseigne et al. aus dem Jahr 2018 wurde zwischen Juli und August 2015 eine Beobachtungsstudie über 55 chirurgische Eingriffe in drei verschiedenen Abteilungen eines französischen Universitätskrankenhauses mit 1980 Betten zur Verwendung sowohl von Einweg- als auch von Mehrwegmaterialien durchgeführt.²⁸⁵ Die Studie bestimmt mehrere Nutzungsgrade. Zum einen differenziert sie zwischen den vorbereiteten Instrumenten, in diejenigen, deren Verpackung oder Sieb gar nicht erst geöffnet worden ist, und denen, deren Verpackung oder Sieb geöffnet worden ist.²⁸⁶ Zum anderen berechnet sie einen Nutzungsgrad mit und einen ohne Berücksichtigung besonders häufig nicht benutzten Einwegprodukte Handschuhe, Hemden und Nahtmaterial. Der Nutzungsgrad der insgesamt laut Bedarfsliste bereitgestellten Instrumente liegt zwischen 58,3 und 95,8 %. Von den vorbereiteten Instrumenten wurden zwischen 4,2 und 33,3 %, nicht geöffnete und 0 bis 8,5 % geöffnete

²⁷⁵ Vgl. Barua/O'Regan (2017), S. 1.

²⁷⁶ Vgl. Chasseigne et al. (2018), S. 20.

²⁷⁷ Vgl. Chin (2014), S. 2.

²⁷⁸ Vgl. von Eiff et al. (2019), S. 964.

²⁷⁹ Vgl. Gidumal et al. (2021), S. 2.

²⁸⁰ Vgl. van Meter/Adam (2016), S. 652e2.

²⁸¹ Vgl. Mhlaba et al. (2015), S. 84.

²⁸² Vgl. Stockert/Langerman (2014), S. 5.

²⁸³ Eigene Darstellung.

²⁸⁴ Vgl. auch im Weiteren Barua/O'Regan (2017), S. 1.

²⁸⁵ Vgl. Chasseigne et al. (2018), S. 19.

²⁸⁶ Vgl. auch im weiteren Chasseigne et al. (2018), S. 20.

Instrumente nicht benutzt. Die Ergebnisse für den Nutzungsgrad der bereitgestellten Instrumente ohne Handschuhe, Hemden und Nahtmaterial liegen durchschnittlich bei 77,8 %. Der Anteil der nicht geöffneten Instrumente unter den bereitgestellten Instrumenten beträgt durchschnittlich 21,1 % und der Anteil der geöffneten Instrumente unter den vorbereiteten Instrumenten beträgt 0 %.

Chin et al. untersuchten einen Nutzungsgrad im Rahmen einer Studie an zwei Krankenhäusern in London im Jahr 2014.²⁸⁷ Sie bestimmten einen Nutzungsgrad für fünf häufige Operationen der Hals-Nasen-Ohren-Chirurgie. Der Nutzungsgrad wird dabei definiert als prozentualer Anteil der in einem Eingriff benutzten Instrumente an den Instrumenten, die dem Eingriff in Sieben bereitgestellt wurden. Das Ergebnis nach der Betrachtung von 226 Sieben ergab einen durchschnittlichen Nutzungsgrad pro Sieb in Höhe von 27,8 %.

In der letzten Zeile der Tabelle 6 ist eine Studie von von Eiff et al. aus dem Jahr 2019 aufgeführt. Sie wurde in einem deutschen Universitätsklinikum durchgeführt.²⁸⁸ Leider fehlen Angaben zu Methodik und Studienumfang. Es wird aber von einer Erhöhung des Nutzungsgrads in Folge einer Prozessoptimierung von 26,3 % auf 50,6 % berichtet.²⁸⁹

Die 2021 veröffentlichte prospektive Studie von Gidumal et al. am New Yorker Eye and Ear Infirmary of Mount Sinai basiert auf der Beobachtung von drei ChirurgInnen in insgesamt zehn Eingriffen aus zwei Eingriffstypen.²⁹⁰ Die AutorInnen berechnen Nutzungsgrade zwischen 10 und 43 % für die 10 Eingriffe und einen durchschnittlichen Nutzungsgrad über alle zehn Eingriffe hinweg in Höhe von 16,9 %.²⁹¹ Wobei die betrachteten Eingriffsarten sich in der Anzahl benötigter Instrumente deutlich unterscheiden und die beiden höchsten Nutzungsgrade bei den Eingriffen mit deutlich geringerem Instrumentenbedarf erzielt werden.

Die Beschreibung der Studie von Stockert und Langerman wird der von Mhlaba et al. vorangestellt, weil Zweitere eine Anschlussarbeit darstellt.

Die Studie von Stockert und Langerman aus dem Jahr 2012 untersuchte einen Nutzungsgrad für ausgewählte häufige Eingriffe an einem Universitätsklinikum in Chicago.²⁹² Die Beobachtung von 49 Eingriffen mit 237 Sieben aus vier medizinischen Disziplinen ergab, je nach Art des Siebs, einen Nutzungsgrad zwischen 13 % und 22 %.²⁹³ Die Autoren stellten einen negativen Zusammenhang zwischen der Anzahl der Instrumente in einem Sieb und dem

²⁸⁷ Vgl. Chin (2014), S. 2-3.

²⁸⁸ Vgl. von Eiff et al. (2019), S. 963.

²⁸⁹ Vgl. von Eiff et al. (2019), S. 964.

²⁹⁰ Vgl. Gidumal et al. (2021), S. 2.

²⁹¹ Vgl. auch im Weiteren Gidumal et al. (2021), S. 3.

²⁹² Vgl. Stockert/Langerman (2014), S. 647.

²⁹³ Vgl. auch im Weiteren Stockert/Langerman (2014), S. 650.

Nutzungsgrad des Siebs fest. Bei Sieben mit mehr als 40 Instrumenten wurden deutlich häufiger (49 % der Siebe waren zu beanstanden) Mängel hinsichtlich des Qualitätsziels *einwandfreie Bereitstellung* beobachtet als bei Sieben mit weniger als 40 Instrumenten (13 % der Siebe waren zu beanstanden).

Mhlaba unter Beteiligung von Stockert und Langerman und anderen untersuchten 2015 am gleichen Universitätsklinikum in einer deutlich kleiner angelegten Studie 20 Siebe. Sie stellten einen durchschnittlichen Nutzungsgrad von 22 % fest.²⁹⁴

Van Meter und Adam ermittelten 2016 mit einer Beobachtungsstudie an einer Universitätsklinik, die 28 Eingriffe umfasste, einen durchschnittlichen Nutzungsgrad von 21 %.²⁹⁵ Er variierte für die unterschiedlichen Arten von Eingriffen zwischen 14 und 26 %.²⁹⁶ Sie stellten wie Stockert und Langerman einen negativen Zusammenhang zwischen der Anzahl an Instrumenten im Sieb und dem Nutzungsgrad fest. Deshalb vermuteten sie, dass eine Reduktion der Siebinhalte das Fehlerrisiko senken kann.²⁹⁷

Die monetären Folgen geringer Nutzungsgrade wurden ebenfalls in verschiedenen Studien aus Tabelle 6 untersucht. Im Folgenden werden diese Schätzungen aufgeführt. Auch wenn die Schätzungen auf unterschiedlichen Annahmen basieren und die Höhe vom betrachteten Fall abhängt, können sie einen Eindruck davon vermitteln, welches Einsparpotential eine Optimierung birgt.

Farrokhi et al. berechnen ein Einsparpotential von 2,8 Millionen Dollar jährlich für ein Krankenhaus mit 300 Betten und 24 OP-Sälen.²⁹⁸ Ihre Berechnung basiert auf der Annahme eines Aufbereitungskostensatzes von 0,77 Dollar pro Instrument und einer Reduktion der Instrumentenanzahl um 70 %, wie es bei den von ihnen untersuchten Operationen möglich war.²⁹⁹ Der vergleichsweise hohe Wert kann damit begründet werden, dass in der Kalkulation von Farrokhi et al. mehr Gemeinkosten verrechnet werden.³⁰⁰ Denn der Aufbereitungskostensatz wird sehr simpel in Form eines Durchschnittswerts errechnet, indem das Jahresbudget der Aufbereitung durch die aufbereiteten Instrumente dividiert wird. Es werden also auch Fixkosten umgelegt, die bei differenzierten Kalkulationen nicht als Aufbereitungskosten auf die Instrumente verrechnet werden.³⁰¹

²⁹⁴ Vgl. Mhlaba et al. (2015), S. 84.

²⁹⁵ Vgl. van Meter/Adam (2016), S. 652e1-652e2.

²⁹⁶ Vgl. auch im Weiteren van Meter/Adam (2016), S. 652e2.

²⁹⁷ Vgl. van Meter/Adam (2016), S. 652e5.

²⁹⁸ Vgl. Farrokhi et al. (2015), S. 284.

²⁹⁹ Vgl. Farrokhi et al. (2015), S. 282 und 284.

³⁰⁰ Vgl. John-Baptiste et al. (2016), S. E407.

³⁰¹ Vgl. Stockert/Langerman (2014), S. 651; John-Baptiste et al. (2016), S. E406.

Stockert und Langerman schätzen das Einsparpotential das durch Aussortieren überflüssiger Instrumente aus Sieben erreicht werden kann.³⁰² Sie betrachten verhältnismäßig große Siebe. Sie berechnen, dass für eine bestimmte Art von Sieben, die zehn Mal in der Woche über ein Jahr lang benutzt wird, bei einer Reduktion um 80 Instrumente eine Einsparung von 20.400 Dollar pro Jahr erzielen. Ihrer Berechnung liegt ein Aufbereitungskostensatz von 0,51 Dollar zu Grunde.

John-Baptiste et al. führten über einen Zeitraum von einem Jahr eine modellbasierte Kostenanalyse aus Krankenhaussicht durch, die um bis zu 50 % reduzierte Siebe mit den ursprünglichen Sieben verglich.³⁰³ Ziel war es, die potenziellen Kosteneinsparungen zu quantifizieren, die sich aus der Reduktion ergeben.³⁰⁴ Sie ermittelten mit Hilfe einer Szenarioanalyse ein Einsparpotential von 29.088 Dollar pro Jahr, was einer Reduktion um 40 % entspricht.³⁰⁵ Ihre Schätzung basiert auf einem Einzelkostensatz von 0,13 Dollar je Instrument und einem Gemeinkostensatz von 0,23 Dollar je Instrument.³⁰⁶

Yoon et al. beziffern in ihrer Studie aus dem Jahr 2018 das jährliche Einsparpotential für die zehn chirurgischen Hals-Nasen-Ohren-Abteilungen des betrachteten Krankenhausnetzwerks auf 425.378 Dollar.³⁰⁷ Sie gingen von einer Reduktion der Instrumentenanzahl um 10 % und einem Aufbereitungskostensatz von 0,64 Dollar aus.³⁰⁸

Eine weitere Möglichkeit, die Folgen eines geringen Nutzungsgrads zu quantifizieren, haben Farrelly et al. in ihrer Studie in Form der Auswirkung auf das Gewicht der Siebe betrachtet.³⁰⁹ Sie konnten durch systematische Durchsicht von vier Arten von Sieben eine Gewichtsreduktionen zwischen 20 und 40 % erreichen.³¹⁰ Das entspricht einer Gewichtsreduktion zwischen zwei bis fünf Kilogramm.

Aus den Ergebnissen der systematischen Literaturrecherche zu Nutzungsgraden lässt sich zusammenfassen, dass der Anteil der benutzten Instrumente eines Siebs zwischen 10 und 96 % liegt. Das bedeutet, dass ein großer Teil der Instrumente eines Siebs den Aufbereitungskreislauf durchlaufen ohne benutzt worden zu sein. Das ist sowohl für das Qualitätsziel als auch für das Wirtschaftlichkeitsziel von Nachteil. Hinsichtlich des Ziels *Wirtschaftlichkeit* sind der

³⁰² Vgl. Stockert/Langerman (2014), S. 654.

³⁰³ Vgl. John-Baptiste et al. (2016), S. E404-E405.

³⁰⁴ Vgl. John-Baptiste et al. (2016), S. E404.

³⁰⁵ Vgl. John-Baptiste et al. (2016), S. E407.

³⁰⁶ Vgl. John-Baptiste et al. (2016), S. E406-E407.

³⁰⁷ Vgl. Yoon et al. (2019), S. 70.

³⁰⁸ Vgl. Yoon et al. (2019), S. 69.

³⁰⁹ Vgl. Farrelly (2017), S. 321.

³¹⁰ Vgl. auch im Weiteren Farrelly (2017), S. 324.

Aufbereitungsaufwand mit seinen Kosten anzuführen,³¹¹ der nicht wertschöpfende Ressourceneinsatz,³¹² unnötige Abnutzung und Aufbereitung, die Verkürzung der Nutzungsdauer der Mehrweginstrumente³¹³ sowie unnötige Kapitalbindung und Lagermengen.³¹⁴ Auch hinsichtlich der Qualitätsziele kann der geringe Nutzungsgrad von Nachteil sein, da die Wahrscheinlichkeit mangelhafter Bereitstellung durch eine größere Anzahl an Instrumenten im Sieb begünstigt wird.³¹⁵

Das geschätzte monetäre Einsparpotential hängt zwar stark von der Größe des Krankenhauses, der Ausgangssituation der Siebe, dem Land und Vergütungssystem sowie anderen Faktoren ab. Aus der Literatur zu den monetären Folgen geringer Nutzungsgrade wird trotzdem sichtbar, dass ein geringer Nutzungsgrad wesentliches Einsparpotential birgt. Letztendlich kann aus den Erkenntnissen dieses Kapitels eine Diskrepanz zwischen Zielen und Status quo der Versorgung mit sterilen chirurgischen Instrumenten vermutet werden.

4.2 Defizite in der Sterilgutversorgung

Anhand der Indikatoren *Zwischenfälle im OP-Ablauf* und *Nutzungsgrad* konnte in den vorangegangenen beiden Kapiteln gezeigt werden, dass Defizite bei der Sterilgutversorgung bestehen, die die Zielerreichung beeinträchtigen. In diesem Teilkapitel sollen ausgewählte Defizite und ihre Ursachen beschrieben werden.

Eine Herausforderung stellt die Abgrenzung und Kausalitätszuordnung für einen so komplexen Prozess wie den Sterilgutversorgungsprozess mit seinen zahlreichen Akteuren, Teilprozessen und Zusammenhängen dar.³¹⁶ Sie erschweren die Identifikation der Defizite, die zu geringen Nutzungsgraden und zu Zwischenfällen im OP-Ablauf führen. Ursächlich dem Sterilgutversorgungsprozess zuzurechnende Defizite sind von Defiziten zu differenzieren, deren Ursachen im Prozess der Sterilgutversorgung liegen und nicht etwa auf Defizite in einem anderen Hilfs-, Teil- oder übergeordneten Prozess zurückzuführen sind. Des Weiteren ist zu beachten, dass sich auch individuelle Fehler oder technische Störungen auf die als Indikatoren für die Zielerreichung angeführten Kennzahlen negativ auswirken können.³¹⁷ Sie stellen jedoch keine Defizite des Prozesses der Sterilgutversorgung dar, sondern sind einmaliger oder

³¹¹ Vgl. John-Baptiste et al. (2016), S. E404.

³¹² Vgl. Buchanan (2008), S. 4710; Schaer et al. (1995), S. 1813.

³¹³ Vgl. Yoon et al. (2019), S. 71.

³¹⁴ Vgl. Siu et al. (2017), S. 31-32; Bijvank/Vis (2012), S. 497; Stockert/Langerman (2014), S. 652.

³¹⁵ Vgl. Stockert/Langerman (2014), S. 650.

³¹⁶ Vgl. Schmeck et al. (2008), S. 805-806.

³¹⁷ Vgl. von Eiff (2015), S. 663-664.

zufälliger Natur. Es wird festgelegt: Im Weiteren als Defizite bezeichnet werden vermeidbare unerwünschte Ereignisse, deren Ursachen auf fehlerproduzierende Systeme, Bedingungen und Strukturen im Prozess der Sterilgutversorgung zurückzuführen sind.³¹⁸

Als erstes Defizit im Sterilgutversorgungsprozess wird der geringe Standardisierungsgrad hinsichtlich der für einen Eingriff benötigten Instrumente angeführt.³¹⁹ Er stellt zugleich selbst ein Defizit dar und ist Ursache für andere Defizite. Das grundsätzlich mögliche Ausmaß an Standardisierung kann unter anderem verhindert werden durch die Heterogenität der chirurgischen Präferenzen.³²⁰ ChirurgInnen geben an, welche Instrumente sie für einen Eingriff benötigen.³²¹ Häufig variieren die für einen Eingriff bestellten Instrumente zwischen den ChirurgInnen.³²² Das kann auf ihre Präferenzen oder Gewohnheiten aus der Ausbildung zurückzuführen sein.³²³ Nicht nur die Art der Instrumente variiert, sondern auch die Anzahl.³²⁴ Obwohl sie ein Hindernis für die Standardisierung darstellen können, sollten die Chirurgenpräferenzen trotzdem berücksichtigt werden, wenn andernfalls Qualitätsdefizite aufgrund von Leistungseinschränkungen oder Unzufriedenheit der ChirurgInnen zu befürchten sind.³²⁵ Zu begründen ist dies mit der in Kapitel 3 beschriebenen Zielhierarchie. Sie gibt vor, dass der Standardisierung aus ökonomischen Gründen Grenzen zu setzen sind, wenn als Folge Qualitätsbeeinträchtigungen zu befürchten sind.

Aus der begründeten Berücksichtigung der individuellen Präferenzen der ChirurgInnen resultiert neben den begrenzten Standardisierungsmöglichkeiten noch eine weitere Problematik für den Sterilgutversorgungsprozess. In der Regel ist der Siebinhalt nicht das Ergebnis einer bewussten Maßnahme oder bewusster Entscheidungen vor dem Hintergrund von Effizienz und Zweckmäßigkeit, sondern hat sich im Lauf der Zeit angesammelt.³²⁶ Arbeitsplatzwechsel von ChirurgInnen und medizinischer Fortschritt sind die Motoren einer Dynamik, die sich in wachsenden Siebinhalten niederschlägt, von denen ein immer geringerer Anteil benötigt wird.³²⁷ Arbeitsplatzwechsel tragen dazu bei, weil bei Zugang neuer ChirurgInnen deren Instrumentenpräferenzen in das Sieb integriert werden, ohne dass beim Weggang von ChirurgInnen deren alleinige Präferenzen aus den Sieben entfernt werden.³²⁸ Ähnlich verhält

³¹⁸ Vgl. Beyer/Heidecke (2015), S. 231.

³¹⁹ Vgl. Ahmadi et al. (2018), S. 1; Park/Dickerson (2009), S. 243; Moons et al. (2018), S. 7.

³²⁰ Vgl. Ahmadi et al. (2018), S. 2; Cichos et al. (2017), S. 1889.

³²¹ Vgl. Frese-Meier (2015), S. 798; Diamant et al. (2018), S. 442.

³²² Vgl. Dobson et al. (2015), S.226; Wannemuehler et al. (2015), S. 2813.

³²³ Vgl. Dobson et al. (2015), S. 226.

³²⁴ Vgl. Allen/Polk (2002), S 1.

³²⁵ Vgl. Yoon et al. (2019), S. 67-68.

³²⁶ Vgl. Guédon et al (2016), S. 2734; Wannemuehler et al. (2015), S. 2811; Capra et al. (2019), S. 3.

³²⁷ Vgl. Schmeck et al. (2008), S. 808.

³²⁸ Vgl. Wannemuehler et al. (2015), S. 2811.

es sich mit technisch weiterentwickelten oder neuen Instrumenten. Werden sie einem Sieb hinzugefügt, ohne dass die Vorgängermodelle entfernt werden, häufen sich in den Sieben veraltete Instrumente an.³²⁹ Ohne regelmäßige Durchsicht der Instrumentensiebe kann es im Lauf der Zeit zu einem unbeabsichtigten Anwachsen der Siebe kommen.³³⁰ Das Resultat sind zu volle und zu schwere Siebe, deren Inhalt größtenteils nicht verwendet wird.

Ein weiteres Defizit sind zu große Instrumenten- und Siebbestände. Sie sind die Reaktion auf unvorhersehbare Bedarfe, die eine Herausforderung für die Sterilgutversorgung darstellen.³³¹ Unvorhersehbare Bedarfe sind jedoch nicht zu vermeiden. Sie treten im Fall von unvorhersehbaren Ereignissen während eines Eingriffs oder im Fall von Notfallaufnahmen auf, wenn Instrumente kurzfristig einsatzbereit sein müssen. Dazu ist das Vorhalten eines zusätzlichen Instrumentenkontingents für die Patientenversorgung unvermeidbar.³³² Man bezeichnet diese vorgehaltenen Mengen als Sicherheitsbestand. Er stellt sicher, dass stets ein Mindestbestand an Instrumenten bzw. Sieben für kurzfristige Bedarfsfälle zur Verfügung steht.³³³ Die Bemessung dieser Sicherheitsbestände beruht meist auf subjektiv gefärbten, vorsichtigen Schätzungen.³³⁴ Aus Vorsicht werden deshalb häufig überdimensionierte Sicherheitsbestände an Sieben und Instrumenten vorgehalten.³³⁵

Die beschriebenen Defizite wachsender Siebe und hoher Bestände werden durch fehlendes Kostenbewusstsein und -wissen der Prozessbeteiligten zusätzlich begünstigt.³³⁶ Es hat zudem zur Folge, dass Instrumente und Siebe, ungeachtet der damit verbundenen Kosten, auch für unwahrscheinliche Ausnahmefälle vorgehalten werden.³³⁷ Die Abwägung, welche Einsatzwahrscheinlichkeit für welches Instrument und welchen Eingriff die Vorhaltung rechtfertigt, obliegt jedoch in erster Linie medizinischen Aspekten.³³⁸ So kann die Verfügbarkeit eines selten benötigten Instruments für einen Eingriff kritisch sein und damit die Kosten der Vorhaltung des Instruments rechtfertigen.³³⁹

Ein weiteres Defizit, das gleichzeitig andere Defizite verschärft, sind fehlende oder unausgereifte Informationssysteme zur Dokumentation und Verfolgung des Sterilgut-

³²⁹ Vgl. Farrokhi et al. (2015), S. 278.

³³⁰ Vgl. Park/Dickerson (2009), S. 246; Cichos et al. (2017), S. 1889.

³³¹ Vgl. auch im Weiteren van Meter/Adam (2016), S. 652.e4.

³³² Vgl. Stockert/Langerman (2014), S. 654.

³³³ Vgl. Stockert/Langerman (2014), S. 654; Park/Dickerson (2009), S. 245.

³³⁴ Vgl. Diamant et al. (2017), S. 440.

³³⁵ Vgl. Park/Dickerson (2009), S. 245.

³³⁶ Vgl. Siu et al. (2017), S. 32.

³³⁷ Vgl. Ahmadi (2018), S. 2.

³³⁸ Vgl. van Meter/Adam (2016), S. 652e4; Stockert/Langerman (2014), S. 654.

³³⁹ Vgl. van Meter/Adam (2016), S. 652e4.

versorgungsprozesses.³⁴⁰ In vielen Krankenhäusern ist nicht bekannt, wie viele Instrumente und Siebe sich überhaupt im Sterilgutkreislauf befinden und noch weniger wo. Vor dem Hintergrund immer stärkerer Spezialisierung des OP-Personals, komplexerer Instrumente und der Anzahl und Vielfalt an Eingriffen ist die Informationsunterstützung von zunehmender Bedeutung.³⁴¹ Eine Datenerfassung mit Barcodes und RFID kann durch ständige Instrumenten- und Siebverfolgung den Prozess der Sterilgutversorgung transparent und effizienter machen.³⁴² Außerdem ermöglicht zum Beispiel die Identifikation von Nutzungsgraden und -mustern eine ständige Beurteilung des Prozesses und trägt zur kontinuierlichen Verbesserung bei.³⁴³ Auf die Einsatzmöglichkeiten digitaler Anwendungen wird an späterer Stelle eingegangen. Einen „Brandbeschleuniger“ für die Folgen der dargestellten Defizite stellen die Abhängigkeiten zwischen den Teilprozessen dar. Sie bestehen sowohl zwischen den Schritten des Sterilgutversorgungsprozesses als auch zwischen den involvierten Verantwortungsbereichen. Es genügt deshalb nicht Teilaspekte isoliert zu betrachten, weil Schwächen in einem Teilprozess nicht durch andere Teilprozesse ausgeglichen werden können, sondern den gesamten Prozess negativ beeinflussen. Beispielsweise kann eine unzureichende Reinigung die Effektivität der Desinfektion oder Sterilisation beeinträchtigen.³⁴⁴

4.3 Begründung des Optimierungsbedarfs

Bereits aus der Vorgabe der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention, die besagt, dass der Sterilgutversorgungsprozess jederzeit die technischen Vorgaben befolgen und dabei dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik genügen soll, kann die Notwendigkeit, Optimierungsbedarf zu ermitteln und nachzugehen, begründet werden.³⁴⁵ Denn diese Vorgabe fordert eine ständige Adjustierung des Prozesses. Aus diesem Anspruch an den technisch-wissenschaftlichen Stand resultiert also zunächst ein grundsätzlicher Optimierungsbedarf. Ob und inwiefern konkret Optimierungsbedarf im Sterilgutversorgungsprozess besteht, soll in diesem Kapitel erarbeitet werden. Ausgangspunkt ist die in Kapitel 4.1 untersuchte Zielerreichung hinsichtlich der Ziele *einwandfreie Bereitstellung* und *Bereitstellung zu minimalen Kosten*.

³⁴⁰ Vgl. Ahmadi (2018), S. 2.

³⁴¹ Vgl. Schmeck et al. (2008), S. 807; Farrokhi et al. (2015), S. 278.

³⁴² Vgl. Ahmadi et al. (2015), S. 13.

³⁴³ Vgl. Park/Dickerson (2009), S. 245.

³⁴⁴ KRINKO und BfArM (2012), S. 1246.

³⁴⁵ Vgl. KRINKO und BfArM (2012), S. 1246.

Anhand der in 4.1.1 gezeigten Häufigkeit von Zwischenfällen im OP-Ablauf kann auf Optimierungsbedarf hinsichtlich der einwandfreien Bereitstellung geschlossen werden. Denn die große Anzahl an instrumentenbedingten Zwischenfällen bedeutet, dass die Bereitstellung nicht einwandfrei erfolgt. Die Zwischenfälle können Unterbrechungen, Verzögerungen, Verspätungen, Stress und Fehler im OP-Ablauf verursachen.³⁴⁶ Diese negativen Folgen für den OP-Prozess und letztendlich für das Krankenhaus insgesamt, können vermieden werden, begründen Optimierungsbedarf im Sterilgutversorgungsprozess.

Auf Basis der in Kapitel 4.1.2 angeführten geringen Nutzungsgrade kann auf Optimierungsbedarf in Bezug auf das Ziel *Bereitstellung zu minimalen Kosten* geschlossen werden. Die Begründung lautet folgendermaßen: Ein geringer Nutzungsgrad bedeutet, dass ein großer Teil der bereitgestellten Instrumente nicht genutzt wird, aber trotzdem den ressourcenaufwändigen Versorgungsprozess in Anspruch nimmt. Daraus folgt, dass dieser Teil der Ressourcen und somit ein Teil der Kosten für Instrumente anfällt, die nicht wertschöpfend eingesetzt werden. Die Kosten sind nicht auf minimalem Niveau, weil sie teilweise auf nicht wertschöpfende und damit vermeidbare Kostenursachen entfallen. Optimierungsbedarf besteht deshalb in der Notwendigkeit diese vermeidbaren Kosten zu reduzieren, um die Kosten insgesamt zu minimieren.

Im Folgenden werden die Erkenntnisse des vierten Kapitels, die letztendlich dazu dienen sollten, den Optimierungsbedarf des Sterilgutversorgungsprozesses darzustellen, zusammengefasst. Zur Strukturierung dient die folgende Abbildung.

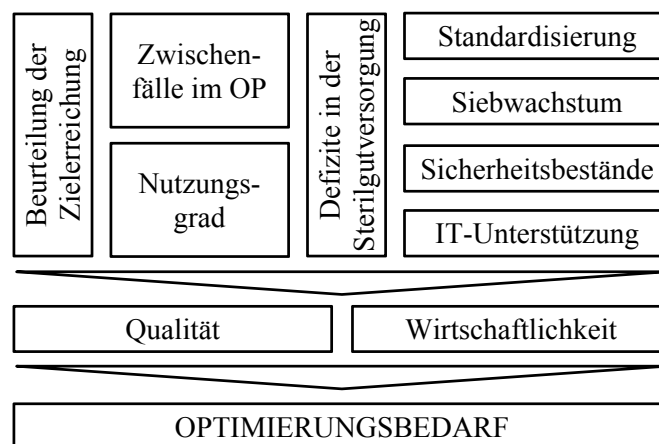


Abb. 12: Ableitung des Optimierungsbedarfs.³⁴⁷

³⁴⁶ Vgl. Panahi et al. (2012), S.2 692; Stocker/Langerman (2014), S. 647; Wong et al. (2010), S. 191; Wubben et al. (2010), S. 3; S. 650-653; van Meter/Adam S. 652.e2.

³⁴⁷ Eigene Darstellung.

Ausgangspunkt für die Begründung des Optimierungsbedarfs war die Beurteilung der Zielerreichung, die in Kapitel 4.1 vorgenommen wurde. In den beiden Teilkapiteln wurden zwei Kennzahlen zur Beurteilung der Zielerreichung herangezogen. Sie sind links in der Abbildung zu finden. Anhand von Studien zu den Kennzahlen *Zwischenfälle im OP-Ablauf* und *Nutzungsgrad* wurden Diskrepanzen von der Zielerreichung gezeigt, die auf Defizite im Prozess der Sterilgutversorgung hinweisen. Jene Defizite wurden in Kapitel 4.2 beschrieben und sind auf der rechten Seite der Abbildung zu sehen. Sie bestehen in einem geringen Standardisierungsgrad, unkontrolliert wachsenden Sieben, großen Sicherheitsbeständen und dem zurückhaltenden Einsatz von Informationssystemen. Im unteren Teil der Abbildung sind die beiden Oberziele der Sterilgutversorgung abgebildet. Aus den Erkenntnissen der Kapitel 4.1.1 und 4.1.2 wurde auf eine Diskrepanz zwischen den Zielen und dem Stand der Zielerreichung geschlossen, mit der am Anfang dieses Kapitels die Notwendigkeit der Optimierung begründet wurde. Diese Notwendigkeit gewinnt zusätzliches Gewicht, wenn man bedenkt, dass die Defizite und ihre Auswirkungen auf die Hauptziele einen sich selbst antreibenden Effekt aufweisen. Beispielsweise beeinträchtigen zu viele Instrumente in einem Sieb nicht nur die Ziele *Wirtschaftlichkeit* und *Qualität* unmittelbar, sondern bedingen auch, dass das Defizit der wachsenden Siebe aufgrund der Unübersichtlichkeit weiter degradiert.

4.4 Systematische Literaturrecherche zu Optimierungsansätzen für die Sterilgutversorgung

In diesem Unterkapitel soll für den festgestellten Optimierungsbedarf ein Optimierungsansatz gefunden werden. In Kapitel 4.1.1 wurde zum einen eine große Zahl an Fehlern im Sterilgutversorgungsprozess festgestellt und zum anderen ein Zusammenhang zwischen der Anzahl der Instrumente in einem Sieb und dem Risiko für derlei Fehler. Aus diesen beiden Punkten folgt: Je mehr Instrumente in einem Sieb sind, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit für nicht einwandfreie Bereitstellungen. In Kapitel 4.1.2 ergaben die Erhebungen des Nutzungsgrads, dass ein großer Teil der Instrumente in einem Sieb nicht verwendet wird. Daraus kann geschlossen werden, dass der Inhalt solcher Siebe reduziert werden könnte. Eine solche Reduktion des Siebinhalts kann wegen des Zusammenhangs zwischen Instrumenten pro Sieb und Fehlerrisiko nicht nur die Kosten, sondern zusätzlich auch das Fehlerrisiko senken. Das heißt, ein höherer Nutzungsgrad kann beide Oberziele aus Kapitel 3.3.3 adressieren, weil zu weniger unnötigen Kosten und weniger unnötigen Fehlerrisiken führt.

Auf Basis der im vorangegangenen Abschnitt dargestellten Zusammenhänge, wird der Nutzungsgrad als Ansatzpunkt für die folgende Literaturrecherche nach Optimierungsansätzen für den Sterilgutversorgungsprozess herangezogen. Die Literaturrecherche soll also die Frage beantworten, welche Optimierungsansätze die Literatur zur Erhöhung des Nutzungsgrads vorschlägt. Zur Beantwortung werden zwei Literaturüberblicksarbeiten zu eng verwandten Fragestellungen herangezogen und um eine eigene systematische Literaturrecherche ergänzt. Es handelt sich um die Artikel von Ahmadi et al. und dos Santos et al.

Ahmadi et al. erstellten 2018 eine Übersicht zu Managementansätzen für steriles chirurgisches Material und Instrumente in Krankenhäusern.³⁴⁸ Das Ergebnis ihrer Analyse ist in Tabelle 8 zu finden. Ihr Überblick führt 18 Artikel zu Optimierungsansätzen für den Sterilgutversorgungsprozess an, die zur Erhöhung des Nutzungsgrads beitragen können. 77 % schlagen eine Siebanalyse vor, um den Siebinhalt zu reduzieren. Ziel einer Siebanalyse ist es, Siebe zu standardisieren und unnötige Instrumente aus den Sieben zu entfernen.³⁴⁹ Ein hoher Standardisierungsgrad, bei dem möglichst viele ChirurgInnen das gleiche Instrumentarium für einen Eingriff verwenden, vereinfacht mehrere Teilprozesse des Sterilgutversorgungsprozesses und kann das Risiko für Zwischenfälle im OP-Ablauf senken.³⁵⁰ Dazu können zwei unterschiedliche Ansätze verfolgt werden: ein qualitativer und ein quantitativer. Beim qualitativen Ansatz wird in der Regel ein multidisziplinäres Team gebildet, bestehend aus ChirurgInnen, operationstechnischen AssistentInnen und VertreterInnen der Logistik und Sterilgutaufbereitung.³⁵¹ Dieses Team sichtet Siebe und entscheidet gemeinsam, welche Instrumente in einem Sieb beibehalten werden sollen und welche entfernt werden können. Beim quantitativen Ansatz werden die Nutzungshäufigkeiten der Instrumente in einem Sieb ermittelt und ein kritischer Wert als Bedingung für den Verbleib im Sieb definiert.³⁵² Instrumente, die selten benutzt werden, werden aus dem Sieb entfernt, sofern keine ChirurgIn ihr Veto einlegt. Unter den von Ahmadi et al. genannten Optimierungsansätzen handelt es sich bei 44 % um qualitative Siebanalysen und bei 33 % um quantitative Siebanalysen. Die anderen vorgeschlagenen Optimierungsansätze (22 %) für den Sterilgutversorgungsprozess sind mathematische Optimierungsansätze zur Instrumentengruppierung. Mit Hilfe mathematischer Modelle wird dabei bestimmt, welche Siebe zusammengestellt werden, welche Siebe welche

³⁴⁸ Vgl. Ahmadi et al. (2018), S. 134.

³⁴⁹ Vgl. Farrelly et al. (2017), S. 321.

³⁵⁰ Vgl. Frese-Meier (2015); S. 798.

³⁵¹ Vgl. auch im Weiteren Frese-Meier (2015), S. 798.

³⁵² Vgl. auch im Weiteren Chin et al. (2014), S. 3; Crosby et al. (2020), S. 216; Nast/Swords (2019), S. 153.e3; Gidumal (2021), S. 2.

Eingriffe beliefern und welche Instrumente in welchen Sieben enthalten sind. Man bezeichnet diese Fragestellungen als Sieboptimierungsproblem.³⁵³

Aus ihrer Literaturanalyse leiten Ahmadi et al. die folgende Optimierungsansätze ab: Als effektivsten Optimierungsansatz deklarieren sie die Standardisierung des durch die ChirurgInnen festgelegten OP-Bedarfs in Zusammenarbeit mit den ChirurgInnen.³⁵⁴ Darüber hinaus oder darauf aufbauend kann eine Standardisierung der Siebinhalte stattfinden.³⁵⁵ Beide Ziele können im Rahmen einer Siebanalyse verfolgt werden. Eine weitere Möglichkeit, den Instrumenteneinsatz zu optimieren und damit den Nutzungsgrad zu erhöhen, sehen Ahmadi et al. im zweckmäßigen Einsatz von Einweg- und Mehrweginstrumenten.

Dos Santos et al. veröffentlichten 2020 eine Literaturübersichtsarbeit zu Ansätzen zur Rationalisierung von chirurgischen Instrumentensieben.³⁵⁶ Ihre groß angelegte Literaturrecherche nach dem PRISMA-Standard identifizierte 48 Artikel, die Ansätze zur Sieboptimierung behandeln. Sie teilten die verwendeten Optimierungsansätze anhand der Bezeichnung durch die AutorInnen in drei Kategorien auf: mathematische Optimierungsansätze, Lean-Ansätze und Expertenanalysen. Lean-Ansätze basieren auf Methoden zur kontinuierlichen Verbesserung, die zum Ziel haben, Verschwendung oder Verschwendungspotential zu eliminieren, um den Prozessfluss zu optimieren.³⁵⁷ Expertenansätze können mit den vorher beschriebenen Siebanalysen gleichgesetzt werden. Die quantitative Auswertung der 48 relevanten Artikel nach den drei Kategorien ist in Tabelle 8 zu finden. 10 % der Artikel greifen auf mathematische Modelle zur Optimierung des Siebinhalts zurück, 19 % auf Lean-Ansätze und 71 % auf Siebanalysen.³⁵⁸

Im Folgenden werden Vorgehensweise und Ergebnisse einer eigenen systematischen Literaturrecherche beschrieben. Da diverse Testläufe mit unterschiedlichen Kombinationen von Suchbegriffen weder in *PubMed* noch in *Google Scholar* mehr als zehn relevante Ergebnisse lieferten, entschied sich die Autorin für eine Suche in *Google Scholar* ausgehend von Stockert und Langermans³⁵⁹ Artikel, der laut dos Santos et al. der meist zitierte Artikel zur Optimierung der Sterilgutversorgung ist.³⁶⁰ Er ist zudem besonders dafür geeignet, Studien zu finden, die zur Erhöhung des Nutzungsgrads beitragen, weil sein Schwerpunkt auf Nutzungsgraden liegt. Mit

³⁵³ Vgl. Ahmadi et al. (2018), S. 139.

³⁵⁴ Vgl. Ahmadi et al. (2018), S. 146.

³⁵⁵ Vgl. auch im Weiteren Ahmadi et al. (2018), S. 147.

³⁵⁶ Vgl. dos Santos et al. (2020), S. 1.

³⁵⁷ Vgl. von Eiff (2015), S. 664; Nino et al. (2020), S. 2.

³⁵⁸ Vgl. dos Santos et al. (2020), S. 13-14.

³⁵⁹ Vgl. Stockert/Langerman (2014).

³⁶⁰ Vgl. dos Santos et al. (2020), S. 8.

Hilfe der Suchfunktion „zitiert von“ in *Google Scholar* werden alle Studien gesucht, die Stockert und Langerman Studie zitieren.

Folgende Ein- und Ausschlusskriterien werden definiert: Eingeschlossen werden Studien, die sich mit der Problematik der Versorgung mit sterilen chirurgischen Instrumenten beschäftigen und Ansätze zur Optimierung des entsprechenden Prozesses vorschlagen.

Ausgeschlossen werden:

- Studien, die keine wissenschaftlichen Artikel darstellen oder zu denen kein Volltext zugänglich ist sowie Studien, die nicht auf Deutsch oder Englisch verfasst sind.
- Studien, die sich nicht auf den Sterilgutversorgungsprozess beziehen.
- Studien, die zwar den Sterilgutversorgungsprozess betrachten und bewerten, aber keinen Optimierungsvorschlag behandeln.

In Abbildung 12 ist das PRISMA Flow Diagramm zu dieser Recherche zu finden.

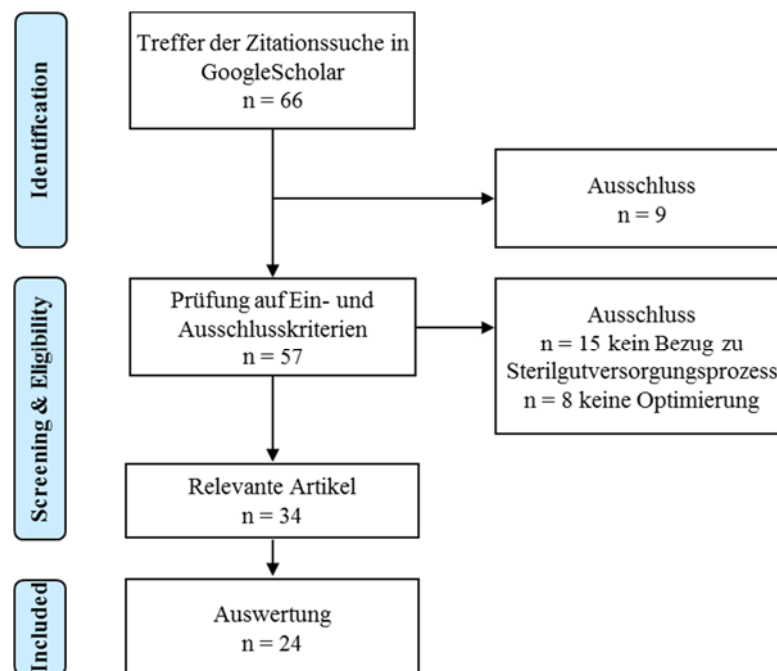


Abb. 13: PRISMA Flow Diagramm der systematischen Literaturrecherche nach Studien zu Optimierungsansätzen.³⁶¹

Die Suche ergibt 66 Treffer, die auf die Ein- und Ausschlusskriterien geprüft werden. 6 Artikel sind nicht zugänglich, einer ist in spanischer Sprache verfasst, einer in portugiesischer Sprache und bei einem handelt es sich um einen Kommentar. 15 Artikel beziehen sich nicht auf die Sterilgutversorgung. 8 Artikel betrachten zwar die Sterilgutversorgung, jedoch ohne Optimierungsvorschläge zu enthalten. Bei einem der Treffer handelt es sich um den

³⁶¹ Eigene Darstellung.

Literaturüberblick von Dos Santos et al. und bei einem um den Artikel von Ahmadi et al., die bereits zu Beginn des Kapitels separat betrachtet worden sind.

Für die Auswertung verbleiben 24 Treffer, die in fünf Kategorien sortiert werden: qualitative Siebanalysen, quantitative Siebanalysen, mathematische Sieboptimierungsansätze, Ansätze, die den alternativen Einsatz von Einweg- und Mehrweginstrumenten vorschlagen, und sonstige Optimierungsansätze, die in keine der Kategorien fallen. Die Auswertung ist in Tabelle 7 zu finden. Wie für Tabelle 3 gilt, dass auf Fußnoten verzichtet wurde, da diese keine Information über den Tabelleneintrag hinaus enthalten.

| Autoren | Jahr | Land | Optimierungsansatz |
|----------------------|-------------|-------------|-------------------------------|
| Ahmadi et al. | 2019 | USA | mathematische Sieboptimierung |
| Capra et al. | 2019 | USA | qualitative Siebanalyse |
| Cardoen et al. | 2015 | Belgien | mathematische Sieboptimierung |
| Cichos et al. | 2017 | USA | Lean-Methoden |
| Crosby et al. | 2020 | Kanada | quantitative Siebanalyse |
| Dobson et al. | 2015 | USA | mathematische Sieboptimierung |
| Dyas et al. | 2018 | USA | qualitative Siebanalyse |
| Farrelly et al. | 2017 | USA | qualitative Siebanalyse |
| Fogliatto et al. | 2019 | Brasilien | Lean-Methoden |
| Gidumal et al. | 2021 | USA | quantitative Siebanalyse |
| Goldberg et al. | 2019 | USA | Einweg-Mehrweg-Ansätze |
| Harvey et al. | 2017a | USA | qualitative Siebanalyse |
| Harvey et al. | 2017b | USA | qualitative Siebanalyse |
| John-Baptiste et al. | 2016 | UK, Kanada | quantitative Siebanalyse |
| Koyle et al. | 2018 | Kanada | quantitative Siebanalyse |
| Krohn et al. | 2019 | Deutschland | sonstige Optimierungsansätze |
| Lee et al. | 2019 | USA | Lean-Methoden |
| Malone et al. | 2019 | USA | qualitative Siebanalyse |
| Mhlaba et al. | 2015 | USA | sonstige Optimierungsansätze |
| Nast/Swords | 2019 | USA | quantitative Siebanalyse |
| Nino et al. | 2020 | USA | Lean-Methoden |
| Smith | 2020 | USA | sonstige Optimierungsansätze |
| Siu et al. | 2017 | Neuseeland | Einweg-Mehrweg-Ansätze |
| Yoon et al. | 2018 | USA | qualitative Siebanalyse |

Tab. 7: Studien zu Optimierungsansätzen für den Sterilgutversorgungsprozess.³⁶²

Die quantitative Auswertung ergibt, dass 7 (29 %) der Studien qualitative Siebanalysen und 5 (21 %) quantitative Siebanalysen zur Optimierung durchführen. 4 (17 %) wenden Lean-Ansätze an, 3 (13 %) der Artikel mathematische Optimierungsansätze und 2 (8 %) die alternative Verwendung von Einweg- und Mehrweginstrumenten. Unter die Kategorie der sonstigen

³⁶² Eigene Darstellung.

Optimierungsansätze fallen 3 (13 %) der Artikel. Hierzu gehören neue Verpackungstechniken oder RFID-Techniken.³⁶³

Die folgende Tabelle fasst die Erkenntnisse aus den drei Literaturrecherchen zusammen. In der ersten Spalte sind die Kategorien für die Optimierungsansätze, die zur Erhöhung des Nutzungsgrads beitragen, zu finden (qualitative Siebanalysen, quantitative Siebanalysen, Lean-Methoden, mathematische Sieboptimierung, Einweg-Mehrweg-Ansätze). Die darauffolgenden Spalten enthalten jeweils die Ergebnisse der drei Recherchen von Ahmadi et al., von dos Santos et al. und der eigenen Recherche. Die Tabelle gibt somit für jede Recherche an, welcher prozentuale Anteil der analysierten Studien welche Kategorie von Optimierungsansätzen vorgeschlagen hat.

| Kategorie | prozentualer Anteil (absolute Anzahl) an Studien zu Optimierungsansätzen zur Erhöhung des Nutzungsgrads gemäß | | |
|-------------------------------|---|----------------------------------|-------------------|
| | Ahmadi et al. ³⁶⁴ | dos Santos et al. ³⁶⁵ | eigener Recherche |
| qualitative Siebanalyse | 44 (8) | 71 (34) | 29 (7) |
| quantitative Siebanalyse | 33 (6) | | 21 (5) |
| Lean-Methoden | - | 19 (9) | 17 (4) |
| mathematische Sieboptimierung | 22 (4) | 10 (5) | 13 (3) |
| Einweg-Mehrweg-Ansätze | - | - | 8 (2) |

Tab. 8: Studien zu Optimierungsansätzen zur Erhöhung des Nutzungsgrads.³⁶⁶

Die Übersicht zeigt deutlich, dass der Schwerpunkt der Veröffentlichungen auf Siebanalysen liegt. Ein Erklärungsansatz ist, dass Siebanalysen der Standardisierung des OP-Bedarfs und der Siebinhalte dienen, was zum einen von Ahmadi et al. als effektivster Ansatz zur Reduktion der Siebinhalte deklariert wird und zum anderen als Voraussetzung für eine sinnvolle mathematische Sieboptimierung und Einweg-Mehrweg-Entscheidungen darstellt.³⁶⁷ Lean-Methoden können auch als eine Form von Siebanalyse betrachtet werden, bei der nach dem Lean-Prinzip vorgegangen wird. Der mathematischen Sieboptimierung und den Einweg-Mehrweg-Ansätzen kommt bisher vergleichsweise wenig Aufmerksamkeit zu. Die vorliegende Arbeit wird diese beiden Optimierungsansätze aufgreifen, und insbesondere deren kombiniertes Optimierungspotential erarbeiten.

³⁶³ Vgl. Krohn et al.(2019), S. 2; Mhlaba et al. (2015); S. 83; Smith (2020), S. 48.

³⁶⁴ Vgl. Ahmadi et al. (2018), S. 145-147.

³⁶⁵ Vgl. dos Santos et al. (2020), S. 13-14.

³⁶⁶ Eigene Darstellung.

³⁶⁷ Vgl. Ahmadi et al. (2018), S. 146-147.

5 Entwicklung des Einweg-Mehrweg-Sieboptimierungsproblems (EMSOP)

Im vorangegangenen Kapitel wurde für den Prozess der Sterilgutversorgung Optimierungsbedarf festgestellt. Diese Arbeit verfolgt das Ziel, einen kombinierten Lösungsansatz aus mathematischer Optimierung und Einweg-Mehrweg-Optimierung zu entwickeln. Dazu werden in den ersten beiden Teilen dieses Kapitels zunächst die zwei Optimierungsansätze *Sieboptimierung* und *Einweg-Mehrweg-Entscheidung* vorgestellt. Sie stellen die Teilprobleme dar, aus denen im dritten Teil ein kombinierter Optimierungsansatz konstruiert wird. Bisher ist keine Kombination dieser beiden Optimierungsansätze bekannt. Deshalb wird ausführlich begründet, inwiefern die Kombination zusätzliches Optimierungspotential birgt.

5.1 Erstes Teilproblem: die Sieboptimierung

Als erstes Teilproblem wird der Optimierungsansatz der mathematischen Sieboptimierung vorgestellt. Im ersten Teilkapitel werden die grundlegenden Begrifflichkeiten und das Problem definiert. Es wird zudem gezeigt, inwiefern der Optimierungsansatz Einfluss auf die Zielerreichung der Sterilgutversorgung nehmen kann. Im zweiten Teilkapitel wird die Vorgehensweise des Lösungsansatzes beschrieben. Im dritten Teilkapitel folgt ein Literaturüberblick zur Sieboptimierung mithilfe mathematischer Modelle.

5.1.1 Problemdefinition

In Kapitel 2.4.2 wurde die Verwendung von Sieben im Mehrwegkreislauf beschrieben. Der Nutzen der Siebverwendung wird maßgeblich dadurch bestimmt, wie die Gruppierung in Siebe gestaltet ist.³⁶⁸ Der Begriff Sieboptimierung, eine Übersetzung der Begriffe „Tray Optimization“ oder „Net Optimization“ aus dem Englischen, bezeichnet die Optimierung der Gruppierung von Mehrweginstrumenten in Siebe mit Hilfe mathematischer Methoden.³⁶⁹ Die Sieboptimierung schließt neben der Festlegung des Siebinhalts die Bestimmung des Bestands an Sieben und die Entscheidung, welche Siebe für welche Eingriffe bereitgestellt werden, ein.³⁷⁰ Auf diese Weise werden mehrere Teilprozesse der Sterilgutversorgung im Zuge der Optimierung der Gruppierung von Mehrweginstrumenten in Siebe optimiert. Ergebnis der

³⁶⁸ Vgl. Weiss et al. (2016), S. 183.

³⁶⁹ Vgl. Klundert et al. (2008), S. 31; Dollevoet (2018), S. 1; Ahmadi et al. (2019), S. 327.

³⁷⁰ Vgl. Kooij/Glorie (2015), S. 4; Ahmadi et al. (2018), S. 139; Dollevoet et al. (2018), S. 2.

Optimierung sollen Effizienz-steigerungen im Sterilgutversorgungsprozess und ebenso im übergeordneten OP-Prozess sein.³⁷¹

Zum Zweck einer präzisen Formulierung der Problemstellung müssen zunächst einige Begrifflichkeiten festgelegt werden: nämlich die Begriffe Instrument, Instrumententyp, Eingriff, Eingriffstyp, Sieb, Siebtyp und Siebgruppierung.

Mit „Instrument“ wird ein steriles chirurgisches Einweg- oder Mehrweginstrument bezeichnet, das einem bestimmten chirurgischen Zweck dient. Instrumente werden in Eingriffen verwendet und zu diesem Zweck durch den Sterilgutversorgungsprozess für die Eingriffe bereitgestellt. Für einen Eingriff werden bestimmte Instrumente benötigt. Sie stellen den Instrumentenbedarf des Eingriffs dar. Eingriffe der gleichen Art, die den gleichen Bedarf an Instrumenten haben, gehören einem Eingriffstyp an. Instrumente, die bezüglich der Bereitstellung für einen Eingriff als Substitute betrachtet werden können, werden unter einem Instrumententyp zusammengefasst. Das heißt Instrumente eines Typs befriedigen denselben Instrumentenbedarf. Ein Instrument stellt in diesem Kontext eine Instanz eines Instrumententyps dar. Das heißt, ein Instrument ist nicht der einzelne materielle Gegenstand, sondern das Auftreten oder der Bedarf an einer Einheit eines Instrumententyps. Mit dem Begriff Sieb soll im Folgenden das Behältnis verstanden werden, in dem sich Mehrweginstrumente im Sterilgutversorgungsprozess befinden. Die Mehrweginstrumente sind Teil einer Gruppe von Mehrweginstrumenten, die immer gemeinsam in einem Sieb sind. Diese Gruppe wird Siebgruppierung genannt. Identische Siebgruppierungen gehören dem gleichen Siebtyp an. Siebtypen bestehen aus den gleichen Instrumententypen in den gleichen Mengen.

Unter Verwendung dieser Begrifflichkeiten wird das Teilproblem der Sieboptimierung folgendermaßen formuliert: Der OP-Prozess gibt die Anzahl geplanter Eingriffe und die Instrumentenbedarfe der Eingriffstypen vor. Wie der Bedarf bestimmt wird und wie insbesondere der Bedarf von unvorhersehbaren Notfällen prognostiziert wird, liegt außerhalb der Betrachtung dieser Arbeit. Ausgehend vom vorgegebenen Bedarf, der in Form der Anzahl an nachgefragten Instrumenten eines Instrumententyps angegeben wird, sind Gruppierungen von Mehrweginstrumenten in Siebe gesucht, die ihn optimal decken.³⁷² Als optimal wird in der Regel eine kostenminimale Bereitstellung verstanden.³⁷³ Als Frage formuliert lautet die Problemstellung: Welche Mehrweginstrumente sind in welcher Menge in welche und wie viele Siebtypen zu gruppieren, um den vorgegebenen OP-Bedarf kostenminimal zu decken?³⁷⁴

³⁷¹ Vgl. Weiss et al. (2016), S. 183; Rosenblatt et al. (1994), S. 402-403.

³⁷² Vgl. Klundert et al. (2008), S. 24; Reymondon (2008), S. 327; Dobson et al. (2015), S. 228.

³⁷³ Vgl. Dollevoet et al. (2018), S. 2; Ahmadi et al. (2019), S. 330.

³⁷⁴ Vgl. Dollevoet et al. (2018), S. 1.

5.1.2 Lösungsansatz

Die Sieboptimierung trifft zwei Entscheidungen: Zum einen die Gruppierung von Mehrweginstrumenten in Siebe und zum anderen die Zuordnung der Siebe zu Eingriffen, deren Bedarf sie decken sollen.³⁷⁵ Über die Variation dieser beiden Aspekte kann Einfluss auf Kosten- und Qualitätsziele genommen werden. Da die Sieboptimierung nur Mehrweginstrumente betrachtet, können nur die Ziele für Mehrweginstrumente adressiert werden. Sie sind in der ersten Spalte von Tabelle 3 zu finden. Die Art und Weise, wie Instrumente in Siebe gruppiert werden, beeinflusst die Ziele unterschiedlich.³⁷⁶ Zur Veranschaulichung werden drei extreme Ansätze zur Gruppierung der Instrumente herangezogen.³⁷⁷ Die drei extremen Ansätze zur Gruppierung von Mehrweginstrumenten sind jedes Instrument in einem eigenen Sieb bereitzustellen, ein Universalsieb zu erstellen, das den Bedarf aller Eingriffstypen enthält und eingriffsspezifische Siebe, die jeweils den Bedarf eines Eingriffstyps enthalten.³⁷⁸ In Tabelle 3 wird ihre Wirkung auf die Zielgrößen aufgeführt und im Anschluss erläutert.

| Ziele | 1 Instrument pro Sieb | Universalsieb | 1 Siebtyp je Eingriffstyp | |
|--------------------|-----------------------|---------------|---------------------------|---|
| Qualität | Rechtzeitigkeit | | X | |
| | Bedarfsdeckung | | X | |
| | Sauberkeit | X | | |
| | Funktionsfähigkeit | X | | |
| | Reaktionsfähigkeit | | X | |
| Wirtschaftlichkeit | Folgekosten | | | |
| | Kapitalkosten | | | |
| | Lagerungskosten | | X | |
| | Perioperative Kosten | * | | X |
| | Aufbereitungskosten | * | | X |
| | Abnutzungskosten | X | | |
| Transportkosten | | X | | |

X kennzeichnet den Ansatz, durch den das jeweilige Ziel minimiert wird

Tab. 9: Wirkung von drei extremen Gruppierungsansätzen auf die Zielgrößen.³⁷⁹

In der ersten Spalte der Tabelle sind die Ziele aufgezählt, zuerst die Qualitätsziele, dann die Wirtschaftlichkeitsziele. Die drei folgenden Spalten sind jeweils mit einem der extremen Ansätze zur Gruppierung von Mehrweginstrumenten bezeichnet. In den Zeilen darunter ist

³⁷⁵ Vgl. Ahmadi et al. (2019), S. 330.

³⁷⁶ Vgl. Reymondon et al. (2008), S. 328.

³⁷⁷ Vgl. Reymondon et al. (2008), S. 330.

³⁷⁸ Vgl. van de Klundert et al. (2008), S. 31; Reymondon et al. (2008), S. 327.

³⁷⁹ Eigene Darstellung.

durch ein „X“ derjenige Ansatz gekennzeichnet, durch den das jeweilige Ziel minimiert wird und deshalb als vorteilhaft gilt.

Hinsichtlich der Qualitätsziele *Rechtzeitigkeit*, *Bedarfsdeckung* und *Reaktionsfähigkeit* ist der Extremansatz eines Universalsiebs vorteilhaft, da es einen schnellen Zugriff ermöglicht und sicherstellt, dass stets alle Instrumente bereitstehen. Hinsichtlich der Ziele *Sauberkeit* und *Funktionsfähigkeit* kann der Extremansatz *ein Instrument pro Sieb* als vorteilhaft bezeichnet werden, da eine gegenseitige Beeinträchtigung und überladene Siebe, die die maschinelle Aufbereitung behindern, ausgeschlossen sind.³⁸⁰ Der Extremansatz *ein Sieb pro Eingriffstyp* ist zwar für keines der Ziele als vorteilhafte Variante zu betrachten, dafür in allen Fällen als weniger unvorteilhaft als der jeweils andere Extremansatz.

Hinsichtlich der Kostenziele *perioperative Kosten* und *Aufbereitungskosten* ist der Extremansatz *ein Sieb pro Eingriffstyp* vorteilhaft, hinsichtlich der Lagerungskosten der Extremansatz *ein Universalsiebtyp*. Die Abnutzungskosten werden minimiert durch die beiden Extremansätze *ein Instrument pro Sieb* sowie *ein Sieb pro Eingriffstyp* und die Transportkosten werden minimiert durch die Extremansätze *ein Universalsieb* sowie *ein Sieb pro Eingriffstyp*. Die Beschaffungs- und Entsorgungskosten beziehen sich ausschließlich auf Einweginstrumente. Die Felder *perioperative Kosten im OP* und *Aufbereitungskosten* des Extremansatzes *ein Instrument pro Sieb* sind mit einem Sternchen versehen, da sie entsprechend der in Kapitel 3 angenommenen Zusammenhänge mit einem „X“ zu füllen wären. In Kapitel 3 wurde die Extremform außer Acht gelassen, weil sie keine praktische Relevanz hat.

Zur Begründung der oben beschriebenen Wirkung der drei extremen Ansätze auf die Kostenziele ist es hilfreich, deren Unterziele heranzuziehen. Sie sind in der untersten Ebene des Zielsystems in Abbildung 8 zu finden und fungieren als Stellschrauben für die übergeordneten Kostenziele. Tabelle 10 führt sie in der ersten Spalte auf und zeigt wie die drei extremen Ansätze zur Gruppierung von Mehrweginstrumenten auf sie wirken.³⁸¹ Die Darstellung folgt dem gleichen Prinzip wie Tabelle 9.

³⁸⁰ Vgl. Denhöfer (2016), S. 313.

³⁸¹ Vgl. Reymondon et al. (2008), S. 328.

| Ziele | 1 Instrument pro Sieb | Universalsieb | 1 Siebtyp Eingriffstyp |
|--------------------------------|--------------------------|---------------|---------------------------|
| Anzahl Instrumente pro Sieb | X | | |
| Anzahl Mehrwegbereitstellungen | X | | X |
| Instrumentenbestand | | | |
| Anzahl Siebbereitstellungen | | X | X |
| Siebbestand | | X | |

X kennzeichnet den Ansatz, durch den das jeweilige Ziel minimiert wird

Tab. 10: Wirkung von drei extremen Gruppierungsansätzen auf die Unterzielgrößen.³⁸²

Die erste Gruppierungsweise minimiert die Ziele *Anzahl Instrumente pro Sieb* und *Anzahl Mehrwegbereitstellungen*.³⁸³ Ersteres wird durch die Definition des Ansatzes auf Eins festgelegt und Zweiteres ist damit zu begründen, dass nur die Instrumente bereitgestellt und aufbereitet werden, die benötigt werden. Der Nutzungsgrad ist maximal, wenn eine Gruppierung ausbleibt und jedes Instrument in einem separaten Sieb ist. Gleichzeitig würde dieser Ansatz aber bedeuten, dass es mindestens so viele Siebe und Siebtypen wie Instrumententypen gibt und auch die Anzahl der bereitzustellenden Siebe nicht minimiert ist.

Unter der Annahme des gegensätzlichen Ansatzes eines Universalsiebs, das den Instrumentenbedarf aller Eingriffstypen beinhaltet, ist die Anzahl Siebtypen auf Eins minimiert, da nur eine einheitliche Art von Siebtyp existiert.³⁸⁴ Ebenso minimiert sind die Anzahl bereitzustellender Siebe pro Eingriff und der Siebbestand. Denn der Bedarf jedes Eingriffs wird durch die Bereitstellung des Universalsiebs gedeckt und es sind nur so viele Siebe im Bestand notwendig, wie Eingriffe pro Tag vorgesehen sind. Jedoch wird von der großen Anzahl der Instrumente in einem Sieb für einzelne Eingriffe jeweils nur ein kleiner Teil benötigt. Entsprechend viele Instrumente werden unnötig bereitgestellt und aufbereitet. Der Instrumentenbestand ist ebenfalls nicht minimiert, da alle Instrumententypen in jedem Sieb enthalten sind.

Die dritte Gruppierungsweise besteht darin, für jeden Eingriff einen Siebtyp mit den von ihm benötigten Instrumenten zusammenzustellen.³⁸⁵ Wie im ersten Fall kann damit ein maximaler Nutzungsgrad erreicht und die Anzahl bereitgestellter Instrumente minimiert werden.³⁸⁶ Es werden aber so viele Siebtypen und mindestens so viele Siebe wie Eingriffstypen benötigt, was bei einem nicht außergewöhnlich stark spezialisierten OP-Plan eine hohe Anzahl vorzuhaltender Siebe und Siebtypen bedeutet. Außerdem bedarf es einer hohen Anzahl an

³⁸² Eigene Darstellung.

³⁸³ Vgl. auch im Weiteren Reymondon et al. (2008), S. 328.

³⁸⁴ Vgl. auch im Weiteren van de Klundert et al. (2008), S. 31.

³⁸⁵ Vgl. van de Klundert et al. (2008), S. 31; Reymondon et al. (2008), S. 327.

³⁸⁶ Vgl. van de Klundert et al. (2008), S. 31; Reymondon et al. (2008), S. 329.

Instrumenten im Bestand, da keine Nutzung durch mehrere Eingriffe vorgesehen ist.³⁸⁷ Die Anzahl der Instrumente pro Sieb ist vom Bedarf der Eingriffe abhängig und liegt zwischen den Extremen des ersten und zweiten Ansatzes.

Tabelle 9 und 10 sowie die Erläuterungen dazu zeigen, dass keiner der drei aufgeführten Extremansätze eine Optimierung für alle Ziele erreicht. Das ist teilweise auch darauf zurückzuführen, dass sich manche der Ziele gegenseitig ausschließen.³⁸⁸ Eine optimale Gruppierung muss aus diesem Grund zwischen den Extremen liegen.³⁸⁹ Um eine Zwischenlösung zu finden, sind die Ziele so gegeneinander abzuwägen, dass sie die übergeordnete Zielsetzung der Sterilgutversorgung, die in Kapitel 3.3 erarbeitet wurde, optimieren. Zur Abwägung wird die Problemstellung als mathematisches Optimierungsmodell formuliert. Im Zuge der Lösung des Modells werden die zahlreichen Möglichkeiten der Siebzusammensetzung variiert und in Bezug auf die Ziele bewertet.

5.1.3 Relevante Literatur

Der Literaturüberblick zur Sieboptimierung fasst die Ergebnisse von zwei Literaturüberblicksarbeiten, die unter anderem die Sieboptimierung mithilfe mathematischer Modelle zum Gegenstand hatten, zusammen. Es handelt sich um die bereits im vorherigen Kapitel verwendeten Arbeiten von Ahmadi et al. aus dem Jahr 2018 und von dos Santos et al. aus dem Jahr 2020. Zur Vorgehensweise der jeweiligen Recherchen sei auf die Artikel verwiesen.

Ahmadi et al. führten eine Literaturrecherche zum Bestandsmanagement von chirurgischem Material und sterilen Instrumenten in Krankenhäusern durch. Im Zuge dessen widmen sie dem Sieboptimierungsproblem ein separates Kapitel.³⁹⁰ Sie identifizieren fünf Artikel zum Sieboptimierungsproblem, wobei sie das Sieboptimierungsproblem weiter fassen und auch die Gruppierung von Einwegprodukten einschließen.³⁹¹ Ein Artikel wird ausgeschlossen, weil er ausschließlich chirurgische Tücher betrachtet. Die vier Studien zur Sieboptimierung, die Ahmadi et al. aufführen, sind in Tabelle 11 in den weiß und hellgrau hinterlegten Zeilen zu finden.

³⁸⁷ Vgl. Reymondon et al. (2008), S. 327.

³⁸⁸ Vgl. van de Klundert (2008), S. 31; Reymondon et al. (2008), S. 329.

³⁸⁹ Vgl. van de Klundert et al. (2008), S. 31; Reymondon et al. (2008), S. 334.

³⁹⁰ Vgl. Ahmadi et al. (2018), S. 144-145.

³⁹¹ Vgl. Ahmadi et al. (2018), S. 145.

Dos Santos et al. nennen in ihrer Literaturrecherche zur Rationalisierung von chirurgischen Instrumentensieben fünf Studien, die mathematische Modelle verwenden.³⁹² Eine der Studien ist in Portugiesisch verfasst und wird deshalb nicht in die Literaturübersicht dieser Arbeit aufgenommen. Eine andere Studie wird ausgeschlossen, weil sie nicht die Sieboptimierung zum Gegenstand hat. Die Studien zur Sieboptimierung aus dos Santos et al. sind in Tabelle 11 in den weißen und der dunkelgrauen Zeile zu finden. Die weißen Zeilen kennzeichnen die Artikel, die in beiden Literaturübersichten genannt werden, die grau hinterlegten Zeilen kennzeichnen die Artikel, die nur in einem der Artikel genannt werden.

| Autoren | Jahr | Land | Zielgrößen | Lösungsansatz |
|------------------|-------------|-------------|--|---|
| Ahmadi et al. | 2019 | USA | Siebbereitstellungen, Nutzungsgrad | Mehrzielmodell |
| Cardoen et al. | 2015 | Belgien | | Gruppierung von Einweg- produkten |
| Dobson et al. | 2015 | USA | Bestandskosten, Aufbereitungskosten | Weiterentwicklung des Modells von Reymondon et al. |
| Klundert et al. | 2008 | Niederlande | Lagerkosten, Nutzungskosten | Modell, keine Lösung |
| Reymondon et al. | 2008 | Frankreich | Lagerkosten, Aufbereitungskosten | Modell und Heuristik |

Tab. 11: Studien zum Sieboptimierungsproblem.³⁹³

Van de Klundert et al. thematisieren in ihrem Artikel zur Optimierung der Logistik in Krankenhäusern aus dem Jahr 2008 unter anderem auch die Optimierung der Gruppierung von Mehrweginstrumenten in Siebe.³⁹⁴ Sie bezeichnen das Problem als Sieboptimierungsproblem und formulieren ein mathematisches Modell.³⁹⁵ Ihrem Modell liegt die Annahme eines vorhandenen Instrumentenbestands zu Grunde, der kostenminimal in Siebe gruppiert werden soll.³⁹⁶ Sie weisen darauf hin, dass ihr Problem der Komplexitätsklasse NP-schwer zuzuordnen und deshalb für praxisrelevante Beispiele mit herkömmlicher Rechenleistung nicht in vertretbarer Rechenzeit lösbar ist.³⁹⁷ Volland et al. führen das von van de Klundert beschriebene Problem in ihrem Literaturüberblick zu Materiallogistik 2017 auf und beschreiben es als Bündelungsproblem der Zusammensetzung medizinischer Instrumentensiebe.³⁹⁸

³⁹² Vgl. dos Santos (2020), S. 13-14.

³⁹³ Eigene Darstellung in Anlehnung an Ahmadi et al. (2018), S. 145.

³⁹⁴ Vgl. van de Klundert et al. (2008), S. 31.

³⁹⁵ Vgl. van de Klundert et al. (2008), S. 31-32.

³⁹⁶ Vgl. van de Klundert et al. (2008), S. 32.

³⁹⁷ Vgl. van der Klundert et al. (2008), S. 32-33.

³⁹⁸ Vgl. Volland et al. (2017), S. 96.

Auch Reymondon et al. entwickelten 2008 ein mathematisches Modell zur Sieboptimierung.³⁹⁹ Sie wägen in ihrer Zielfunktion Aufbereitungskosten und Lagerkosten gegeneinander ab. Anders als das Modell von van de Klundert et al., das von einem gegebenen Instrumentenbestand ausgeht, bestimmt das Modell von Reymondon et al., welche Instrumentenarten in welcher Anzahl im Bestand sein müssen. Da die Lösung ihres Modells mit exakten Verfahren schon für kleine Instanzen nicht akzeptable Rechenzeiten erfordert, entwickeln Reymondon et al. eine Heuristik zur Bewältigung der Komplexität des Problems.⁴⁰⁰ Die Heuristik basiert auf der Idee des „shared level“.⁴⁰¹ Es gibt für jeweils mehrere Eingriffe an, inwieweit sich ihr Instrumentenbedarf überschneidet. Die Heuristik kann als eigenständiges Lösungsverfahren oder als Startlösung für weitere Lösungsverfahren verwendet werden.⁴⁰² Dobson et al. entwickeln das nicht-lineare Modell von Reymondon et al. zu einem linearen Modell weiter, um die Lösbarkeit zu verbessern.⁴⁰³ Die Zielfunktion minimiert die Kosten der Nutzung und des Bestands.⁴⁰⁴ Sie betonen dabei die Bedeutung der Präferenzen der ChirurgInnen für die Identifikation des Instrumentenbedarfs eines Eingriffs.⁴⁰⁵ Für ihr modifiziertes Modell entwickeln sie eine leistungsfähige Lösungsheuristik, die weniger Rechenzeit benötigt als die von Reymondon et al.⁴⁰⁶ Die Anwendung auf Realdaten zeigt, dass in deutlich kürzerer Zeit näherungsweise optimale Lösungen erzielt werden. Laut dos Santos et al. handelt es sich bei dem Artikel von Dobson et al. um den meist zitierten Artikel aus der Kategorie der mathematischen Optimierungsansätze.⁴⁰⁷ Der jüngste Beitrag zur Sieboptimierung stammt von Ahmadi et al. im Jahr 2019. Ihre Problemstellung ist an die von Dobson et al. und daher ebenfalls an die von Reymondon et al. angelehnt.⁴⁰⁸ In ihrem Artikel betonen sie den Nutzen der Sieboptimierung für die Mitarbeitersicherheit, der aus einer geringeren ergonomischen Belastung durch leichtere Siebe resultiert.⁴⁰⁹ Sie entwerfen ein multikriterielles Modell, das mit zwei Zielfunktionen gleichzeitig die Anzahl bereitgestellter Siebe und die Anzahl nicht angeforderter Instrumente minimiert.⁴¹⁰ Zur Lösung

³⁹⁹ Vgl. Reymondon et al. (2008) S. 326.

⁴⁰⁰ Vgl. Reymondon et al. (2008), S. 331.

⁴⁰¹ Vgl. auch im Weiteren Reymondon et al. (2008), S. 328 und 331.

⁴⁰² Vgl. Reymondon et al. (2008), S. 334.

⁴⁰³ Vgl. Dobson et al. (2015), S. 226.

⁴⁰⁴ Vgl. Dobson et al. (2015), S. 229.

⁴⁰⁵ Vgl. Dobson et al. (2015), S. 226.

⁴⁰⁶ Vgl. auch im Weiteren Dobson et al. (2015) S. 234-236.

⁴⁰⁷ Vgl. dos Santos et al. (2020), S. 11.

⁴⁰⁸ Vgl. Ahmadi et al. (2009), S. 330.

⁴⁰⁹ Vgl. Ahmadi et al. (2019), S. 328.

⁴¹⁰ Vgl. Ahmadi et al. (2019), S. 330.

des Problems entwickeln sie eine Heuristik mit einer iterativen lokalen Suche und demonstrieren an historischen Daten deren Leistungsfähigkeit.⁴¹¹

Die Artikel in Tabelle 11 behandeln vorwiegend die Sieboptimierung im engeren Sinne, die sich auf Mehrweginstrumente beschränkt. Eine mit der Sieboptimierung verwandte Fragestellung ist die Zusammenstellung von sogenannten „Custom Packs“. Darunter versteht man standardisierte Sets von Einweg- und/oder Mehrwegartikeln für einzelne PatientInnen.⁴¹² Diese Fragestellung wurde 2015 von Cardoen et al. behandelt. Sie formulieren ein mathematisches Modell mit einer Zielfunktion, die die Berührungspunkte, das heißt die physischen Kontakte von MitarbeiterInnen und den Artikeln minimiert. Außerdem entwickeln sie eine Heuristik zur Lösung ihres Modells und wenden sie auf Realdaten an.⁴¹³

Eine weitere erwähnenswerte Veröffentlichung stammt von Kooij und Glorie aus dem Jahr 2015. Sie schlagen einen Algorithmus zur Generierung von Instanzen für das Sieboptimierungsproblem vor.⁴¹⁴ Auf diese Weise soll eine bessere Vergleichbarkeit von Modellen und Lösungsmethoden ermöglicht werden.

Es soll noch darauf hingewiesen werden, dass der Begriff „Sieboptimierung“ in der Literatur nicht einheitlich verwendet wird. Obwohl die unterschiedlichen Autoren und Artikel den gleichen Begriff verwenden, unterscheiden sich die damit bezeichneten Probleme hinsichtlich bestimmter Annahmen. Van de Klundert et al. benutzen den Begriff erstmals und bezeichnen damit die Optimierung der Zusammensetzung von Sieben aus einer vorgegebenen Instrumentenmenge mit dem Ziel die logistischen Gesamtkosten zu reduzieren.⁴¹⁵ Reymondon et al. und Dobson et al. benutzen den Begriff „Sieboptimierung“ nicht, obwohl ihre Modelle als Grundlage für weitere Arbeiten dienen, in denen der Begriff zur Beschreibung ihres Modells verwendet wird.⁴¹⁶ Dobson et al. bezeichnen mit dem Begriff das Problem, welche Instrumententypen- und mengen in welche Siebe zu gruppieren sind, sowie welche Eingriffe welcher ChirurgInnen durch welche Siebtypen bedient werden sollen, um Aufbereitungs- und Lagerkosten zu minimieren.⁴¹⁷ Van de Klundert et al. gehen von einer vorgegebenen Instrumentenmenge aus, wohingegen Reymondon et al., Dobson et al. und die darauf

⁴¹¹ Vgl. Ahmadi et al. (2019), S. 332.

⁴¹² Vgl. Ahmadi et al. (2018), S. 145.

⁴¹³ Vgl. Cardoen et al. (2015), S. 7347-7349 und 7350-7353.

⁴¹⁴ Vgl. auch im Weiteren Kooij/Glorie (2015), S. 5.

⁴¹⁵ Vgl. van de Klundert (2008), S. 24 und 31.

⁴¹⁶ Vgl. Reymondon et al. (2008), S. 327; Dobson et al. (2015), S. 226; Dollevoet et al. (2018), S. 1; Ahmadi et al. (2019), S. 330.

⁴¹⁷ Vgl. Dobson S. 227.

aufbauenden Modelle den Bestand ebenfalls durch das Modell bestimmen lassen.⁴¹⁸ Volland et al. sprechen in Bezug auf das von van de Klundert et al. als Sieboptimierungsproblem bezeichnete Problem in ihrem Literaturüberblick zu Materiallogistik von einem Bündelungsproblem der Zusammensetzung medizinischer Instrumentensiebe.⁴¹⁹ Ahmadi et al. benennen das Sieboptimierungsproblem in ihrem Literaturüberblick und führen die Artikel von van de Klundert et al., Reymondon et al. und Dobson et al. dazu an.⁴²⁰ Dollevoet et al. ebenso wie Kooij und Glorie bezeichnen die Problemstellung, die Reymondon et al. als erstes beschrieben haben, als Sieboptimierungsproblem.⁴²¹

Abschließend können aus der Literaturrecherche zum Sieboptimierungsproblem unter anderem die Erkenntnis gewonnen werden, dass starke Unterschiede hinsichtlich der in den verschiedenen Ansätzen verwendeten Optimierungsvariablen bestehen und zum anderen die Erkenntnis, dass Uneinigkeit über den Begriff des Sieboptimierungsproblems selbst herrscht. Beides unterstreicht den Forschungsbedarf auf diesem Gebiet.

5.2 Zweites Teilproblem: die Einweg-Mehrweg-Entscheidung

Das zweite Teilproblem ist die Entscheidung über die Nutzungsformen Einweg und Mehrweg. Sie wird als Einweg-Mehrweg-Entscheidung bezeichnet. Im ersten Teilkapitel wird das Problem definiert, die Voraussetzungen geklärt und die Einflussmöglichkeiten auf die Zielerreichung der Sterilgutaufbereitung aufgezeigt. Im zweiten Teilkapitel wird die Vorgehensweise des Lösungsansatzes beschrieben. Hierzu werden die Kriterien für die Entscheidung zwischen Einweg- und Mehrweginstrument beschrieben. Das dritte Teilkapitel enthält einen Literaturüberblick zur Einweg-Mehrweg-Entscheidung.

5.2.1 Problemdefinition

Gegenstand des Teilproblems ist die Entscheidung, ob ein Instrumentenbedarf durch ein Einweginstrument oder durch ein Mehrweginstrument bedient wird. Denn grundsätzlich kann jeder Bedarf sowohl durch ein Einweg- als auch durch ein Mehrweginstrument des benötigten Instrumententyps erfüllt werden. Der ausschließliche Einsatz von nur einer Nutzungsform für

⁴¹⁸ Vgl. Klundert et al. (2008), S. 31; Reymondon et al. (2008), S. 327; Dobson et al. (2015), S. 227; Dollevoet et al. (2018), S. 2-3; Ahmadi et al. (2019), S. 330-331.

⁴¹⁹ Vgl. Volland et al. (2017), S. 96.

⁴²⁰ Vgl. Ahmadi et al. (2018), S. 144.

⁴²¹ Vgl. Dollevoet et al. (2018), S. 1-2; Kooij/Glorie (2015), S. 4.

alle Instrumentenarten und Situationen ist in der Praxis unwahrscheinlich anzutreffen.⁴²² Für die Entscheidung, wann welche Nutzungsform vorteilhaft ist, sollten die Ziele aus Kapitel 3.3.3 herangezogen werden. Denn die Entscheidung zwischen Mehrweg- und Einweginstrument kann Einfluss auf die Zielerreichung der Sterilgutversorgung und des Krankenhauses insgesamt haben. Die beiden Alternativen unterscheiden sich nämlich hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die wirtschaftlichen Ziele sowie hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Qualitätsziele.⁴²³ Das heißt, Funktionsfähigkeit, Sauberkeit, Rechtzeitigkeit, Reaktionsfähigkeit und Kosten können sich für Einweg- und Mehrweginstrumenten unterscheiden.

Nicht für jeden Instrumentenbedarf ist eine Optimierung im Sinne der Einweg-Mehrweg-Entscheidung möglich. Es gilt zunächst die Voraussetzungen für eine Wahlmöglichkeit der Nutzungsform festzulegen. Die erste Voraussetzung ist zunächst einmal die Verfügbarkeit beider Nutzungsformen am Markt, die es ermöglicht bei der Beschaffung zwischen Einweg und Mehrweg zu wählen. Wie in Kapitel 2.3 beschrieben, stehen die meisten Instrumente am Markt als einmalig nutzbare Version und als wiederverwendbare Versionen zur Auswahl.⁴²⁴ Die zweite Voraussetzung für eine Entscheidungsmöglichkeit zwischen Einweg und Mehrweg ist, dass deren Substituierbarkeit gegeben sein muss.⁴²⁵ Die Einweg- und die Mehrwegvariante eines Instruments sind substituierbar, wenn die Einhaltung der Qualitätskriterien nicht eine davon ausschließt. Durch diese Voraussetzung wird man der in Kapitel 3.2.3 geforderten hierarchischen Unterordnung des Wirtschaftlichkeitsziels unter das Qualitätsziel gerecht, soweit es die Erfüllung eines Mindestqualitätsstandrads erfordert. Sind für einen Instrumentenbedarf die Voraussetzungen *Verfügbarkeit am Markt* und *Substituierbarkeit* erfüllt, kann zwischen Einweg und Mehrweg gewählt werden.⁴²⁶

Das Teilproblem der Einweg-Mehrweg-Optimierung wird auf Basis der Ausführungen dieses Kapitels folgendermaßen formuliert: Ausgehend von einem vorgegebenen Instrumentenbedarf, der die benötigte Anzahl an Instrumenten für einen bestimmten Zweck vorgibt, wird die nach den Kriterien der Zielerreichung vorteilhafte Einweg- oder Mehrwegvariante eines Instruments zur Erfüllung des Zwecks gesucht. Als Frage formuliert lautet die Problemstellung: Soll ein Instrumentenbedarf durch ein Mehrweg- oder durch ein Einweginstrument bedient werden?

⁴²² Vgl. von Eiff (2006), S. 462.

⁴²³ Vgl. von Eiff (2009a), S. 659-660.

⁴²⁴ Vgl. Ibbotson et al. (2013), S. 1138.

⁴²⁵ Vgl. Siu et al. (2017), S. 30.

⁴²⁶ Vgl. Ibbotson et al. (2013), S. 1138.

5.2.2 Lösungsansatz

Die Einweg-Mehrweg-Entscheidung wird grundsätzlich von mehreren Kriterien bestimmt. Siu et al. schlagen die Kosten der Nutzung, die externalisierten Umweltkosten, die Funktionsweise und die Sicherheit als Kriterien vor.⁴²⁷ Die beiden Kriterien *Funktionsweise* und *Sicherheit* können im Kriterium *Qualität* zusammengefasst werden. Dafür spricht, dass sich die Funktionsweise eines Instruments auf die Qualität des Instrumenteneinsatzes auswirkt, indem sie die Handhabung durch die ChirurgInnen, die Reinigungs- und Sterilisationseigenschaften oder direkt die Qualität des Eingriffs beeinflusst. Das Kriterium *Sicherheit* wirkt sich auf die Qualität aus, weil die Folgen von Sicherheitsmängeln die Qualität beeinträchtigen. Im Folgenden werden deshalb als Kriterien für die Einweg-Mehrweg-Entscheidung herangezogen: die Kosten des Krankenhauses, die Umweltkosten und die Qualität des Instrumenteneinsatzes. Sie werden in den nächsten drei Abschnitten erläutert.

Beim Vergleich der Kosten der Verwendung von Einweg- und Mehrweginstrumenten ist zu beachten, dass den unterschiedlichen Nutzungszeiträumen, beteiligten Ressourcen und Prozessen Rechnung getragen wird.⁴²⁸ So ist ein Vergleich der Anschaffungskosten allein angesichts der unterschiedlichen Nutzungsweisen keine ausreichende Entscheidungsgrundlage. Zur Kalkulation bieten sich ganzheitliche Ansätze an, die eine Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus des Instruments ermöglichen⁴²⁹

Die Kosten der Nutzung eines Instruments berechnen sich aus dem Anschaffungspreis, der Anzahl vorgesehener Nutzungen, den Aufbereitungskosten, den Lagerungskosten und den Entsorgungskosten.⁴³⁰ Weitere indirekte Kosten der Nutzung sind zu ergänzen. Sie werden auch als versteckte Kosten bezeichnet.⁴³¹ Darunter fallen: Abnutzungs- und Abschreibungskosten für Mehrweginstrumente oder Ressourcenbeanspruchung.⁴³² Auf Grundlage der Kostenkategorien des Zielsystems in Kapitel 3.3.3 wird die Aufzählung außerdem um die perioperativen Kosten und die Transportkosten ergänzt. Für Einweg- und Mehrweginstrumente unterscheiden sich die relevanten Kostenkomponenten deutlich. Während für Mehrweginstrumente grundsätzlich alle aufgeführten Komponenten zu berücksichtigen sind, gilt für Einweginstrumente, dass die Anzahl der Nutzungen per Definition immer Eins beträgt und dass Aufbereitungskosten entfallen.

⁴²⁷ Vgl. Siu et al. (2017), S. 32.

⁴²⁸ Vgl. Ibbotson et al. (2013), S. 1138.

⁴²⁹ Vgl. Ibbotson et al. (2013), S. 1139; Sherman et al. (2018), S. 435.

⁴³⁰ Vgl. Siu et al. (2017), S. 32.

⁴³¹ Vgl. Siu et al. (2017), S. 30.

⁴³² Vgl. Siu et al. (2017), S. 31.

Die Umweltkosten sollen die ökologischen Auswirkungen der Nutzung eines Instruments quantifizieren. Sie variieren nicht nur zwischen Einweg- und Mehrweginstrumenten, sondern auch innerhalb der beiden Gruppen. Je nachdem, welches und wie viel Material verwendet wird, und welche und wieviel Energie für Herstellung und Aufbereitung beansprucht wird, fallen die Umweltbelastungen unterschiedlich aus.⁴³³ Für Einweginstrumente fallen Umweltkosten hauptsächlich bei Herstellung und Entsorgung an.⁴³⁴ Für Mehrweginstrumente fallen sie hauptsächlich während der Aufbereitung in Form des Energie- und Wasserbedarfs und der chemischen Abwässer an⁴³⁵ und werden maßgeblich von der Effizienz und dem Zustand der maschinellen Anlagen bestimmt.⁴³⁶ Außerdem hängt beispielsweise der CO₂-Fußabdruck für die bei der Aufbereitung verwendete Energie wesentlich von der Art der Energiegewinnung ab (fossile oder erneuerbare Quellen).⁴³⁷ In der jüngeren Literatur werden zwar Vorschläge zur Abbildung ökologischer Auswirkungen des Krankenhausbetriebs beispielsweise unter Verwendung des bereits erwähnten Konzepts des CO₂-Fußabdrucks oder eines Wasserfußabdrucks entwickelt. Trotzdem bleibt die Abbildung ökologischer Auswirkungen aufgrund der grundsätzlich schwierigen Quantifizierung ökologischer Folgen, der langfristigen Wirkungszusammenhänge und der regionalen und nationalen Unterschiede hinsichtlich Energieversorgung und Entsorgungsabläufen weiterhin eine Herausforderung, die im Rahmen dieser Arbeit nicht abschließend behandelt werden kann. Vor allem aber existieren bisher kaum Anreize oder Pflichten zur Internalisierung der externen (ökologischen und sozialen) Effekte. Daher haben Umweltkosten für Entscheidungen aus der Perspektive des Krankenhausmanagements bisher wenig praktische Relevanz.⁴³⁸ Aus den in diesem Abschnitt vorgebrachten Gründen sind die ökologischen Auswirkungen der Instrumentennutzung nicht Teil der weiteren Betrachtungen dieser Arbeit.

Die Qualität des Instrumenteneinsatzes umfasst vier Aspekte: die Eigenschaften des Instruments, die Anwendungsweise, die Auswirkungen der Aufbereitung und die Bereitstellung. Sie werden folgend bezeichnet als Instrumentenqualität, Anwendungsqualität, Aufbereitungsqualität und Bereitstellungsqualität.

Die Instrumentenqualität kann sich hinsichtlich Stabilität, Schärfe oder Präzision unterscheiden.⁴³⁹ Diese Eigenschaften sind zunächst bestimmt vom Hersteller. Für

⁴³³ Vgl. Ibbotson et al. (2013), S. 1441; Sherman et al. (2018), S. 439.

⁴³⁴ Vgl. Ibbotson et al. (2013), S. 1441; Sherman et al. (2018), S. 438.

⁴³⁵ Vgl. Siu et al. (2017), S. 32; Ibbotson et al. (2013), S. 1141; Sherman et al. (2018), S. 438.

⁴³⁶ Vgl. Ibbotson et al. (2013), S. 1143.

⁴³⁷ Vgl. Mc Gain et al. (2017), S. 868.

⁴³⁸ Vgl. Ibbotson et al. (2013), S. 1147.

⁴³⁹ Vgl. Schaer et al. (1995), S. 1813.

Mehrweginstrumente gilt, dass die Instrumentenqualität mit zunehmender Nutzungsdauer weniger vom Hersteller und zunehmend von der Anzahl der Nutzungen und Aufbereitungen sowie der Aufbereitungsqualität abhängt.⁴⁴⁰ Die Anwendungsqualität ist bestimmt von den Fähigkeiten und Präferenzen der Anwender. Unabhängig von der Instrumentenqualität kann ein Instrument von bestimmten Anwendern oder in bestimmten Anwendungsfällen besser oder schlechter gehandhabt werden.⁴⁴¹ Präferenzen, Routine und Lerneffekte spielen eine wichtige Rolle für die Art und Weise der Anwendung eines Instruments durch den Anwender.⁴⁴² Die Aufbereitungsqualität ist das Ergebnis des Aufbereitungsprozesses der Mehrweginstrumente und wird zudem von der Instrumentenbeschaffenheit bestimmt.⁴⁴³ Die Aufbereitungsqualität hat Einfluss darauf, wie stark die Instrumentenqualität mit der Anzahl Nutzungen und Aufbereitungen abnimmt.⁴⁴⁴ Die Grenzen der Aufbereitungsqualität sind durch die Beschaffenheit des Instruments determiniert. Denn für komplexe Instrumente oder Instrumente, die aus vielen Bestandteilen zusammengesetzt sind, kann die manuelle Reinigung erschwert und die maschinelle Reinigung eingeschränkt sein.⁴⁴⁵ Die Bereitstellungsqualität bezeichnet die Qualität der Serviceleistung der Sterilgutversorgung für den OP-Bereich. Relevante Kriterien sind Pünktlichkeit und Korrektheit der bereitgestellten Instrumente sowie die Verfügbarkeit. Die Einweg-Mehrweg-Entscheidung als Optimierungsansatz soll entsprechend der Zielsetzung der Sterilgutversorgung zur Kostenminimierung unter Einhaltung der Qualitätskriterien beitragen. Mit der Substitutionsbedingung als Voraussetzung für eine Entscheidung zwischen Einweg- und Mehrwegalternative ist die Einhaltung der Qualitätsziele sichergestellt. Denn es besteht nur dann die Möglichkeit zwischen einer Einweg- und einer Mehrwegalternative zu wählen, wenn der festgelegte Mindestqualitätsstandard durch keine der Alternativen gefährdet ist. Wenn also für beide Nutzungsformen gegeben ist, dass sie die Qualitätsziele erfüllen, zielt die Optimierung auf das Wirtschaftlichkeitsziel ab. Der Fokus des Einweg-Mehrweg-Teilproblems liegt folglich auf der Minimierung der Kosten. Im nächsten Abschnitt soll gezeigt werden, wie durch die Einweg-Mehrweg-Entscheidung Einfluss auf die Kostenziele genommen werden kann. Die Verwendung eines Einweg- oder eines Mehrweginstrumentes verursacht Kosten unterschiedlicher Kostenkategorien in unterschiedlicher Höhe. Zur Veranschaulichung werden die beiden Extreme der ausschließlichen Verwendung von Einweginstrumenten und der ausschließlichen Verwendung

⁴⁴⁰ Vgl. Lim et al. (2012), S. 63-65.

⁴⁴¹ Vgl. von Eiff (2006), S. 452.

⁴⁴² Vgl. Demoulin et al. (1996), S. 524.

⁴⁴³ Vgl. Fengler et al. (2000), S. 390-391.

⁴⁴⁴ Vgl. von Eiff (2006), S. 456.

⁴⁴⁵ Schmeck et al. (2008), S. 808.

von Mehrweginstrumenten gegenübergestellt. In Tabelle 12 wird ihre Wirkung auf die Zielgrößen dargestellt und im Anschluss erläutert. In der ersten Spalte der Tabelle sind die Kostenziele aufgezählt. Die beiden folgenden Spalten sind für die Extremfälle mit „ausschließlich Einweg“ und „ausschließlich Mehrweg“ bezeichnet. Ein „X“ kennzeichnet für jedes Ziel denjenigen Fall, für den die Kosten minimiert werden.

| Ziele | Extremfall Einweg | Extremfall Mehrweg |
|----------------------|------------------------------|---------------------------|
| Folgekosten | Substituierbarkeitsbedingung | |
| Kapitalkosten | X | |
| Lagerungskosten | X | |
| Beschaffungskosten | | X |
| Entsorgungskosten | | X |
| Perioperative Kosten | ? | ? |
| Aufbereitungskosten | X | |
| Abnutzungskosten | X | |
| Transportkosten | X | |

X kennzeichnet den Fall, für den die Kosten des Ziels minimiert werden

Tab. 12: Auswirkung der Einweg-Mehrweg-Entscheidung auf die Zielgrößen.⁴⁴⁶

Die beiden Extremfälle haben konträre Auswirkungen auf die Kostenziele.⁴⁴⁷ Einen Sonderfall stellen die Folgekosten dar, weil unter der Voraussetzung der Substituierbarkeit von Einweg und Mehrweg keine wesentlich unterschiedlichen Folgekosten resultieren können. Die Kapitalkosten, die Lagerungskosten, die Aufbereitungskosten, die Abnutzungskosten und die Transportkosten werden im ersten Fall, wenn ausschließlich Einweginstrumente verwendet werden, minimiert. Das ist ganz einfach damit zu begründen, dass diese Kostenkategorien, gemäß ihrer Definition in 3.3.2 nur für Mehrweginstrumente anfallen. Die Beschaffungs- und Entsorgungskosten hingegen fallen gemäß 3.3.2 für Einweginstrumente an und werden im zweiten Fall der Mehrwegnutzung minimiert. Es ist schwer eine Aussage darüber zu treffen, ob die perioperativen Kosten bei der Verwendung von Einweg oder Mehrweg geringer sind, deshalb enthalten die Felder Fragezeichen.

Tabelle 12 sowie die Erläuterungen dazu zeigen, dass weder die ausschließliche Verwendung von Einweginstrumenten noch die ausschließliche Verwendung von Mehrweginstrumenten eine Minimierung für alle Kostenziele erreicht. Eine kostenminimale Bereitstellung ist deshalb zwischen den beiden Extremen zu verorten. Um die optimale Kombination der beiden Nutzungsformen zu finden, ist für jeden Instrumententyp abzuwägen, ob die Bereitstellung in Form der Einweg- oder der Mehrwegvariante kostengünstiger ist.

⁴⁴⁶ Eigene Darstellung.

⁴⁴⁷ Vgl. Reymondon et al. (2008), S. 328.

5.2.3 Relevante Literatur

Dieses Kapitel gibt einen Überblick zu Artikeln, die sich mit der Entscheidung zwischen Mehrweg- und Einweginstrumenten beschäftigt haben. Basis für die Literaturlauswahl ist eine Literaturüberblicksarbeit von Siu et al. und eine eigene ergänzende Literaturrecherche. Der Literaturüberblick von Siu et al. enthält Studien, die die Sterilgutversorgung durch Einweg- und Mehrweginstrumente miteinander vergleicht und entspricht damit dem Suchprofil dieses Kapitels.⁴⁴⁸ Zur Vorgehensweise der Recherche sei auf den Artikel verwiesen. Siu et al. identifizieren mit ihrer systematischen Literaturrecherche nach dem PRISMA-Konzept 24 relevante Studien, die sie auf die Zielgrößen *Kosten*, *Qualität* und *Umwelt* analysieren. Das entspricht den drei Entscheidungskriterien aus dem vorangegangenen Teilkapitel. Der Literaturüberblick für die vorliegende Arbeit beschränkt sich auf die Ergebnisse zu Qualität und Kosten. Denn aus dem vorangegangenen Kapitel ging hervor, dass die Qualität für die Substituierbarkeit als Voraussetzung der Einweg-Mehrweg-Entscheidung relevant ist und dass die Kosten das entscheidende Kriterium für die Einweg-Mehrweg-Entscheidung darstellen.

Des Weiteren wird zur Gewährleistung einer besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse die Betrachtung auf einen Eingriff eingeschränkt. Der überwiegende Großteil der Studien betrachtet die Einweg-Mehrweg-Entscheidung für einen bestimmten Eingriff oder eine bestimmte Eingriffskategorie. Ein Vergleich der Ergebnisse über unterschiedlichste Eingriffe hinweg könnte ein verzerrtes Bild zeigen. Als repräsentativer Eingriff wird die laparoskopische Gallenblasenentfernung gewählt. Die Wahl wird folgendermaßen begründet: Viele Studien vergleichen den Einsatz von Einweg- und Mehrweginstrumenten für diesen Eingriff, da er häufig durchgeführt wird und deshalb eine breite Datenbasis bietet und zudem entsprechend hohes Kosteneinsparpotential verspricht.⁴⁴⁹ Außerdem ist es auch der am häufigsten betrachtete Eingriff im Literaturüberblick von Siu et al. Sechs der herangezogenen Studien nehmen einen Einweg-Mehrweg-Vergleich für die laparoskopische Gallenblasenentfernung vor.

Ergänzend zur Literatur aus Siu et al. wird eine systematische Literaturrecherche in *PubMed* nach dem PRISMA-Konzept durchgeführt. Die Suchbegriffe lauten „disposable reusable laparoscopic cholecystectomy“. Die Auswahl der Suchbegriffe zielt darauf ab, Studien zu finden, die sowohl Einweg- als auch Mehrweginstrumente betrachten, weil damit in der Regel

⁴⁴⁸ Vgl. Siu et al. (2017), S. 28.

⁴⁴⁹ Vgl. Allen et al. (2002), S. 474.

der Vergleich der beiden Formen einhergeht. Außerdem wird die Betrachtung auf den Eingriff der laparoskopischen Gallenblasenentfernung eingeschränkt.

Die Auswahl der Studien erfolgt nach folgenden Kriterien:

- Vergleich der Sterilgutversorgung mit Einweg- und Mehrweginstrumenten hinsichtlich der Kriterien Kosten und Qualität
- Instrumentenversorgung für die laparoskopische Gallenblasenentfernung

Ausschlusskriterien hingegen sind:

- kein Bezug zu sterilen chirurgischen Instrumenten
- ausschließlich Betrachtung medizinischer Methoden

Studien, auf die nicht zugegriffen werden kann, die weder auf Englisch noch auf Deutsch verfasst sind oder keinen wissenschaftlichen Ansprüchen genügen, werden ebenfalls ausgeschlossen.

Die Suche in *PubMed* liefert 33 Treffer. 4 der Artikel sind nicht zugänglich und können deshalb nicht auf ihre Relevanz geprüft werden. Von den verbleibenden 29 Treffern werden 9 Artikel aufgrund des Ausschlusskriteriums *kein Bezug zu sterilen chirurgischen Instrumenten* ausgeschlossen und 8 Artikel aufgrund des Ausschlusskriteriums *ausschließlich Betrachtung medizinischer Methoden*. 3 weitere Artikel werden ausgeschlossen, die nicht die Einschlusskriterien erfüllen, weil sie medizinische Fragen der Aufbereitung von Einweginstrumenten, den Einsatz von Virtual Reality und Beatmungstechniken behandeln. Ein Treffer ist die Literaturübersicht von Siu et al., die im ersten Suchlauf verwendet wurde. Es verbleiben 8 Artikel, die den Ein- und Ausschlusskriterien genügen. Darunter sind 3 Studien, die auch in den Ergebnissen des ersten Suchlaufs enthalten sind. In der folgenden Abbildung ist das PRISMA Flow Diagramm zur systematischen Literaturrecherche auf Basis von Siu et al. und in *PubMed* zusammengefasst. Das Ergebnis sind 11 Studien, die im Anschluss an die Abbildung ausgewertet werden.

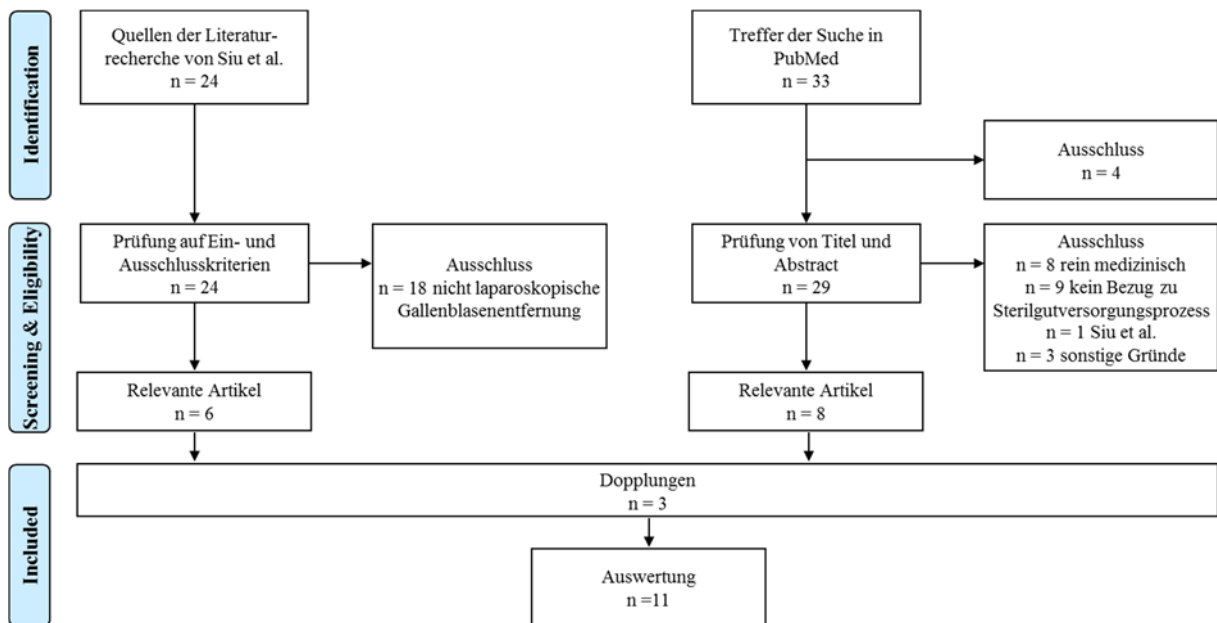


Abb. 14: PRISMA Flow Diagramm der systematischen Literaturrecherche nach Studien zur Einweg-Mehrweg-Entscheidung.⁴⁵⁰

Die Studien, die durch die systematische Literaturrecherche als relevant für die Fragestellung der Einweg-Mehrweg-Entscheidung bei der laparoskopischen Gallenblasenentfernung identifiziert wurden und im Folgenden ausgewertet werden, sind in Tabelle 13 aufgeführt.

Die drei Studien, die aus beiden Suchläufen resultieren, sind in der Tabelle 13 mit einem dunkleren Grauton unterlegt. Die Artikel, die nur aus dem zweiten Suchlauf in *PubMed* resultieren, sind in der Tabelle weiß unterlegt. Diejenigen Studien, die nur aus Siu et al.'s Literaturüberblick resultieren, sind hellgrau unterlegt.

| Autoren | Jahr | Land |
|-------------------------|-------|--------------|
| Adler et al. | 2005 | Deutschland |
| Aplegren et al. | 1994 | USA, Kanada |
| Demoulin et al. | 1996 | Belgien |
| Manatakis/ Georgopoulos | 2014 | Griechenland |
| von Eiff | 2006 | Deutschland |
| von Eiff | 2009a | Deutschland |
| Fengler et al. | 2000 | Deutschland |
| Grimes et al. | 2018 | USA |
| Schaer et al. | 1995 | Schweiz |
| Slater et al. | 2009 | UK |
| Vasios et al. | 2013 | Griechenland |

Tab. 13: Studien zur Einweg-Mehrweg-Entscheidung.⁴⁵¹

⁴⁵⁰ Eigene Darstellung.

⁴⁵¹ Eigene Darstellung in Anlehnung an Ahmadi et al. (2018), S. 145.

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Studien in Tabelle 13 für das Entscheidungskriterium *Kosten* in chronologischer Reihenfolge wiedergegeben.

Zu den ersten Untersuchungen gehören Apelgren et al. und Demoulin et al. in den Jahren 1994 und 1996. Apelgren et al. bestimmen einen Kostenvorteil der Mehrwegnutzung von 330 bis 460 Dollar je Fall, was 8- bis 11-fach höheren Kosten bei Einwegverwendung entspricht.⁴⁵² Demoulin et al. berechnen Kostenunterschiede in Höhe des Faktors 7,4 bis 27,7.⁴⁵³ Adler et al. kommen mit ihrer Untersuchung am Uniklinikum Freiburg zu dem Ergebnis, dass die Kosten der Einwegnutzung 19-mal so hoch sind wie die der Mehrwegnutzung. Ihre Berechnung beruht auf einer fünfjährigen Untersuchung von jährlich 255 Eingriffen.⁴⁵⁴ Eine Sensitivitätsanalyse zeigt, dass ihr Ergebnis hauptsächlich auf die höheren Beschaffungskosten der Einweginstrumente zurückzuführen ist.⁴⁵⁵ Slater et al. haben über einen Zeitraum von 7 Jahren 1803 laparoskopische Gallenblasenentfernungen untersucht und festgestellt, dass die Kosten je Eingriff bei Verwendung von Einweginstrumenten 6,4-mal höher sind als bei Mehrwegverwendung.⁴⁵⁶ Manatakis und Georgopoulos berechnen die 9-fache Kostenhöhe für die Einwegverwendung.⁴⁵⁷ Grimes et al. identifizieren die Verwendung von Mehrweg- statt Einweginstrumenten als Möglichkeit zur Kostenreduktion beim Standardeingriff der laparoskopischen Gallenblasenentfernung.⁴⁵⁸ Vasios et al. stellen einen signifikanten Kostenunterschied beim Vergleich einer größtenteils aus Mehrweginstrumenten bestehenden Versorgung und einer Einwegversorgung fest.⁴⁵⁹ Die Kosten der Einweginstrumente liegen um das 5,2-fache höher.

Auch Studien, die andere Eingriffe untersuchen, kommen zu dem Ergebnis, dass die Verwendung von Mehrweginstrumenten aus ökonomischer Sicht vorteilhafter ist.⁴⁶⁰ Siu et al. konstatieren in ihrer systematischen Literaturanalyse über 24 Studien zum Vergleich von Kosten und Sicherheit von Einweg- und Mehrweginstrumenten ebenfalls einen Kostenvorteil von Mehrweginstrumenten.⁴⁶¹

⁴⁵² Vgl. Apelgren et al. (1994), S. 33.

⁴⁵³ Vgl. Demoulin et al. (1996), S. 522.

⁴⁵⁴ Vgl. Adler et al. (2005), S. 270.

⁴⁵⁵ Vgl. Adler et al. (2005), S. 271.

⁴⁵⁶ Vgl. Slater et al. (2009), S. 671.

⁴⁵⁷ Vgl. Manatakis/Georgopoulos. (2014), S. 2.

⁴⁵⁸ Vgl. Grimes et al. (2018), S. 619.

⁴⁵⁹ Vgl. auch im Weiteren Vasios et al. (2013), S. 102.

⁴⁶⁰ Vgl. Schaer et al. (1995), S. 1816; Yung et al. (2010), S. 515; Ibbotson et al. (2013), S. 1138; Sherman et al. (2018), S. 441.

⁴⁶¹ Vgl. Siu et al. (2017), S. 30.

Die Unterschiede der Nutzungsformen hinsichtlich des Entscheidungskriteriums *Qualität* werden von Apelgren et al., Demoulin et al., Manatakis und Georgopoulos, von Eiff, Fengler et al. und Schaer et al. thematisiert. Im Folgenden sollen Thesen zum Qualitätsunterschied zwischen Einweg- und Mehrweginstrumenten aus den Studien aufgeführt und analysiert werden. Die zu analysierenden Thesen sind:

- Einweginstrumente, die stets neu und unbenutzt zur Anwendung kommen, garantieren im Gegensatz zu Mehrweginstrumenten, die im Lauf der Nutzungsdauer Abnutzungserscheinungen aufweisen können, eine konstante Qualität.⁴⁶² Dieses Argument bezieht sich auf die Qualitätszielgröße *Funktionsfähigkeit*.
- Mehrweginstrumente sind generell von höherer Qualität als Einweginstrumente, die als Massenprodukte hergestellt werden.⁴⁶³ Auch dieses Argument steht im Zusammenhang mit der Qualitätszielgröße *Funktionsfähigkeit*.
- Aufgrund der einmaligen Nutzung geht die Nutzung von Einweginstrumente mit einem geringeren Infektionsrisiko einher.⁴⁶⁴ Dieses Argument bezieht sich auf die Qualitätszielgröße *Sauberkeit*.
- Die kürzeren Lebenszyklen von Einweginstrumenten ermöglichen eine schnellere Anpassung an technische Weiterentwicklungen.⁴⁶⁵ Dieses Argument steht ebenfalls in Zusammenhang mit der Qualitätszielgröße *Funktionsfähigkeit*.

Die erste These lautet, dass Einweginstrumente den Mehrweginstrumenten qualitativ überlegen sind, da sich die Qualität Zweiterer durch Abnutzung vermindert. Schaer et al. entgegnen, dass Mehrweginstrumente zwar Abnutzungserscheinungen aufweisen, eine vergleichbare Qualität jedoch durch Reparatur und Wartung sichergestellt werden kann.⁴⁶⁶ Apelgren et al. stellen fest, dass die Verwendung des Mehrweginstrumentes im von ihnen betrachteten Eingriff aufgrund geringerer Schärfe einen größeren Krafteinsatz durch die ChirurgInnen erfordert.⁴⁶⁷ Dieser birgt ein höheres Verletzungsrisiko. In ihrer Untersuchung konnten sie trotzdem keine höhere Anzahl an Verletzungen bei Mehrwegverwendung feststellen. Sie schlagen vor, das Schärfungsintervall für die Mehrweginstrumente zu verkürzen. Auch Slater et al. entkräften die These, weil die angeführten Qualitätsdefizite nicht den Mehrweginstrumenten, sondern der

⁴⁶² Vgl. Schaer et al. (1995), S. 1813; Demoulin et al. (1996), S. 524; Apelgren et al. (1993), S. 33; Yung et al. (2010), S. 517; Manatakis/Georgopoulos (2014), S. 3.

⁴⁶³ Vgl. Fengler et al. (2000), S. 391.

⁴⁶⁴ Vgl. Demoulin et al. (1996), S. 525; Adler et al. (2005), S. 272; Manatakis/Georgopoulos (2014), S. 3.

⁴⁶⁵ Vgl. Schaer et al. (1995), S. 1813 und 1815; Schüpfer (2006), S. 429; von Eiff (2009a), S. 659.

⁴⁶⁶ Vgl. Schaer et al. (1995), S. 1814.

⁴⁶⁷ Vgl. auch im Weiteren Apelgren et al. (1993), S. 33.

Wartung geschuldet sind.⁴⁶⁸ Sie argumentieren demnach nicht grundsätzlich gegen Mehrweginstrumente, sondern für eine gewissenhaftere Wartung und Aufbereitung. Manatakis und Georgopoulos halten der ersten These das Argument entgegen, dass die meisten Studien, die eine qualitative Unterlegenheit von Mehrweginstrumenten postulieren, aus den neunziger Jahren stammen und man davon ausgehen kann, dass diese Defizite, sollten sie je bestanden haben, durch den technischen Fortschritt aufgeholt wurden.⁴⁶⁹

Die zweite These unterstellt eine qualitative Überlegenheit von Mehrweginstrumenten. Dass Mehrweginstrumente generell von höherer Qualität als Einweginstrumente sind, wird damit begründet, dass Einweginstrumente als Massenprodukt hergestellt werden.⁴⁷⁰ Zu Gunsten eines billigen Produkts müssten gegenüber Mehrweginstrumenten Einschränkungen bei der Material- und Verarbeitungsqualität gemacht werden. Einer qualitativen Überlegenheit von Mehrweginstrumenten können Yung et al. nicht beipflichten. Sie beobachten bei der Umstellung von Einweg auf Mehrweg eine Kostenreduktion ohne relevante Veränderung der Qualitätskennzahlen.⁴⁷¹

Die dritte These des höheren Infektionsrisikos von Mehrweginstrumenten im Vergleich zu Einweginstrumenten greifen Demoulin et al., Adler et al. und Fengler et al. auf.⁴⁷² Demoulin et al. widerlegen sie damit, dass bei Einhaltung der Vorgaben zu Aufbereitung und Arbeitssicherheit im Mehrwegversorgungsprozess kein Risiko für PatientInnen und MitarbeiterInnen besteht und dass bei unsachgemäßer Entsorgung auch Einweginstrumente ein Infektionsrisiko für MitarbeiterInnen bergen.⁴⁷³ Weder ihre Studie noch vorangegangene Studien konnten ein erhöhtes Infektionsrisiko bei der sachgemäßen Nutzung von Mehrweginstrumenten feststellen.⁴⁷⁴ Auch Adler et al. widersprechen der These und beobachten kein höheres Infektionsrisikos bei Mehrwegverwendung.⁴⁷⁵ Fengler et al. kommen auf Grundlage von 6000 untersuchten laparoskopischen Eingriffen zu dem Ergebnis, dass die sehr kleine Anzahl kontaminierter Mehrweginstrumente keinen Rückschluss auf Infektionsrisiken zulässt.⁴⁷⁶ Sie weisen ferner darauf hin, dass die Praxis der prophylaktischen Antibiotikagabe es erschweren kann, Defizite bei der Aufbereitung festzustellen und sie gleichzeitig deren Folgen und Bedeutung mindert. Yung et al beobachten Defizite im

⁴⁶⁸ Vgl. auch im Weiteren Slater et al. (2009), S. 272.

⁴⁶⁹ Vgl. Manatakis/Georgopoulos et al. (2014), S. 3.

⁴⁷⁰ Vgl. auch im Weiteren Fengler et al. (2000), S. 391.

⁴⁷¹ Vgl. Yung et al. (2010), S. 517.

⁴⁷² Vgl. Demoulin et al. (1996), S. 525; Adler et al. (2005), S. 272; Fengler et al. (2000), S. 393.

⁴⁷³ Vgl. Demoulin et al. (1996), S. 525.

⁴⁷⁴ Vgl. Demoulin et al. (1996), S. 525.

⁴⁷⁵ Vgl. Adler et al. (2005), S. 272.

⁴⁷⁶ Vgl. auch im Weiteren Fengler et al. (2000), S. 393.

Aufbereitungsprozess von Mehrweginstrumenten, die ein erhöhtes Infektionsrisiko zur Folge haben können. Sie sind jedoch bei Einhaltung aller Vorgaben vermeidbar.⁴⁷⁷ Ihre Gegenüberstellung von jeweils 85 Fällen von Einweg- und Mehrwegnutzung zeigt keine unterschiedlichen Komplikationsraten oder Infektionsrisiken.⁴⁷⁸

Die vierte These, dass Einweginstrumente eine schnellere technische Anpassung ermöglichen, begründet von Eiff mit zwei Punkten. Der erste Grund lautet, dass Einweginstrumente einer innovativeren Weiterentwicklung unterliegen.⁴⁷⁹ Der andere Grund lautet, dass sich ein Krankenhaus mit der Anschaffung eines Mehrweginstruments für den Zeitraum der Nutzungsdauer des Instruments technologisch festlegt und daraus eine entsprechende Zeitverzögerung für Innovationen resultiert.⁴⁸⁰ Dem ist zu entgegnen, dass für keinen der beiden Punkte Belege vorgebracht werden und insbesondere für den ersten Punkt auch keine nachvollziehbare Begründung. Die Entscheidung, ob eine Innovation als Einweg- oder Mehrweginstrument auf den Markt gebracht wird, hängt von unterschiedlichsten Faktoren ab und wird letztendlich von den Herstellern allein getroffen.

Aus den aufgeführten Studien lässt sich zusammenfassen, dass hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit ein Kostenvorteil der betrachteten Mehrweginstrumente besteht. Unter Berücksichtigung von Aufbereitungs- oder Lagerkapazitäten und anderen Faktoren, die bei in den meisten Studien unberücksichtigt geblieben sind, können jedoch auch Einweginstrumente für bestimmte Instrumentenbedarfe die wirtschaftlich vorteilhaftere Variante sein. Hinsichtlich der Qualität kann kein nachweislicher Unterschied festgestellt werden. Es ist insgesamt zu beachten, dass die Studien nur den direkten Vergleich jeweils eines Einweg- mit einem funktionsgleichen Mehrweginstrument vornehmen. Entsprechend kann keine Aussage für Einweg- und Mehrweginstrumente im Allgemeinen daraus abgeleitet werden.

5.3 Simultane Optimierung der Teilprobleme

5.3.1 Notwendigkeit und Potential

Das Forschungsvorhaben dieser Arbeit besteht darin, ein Optimierungsmodell zu entwickeln, das die beiden in 5.1 und 5.2 beschriebenen Teilprobleme zu einer Entscheidung zusammenführt. Die Entscheidung, wie die Mehrweginstrumente in Siebe gruppiert werden

⁴⁷⁷ Vgl. Yung et al. (2010), S. 516.

⁴⁷⁸ Vgl. Yung et al. (2010), S. 517.

⁴⁷⁹ Vgl. von Eiff (2009a), S. 659; Schüpfer (2006), S. 429.

⁴⁸⁰ Vgl. von Eiff (2009a), S. 659; von Eiff (2006), S. 456.

und die Entscheidung, ob ein Instrumentenbedarf in Form eines Mehrweg- oder eines Einweginstruments gedeckt wird, sollen gemeinsam getroffen werden. In diesem Kapitel wird begründet, weswegen es vorteilhaft ist, sie gemeinsam zu treffen. Dazu werden in den folgenden Abschnitten zunächst die Interdependenzen zwischen den beiden Teilproblemen dargestellt, die bedingen, dass Optimierungspotential nicht realisiert werden kann. Anschließend wird das zusätzliche Optimierungspotential, das sich aus Synergieeffekten bei der simultanen Optimierung ergibt, aufgezeigt.

Interdependenzen zwischen den beiden Teilproblemen der Sieboptimierung und der Einweg-Mehrweg-Entscheidung bestehen darin, dass bestimmte Parameter für die Sieboptimierung durch die Einweg-Mehrweg-Entscheidung beeinflusst werden und vice versa. In Abbildung 11 ist dieser Zirkelschluss dargestellt und wird anschließend erläutert.

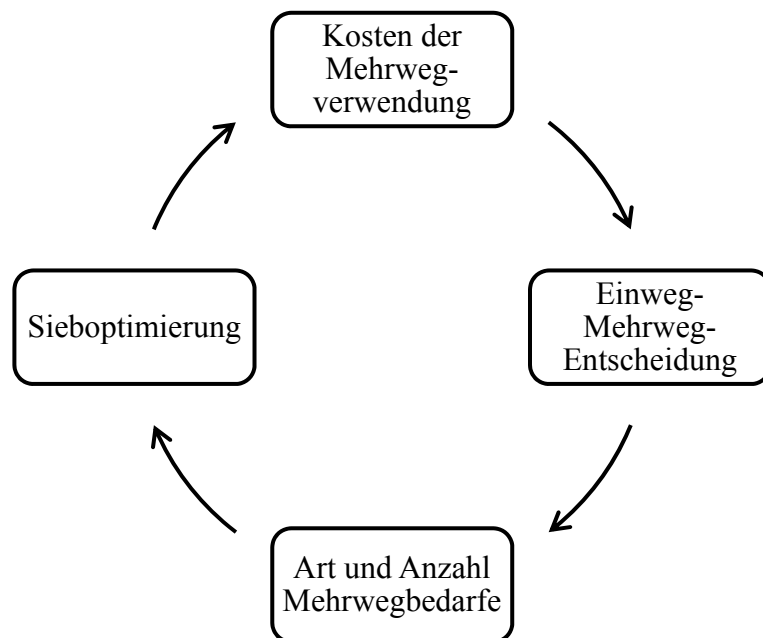


Abb. 15: Zyklische Interdependenzen zwischen den Teilproblemen.⁴⁸¹

Die Kosten der Mehrweginstrumente stellen ein Kriterium der Einweg-Mehrweg-Entscheidung dar. Ihre Höhe wird bestimmt durch die Art und Weise der Gruppierung der Mehrweginstrumente. Die Gruppierung legt fest, wie hoch der Bestand an Mehrweginstrumenten und Sieben ist, sowie wie viele Mehrweginstrumente und Siebe bereitgestellt und aufbereitet werden. Sie bestimmt folglich die Höhe der Kosten, die durch die Verwendung von Mehrweginstrumenten verursacht werden. Da diese Kosten als Kriterium für

⁴⁸¹ Eigene Darstellung.

die Einweg-Mehrweg-Entscheidung herangezogen werden, begründet dies die Dependenz der Einweg-Mehrweg-Entscheidung von der Sieboptimierung.

Zur Sieboptimierung ist die Information darüber notwendig, welche Instrumentenbedarfe in Form eines Mehrweginstruments gedeckt werden. Art und Anzahl der Instrumente, die als Mehrweginstrument bereitgestellt werden sollen, stellen den Ausgangspunkt für die Gruppierung in Siebe dar. Denn alle Instrumente, die als Mehrweginstrumente bereitgestellt werden, sind in Siebe zu gruppieren. Die Art und Anzahl der Mehrwegbedarfe ist das Ergebnis der Einweg-Mehrweg-Entscheidung. Sie entscheidet, welche Instrumentenbedarfe mit einem Einweg- und welche mit einem Mehrweginstrument bedient werden. Demzufolge werden Anzahl und Art der durch die Sieboptimierung zu gruppierenden Mehrweginstrumente von der Entscheidung über die Nutzungsform bestimmt. Es besteht deshalb eine Dependenz der Sieboptimierung von der Einweg-Mehrweg-Entscheidung.

Aus den Abhängigkeiten resultiert ein Zyklus gegenseitiger Abhängigkeiten, sprich es bestehen Interdependenzen. Abbildung 15 fasst die Situation zusammen und stellt sie grafisch als geschlossene kreisrunde Abfolge dar. Sie zeigt, dass die Kosten der Mehrwegverwendung in die Einweg-Mehrweg-Entscheidung eingehen. Die Einweg-Mehrweg-Entscheidung bestimmt die Art und Anzahl der Instrumentenbedarfe, die als Mehrweginstrumente bereitgestellt werden. Die Art und Anzahl der Mehrwegbedarfe geht in die Gruppierung der Mehrweginstrumente im Zuge der Sieboptimierung ein. Die Sieboptimierung legt die Höhe der Kosten der Mehrwegverwendung fest. Das Resultat ist ein Zyklus.

Diese gegenseitigen Abhängigkeiten gilt es bei der Optimierung zu berücksichtigen. Deshalb ist eine isolierte Optimierung der beiden Teilprobleme nicht zielführend. Die wechselseitigen und nicht nur einseitigen Abhängigkeiten widersprechen auch einer sukzessiven Optimierung. Eine sukzessive Optimierung bedeutet, dass die Teilprobleme nacheinander gelöst werden, so dass je nach Lösungsreihenfolge das zweite Problem auf den Ergebnissen des ersten Problems basiert oder andersrum. Dieser Ansatz kann Interdependenzen in beide Richtungen nicht berücksichtigen, weil es bei wechselseitigen Interdependenzen nicht möglich ist festzulegen, welches Teilproblem zuerst zu lösen ist. Eine Vorabentscheidung für eine Reihenfolge bedeutet zwangsweise, dass Informationen aus dem nachgelagerten Teilproblem zur Lösung des vorgelagerten Problems durch Annahmen ersetzt werden müssen. So müssten für die Sieboptimierung als vorgelagertes Problem Annahmen getroffen werden, für welche Instrumentenbedarfe wohl die Mehrwegnutzung vorteilhaft ist. Oder für die Einweg-Mehrweg-Entscheidung müssten die Kosten der Mehrweginstrumentennutzung auf Basis einer

angenommenen Siebgruppierung geschätzt werden. Als Folge ist die sukzessive Vorgehensweise von der Güte der Annahmen abhängig und garantiert keine optimale Lösung. Zur Berücksichtigung der Interdependenzen, empfiehlt es sich die beiden Entscheidungen zusammen zu führen und simultan zu optimieren. Eine simultane Optimierung verspricht zum einen Optimierungspotential, das aufgrund der beschriebenen zirkelschlüssigen Interdependenzen besteht, nicht auszuschließen und vermeidet die Ungenauigkeiten, die aus Annahmen, die bei sukzessiver Optimierung notwendig sind, folgen. Zum anderen kann bei simultaner Optimierung zusätzliches Optimierungspotenzial erschlossen werden. Zusätzliches Optimierungspotential aus Synergien resultiert beispielsweise aus der Möglichkeit verhältnismäßig selten (Beispiel 1) oder häufig (Beispiel 2) benötigte Mehrweginstrumente eines Siebs durch Einweginstrumente zu ersetzen oder Engpässe bei der Mehrwegversorgung durch Einweginstrumente zu entschärfen (Beispiel 3). Zu Beispiel 1: Das Ersetzen von Mehrweginstrumenten, die in einem Sieb nur selten genutzt werden, durch Einweginstrumente, kann Kosten vermeiden. Aufbereitungs- und Abnutzungskosten infolge unnötiger Aufbereitungen entfallen ebenso wie Lagerkosten und Kapitalbindungskosten, weil Instrumente nicht in Sieben vorgehalten werden.⁴⁸² Auch im gegensätzlichen Fall, dass ein Instrument sehr viel häufiger benötigt wird als andere Instrumente des Siebs, können Einweginstrumente eine vorteilhafte Alternative darstellen.⁴⁸³ Denn muss dieses Instrument nicht als Teil einer Siebgruppierung mit insgesamt seltenerem Bedarf geführt werden, kann eine bedarfsgerechtere Gruppierung erreicht werden. Bedarfsgerechtere Siebgruppierungen versprechen nicht nur Kosteneinsparungen, sondern ebenfalls Qualitätsverbesserungen, wie im Kapitel zum Nutzungsgrad gezeigt wurde. Das dritte Beispiel ist Engpässe des Aufbereitungsprozesses oder Nachfragespitzen durch Einweginstrumente zu umgehen.⁴⁸⁴ Wenn ein einmaliger oder seltener Spitzenbedarf statt mittels Vorhaltung großer Mengen an Mehrweginstrumenten und Sicherheitsbeständen in Form eines Einweginstruments bedient wird, können Kosten reduziert werden.⁴⁸⁵

Zusammenfassend ist festzustellen: Eine simultane gemeinsame Optimierung ist deshalb vorteilhaft, weil zwischen den beiden Entscheidungen Interdependenzen bestehen. Sie beeinflussen sich gegenseitig. Werden sie unabhängig voneinander oder aufeinanderfolgend getroffen, werden die bestehenden Interdependenzen ignoriert oder nur teilweise berücksichtigt. In der Folge wird Optimierungspotential ignoriert oder nur teilweise realisiert.

⁴⁸² Vgl. Mhlaba et al. (2015), S. 83 und 86-87.

⁴⁸³ Vgl. Mhlaba et al. (2015), S. 86-87.

⁴⁸⁴ Vgl. Mhlaba et al. (2015), S. 83.

⁴⁸⁵ Vgl. Mhlaba et al. (2015), S. 86.

Eine simultane Optimierung hingegen kann sogar zusätzliches Optimierungspotential aus Synergieeffekten realisieren. Denn das Optimierungspotential der simultanen Optimierung geht über die Addition des Optimierungspotentials der Teilprobleme hinaus. Auf diese Weise erweitert die simultane Optimierung die Menge der Lösungsalternativen und das Optimierungspotential.

5.3.2 Problemdefinition

Das vorangegangene Kapitel begründet die Notwendigkeit und Vorteilhaftigkeit der simultanen Optimierung der Teilprobleme. Sie ist die zentrale Problemstellung dieser Arbeit. Nach bestem Wissen der Verfasserin stellt die simultane Optimierung der Gruppierung von Mehrweginstrumenten in Siebe und der Entscheidung zwischen der Verwendung eines Einweg- oder eines Mehrweginstrumentes eine neuartige Problemstellung dar, die in der Literatur bisher noch nicht erforscht ist, in der Praxis aber von hoher Relevanz ist. Da sie die Sieboptimierung und die Einweg-Mehrweg-Entscheidung kombiniert, soll sie im Weiteren als Einweg-Mehrweg-Sieb-Optimierungsproblem, kurz EMSOP bezeichnet werden. In diesem Kapitel wird das EMSOP definiert und anhand seiner Zielsetzung und seines Planungshorizonts beschrieben.

Die Problemstellung wird folgendermaßen formuliert: Ausgangspunkt ist ein vorgegebener Instrumentenbedarf, der für jeden Tag des Planungszeitraums vorgibt, welche Instrumententypen in welcher Menge für welchen Eingriffstypen bereitzustellen sind. Zu entscheiden ist, für welche Instrumentenbedarfe in welchen Eingriffstypen ein Einweg- und für welche ein Mehrweginstrument bereitgestellt wird und wie die bereitzustellenden Mehrweginstrumente in Siebe gruppiert werden. Das Entscheidungskriterium ist die Optimalität in Bezug auf die definierten Ziele.

Der Nutzen des EMSOP besteht darin, eine bessere Zielerreichung zu ermöglichen, als bei separater Optimierung der beiden Teilprobleme erreichbar ist. In Kapitel 5.3.1 wurde ausführlich begründet, dass eine simultane Optimierung aufgrund der Interdependenzen notwendig und vorteilhaft ist. Die Zielformulierung des EMSOP resultiert aus den Zielsetzungen der kombinierten Teilprobleme. Sie wurden in den Kapiteln 5.1 und 5.2 beschrieben. Ziel der Sieboptimierung ist es, die Kosten so weit zu minimieren, wie es die Einhaltung der Qualitätskriterien zulässt. Als primäres Ziel der Einweg-Mehrweg-Entscheidung wurde die Minimierung der Kosten erarbeitet. Zum einen, weil die Qualität durch die Substituierbarkeitsvoraussetzung für die Wählbarkeit der Nutzungsform von vornherein sichergestellt ist. Zum anderen, weil die einschlägige Literatur keinen Qualitätsunterschied

zwischen Einweg und Mehrweg nachweisen konnte. Die Zielsetzung für das EMSOP lautet folglich: Minimierung der Kosten unter Einhaltung der Qualitätskriterien.

Der Planungshorizont der Problemstellung wird als mittel- bis langfristig festgelegt. Hierbei wird die gängige Kategorisierung der Betrachtungszeiträume in kurzfristig, mittelfristig und langfristig herangezogen.⁴⁸⁶ Die Begriffe „mittel- und langfristig“ bezeichnen in Abgrenzung zu „kurzfristig“ Problemstellungen, die sich nicht auf im Tagesgeschäft verfügbare Ressourcen beschränken.⁴⁸⁷ Der kurzfristige Planungshorizont umfasst im Allgemeinen bis zu einem Jahr, der mittelfristige ein bis fünf Jahre und der langfristige mehr als fünf Jahre.⁴⁸⁸ Gegen einen kurzfristigen Planungszeitraum für diese Arbeit sprechen zunächst die Kosten, die mit einer Optimierung einhergehen. Diese umfassen die Kosten der physischen Vorgänge des Umsortierens der Mehrweginstrumente in Siebe oder des Kaufs und Verkaufs von Instrumenten. Zusätzlich entstehen Kosten für Verwaltungsaufwand, Dokumentation und IT-Anpassungen. Des Weiteren sind die Kosten zur Durchführung der Optimierung zu berücksichtigen: die Datenbereitstellung, Anpassung und Auswertung des Modells.⁴⁸⁹ Trotzdem ist es möglich, dass die Kosteneinsparungen durch eine Optimierung im kurzfristigen Planungszeitraum die Kosten der Optimierung übersteigen. Jedoch muss der kurzfristige Nutzen gegenüber dem längerfristigen Nutzen abgewogen werden. Jährliche Änderungen an den Siebgruppierungen und den Einweg-Mehrweg-Entscheidungen verhindern die positive Wirkung der Gewöhnung und Lerneffekte.⁴⁹⁰ Die Gewöhnung an den Inhalt von Siebtypen und den Einsatz bestimmter Instrumente in bestimmten Nutzungsformen begünstigt die Qualität der Aufbereitung und der Bereitstellung.⁴⁹¹ Aus den Ausführungen folgt, dass ein kurzfristiger Optimierungszyklus nicht im Sinne des Qualitätsziels wäre und deshalb für eine umfassende Optimierung, wie sie in dieser Arbeit beabsichtigt wird, abgelehnt wird. Für die Optimierung der Sterilgutversorgung kommen folglich mittelfristige oder langfristige Planungszeiträume in Betracht.⁴⁹²

⁴⁸⁶ Vgl. Stähly et al. (1980), S. 550.

⁴⁸⁷ Vgl. Hubert (2016), S. 45.

⁴⁸⁸ Vgl. Gabler Wirtschaftslexikon (o.J.), o.S.

⁴⁸⁹ Vgl. Ahmadi et al. (2018), S. 148.

⁴⁹⁰ Vgl. Yoon et al. (2019), S. 71-72.

⁴⁹¹ Vgl. Yoon et al. (2019), S. 71-72.

⁴⁹² Vgl. Yoon et al. (2019), S. 72.

6 Entwurf eines mathematischen Modells für das EMSOP

In diesem Kapitel soll die Abbildung des EMSOPs, das in Kapitel 5 hergeleitet wurde, in Form eines mathematischen Modells vorbereitet werden. Im ersten Teil wird begründet, weshalb diese Form der Problemabbildung gewählt wird. Im Vorfeld der Modellierung sind Annahmen zu formulieren, Optimierungsmöglichkeiten abzugrenzen und Einschränkungen zu identifizieren. Der zweite Teil des Kapitels beinhaltet verschiedene Vorüberlegungen. Das Unterkapitel wird unterteilt in Vorüberlegungen zum Input des Modells in Form des Bedarfs, der Ressourcen und der Kosten. Der dritte Teil erarbeitet die Bestandteile des Modells auf Basis der Vorüberlegungen. Zunächst wird erarbeitet, nach welchen Kriterien Inhalte in Zielfunktion und Nebenbedingungen aufgeteilt werden und im Anschluss werden die Modellkomponenten durch die entsprechende Zuordnung der Inhalte bestimmt.

6.1 Einführung zur mathematischen Optimierung

Laut Chiang und Wainwright bietet die mathematische Modellierung wirtschaftlicher Zusammenhänge folgenden Nutzen:⁴⁹³

- die prägnante und präzise mathematische Sprache im Vergleich zur verbalen
- die Möglichkeit des Rückgriffs auf bekannte mathematische Theoreme
- die Notwendigkeit, sich alle Aspekte und Annahmen eines Problems bewusst machen zu müssen, um mathematische Theoreme darauf anwenden zu können, schützt davor, unbeabsichtigt unerwünschte Annahmen zu übernehmen
- die Möglichkeit n-Variablen-Fälle zu behandeln, an denen geometrische Ansätze scheitern

Für das Ziel dieser Arbeit, die Optimierung des Sterilgutversorgungsprozesses durch die Einweg-Mehrweg-Entscheidung und die Siebzuordnung, erscheint eine mathematische Modellierung aus den von Chiang und Wainwright genannten Punkten sinnvoll. Das Problem ist, wie in Kapitel 5.3 beschrieben, aufgrund der Interdependenzen komplex. Deshalb ist eine Formulierung als mathematisches Modell prägnanter und präziser oder zumindest kompakter als es eine verbale Beschreibung sein kann. Die Problemstellung wurde so formuliert, dass ausgehend von einem vorgegebenen Instrumentenbedarf, der für jeden Tag des Planungszeitraums vorgibt, welche Instrumententypen in welcher Menge für welchen Eingriffstypen bereitzustellen sind, zu entscheiden ist, für welche Instrumentenbedarfe in welchen Eingriffstypen ein Einweg- und für welche ein Mehrweginstrument bereitgestellt wird

⁴⁹³ Vgl. auch im Weiteren Chiang/Wainwright (2005), S. 3.

und wie die bereitzustellenden Mehrweginstrumente in Siebe gruppiert werden, um bei minimalen Kosten die Qualitätskriterien zu erfüllen. Selbst mit dieser bereits sehr unhandlichen Beschreibung ist die Problemstellung nur oberflächlich formuliert. Für die weiteren Details würde man noch sehr viele komplizierte Sätze benötigen. Spätestens in Kapitel 7.2, wenn das mathematische Modell für die Problemstellung aufgestellt wird, wird Chiangs und Wainwrights erster Punkt deutlich werden.

Das zweite wichtige Argument für eine mathematische Abbildung des EMSOPs ist der zweite Punkt von Chiang und Wainwright: die Möglichkeit des Rückgriffs auf bekannte mathematische Theoreme. Wenn das Problem mathematisch abgebildet ist, können mathematische Methoden angewendet werden. Das Argument spielt für diese Arbeit ebenfalls eine Rolle, weil neben der Problemdefinition ein weiteres Ziel der Arbeit der Vorschlag eines Lösungsansatzes für das EMSOP ist. Das EMSOP wird deshalb in Form eines mathematischen Modells quantifiziert, sodass es durch mathematische Methoden berechnet werden kann.

Für die mathematische Modellierung wird die Form eines Optimierungsmodells gewählt. Optimierungsmodelle dienen allgemein formuliert dazu, aus einer Auswahl an Alternativen diejenige(n) zu identifizieren, die hinsichtlich eines bestimmten Kriteriums die beste(n) Alternative(n) darstellt(en).⁴⁹⁴ In dieser Arbeit soll aus den verschiedenen Möglichkeiten, den Instrumentenbedarf als Kombination aus Einweginstrumenten und Mehrweginstrumenten in Siebgruppierungen bereitzustellen, diejenige Alternative gewählt werden, die hinsichtlich des Kriteriums *Minimierung der Kosten unter Einhaltung der Qualitätskriterien* optimal ist. Die Abbildung in Form eines Optimierungsmodells bietet nicht nur die Möglichkeit etablierte Optimierungsmethoden anzuwenden, sondern auch Standardsoftware zur Lösung von Optimierungsmodellen, sogenannte Solver zu benutzen.⁴⁹⁵ Solche Programme können Optimierungsprobleme mit etablierten verifizierten Methoden effizient lösen. Die Schnittstellen der meisten Solver sind an mathematische Optimierungsmodelle angelehnt.

⁴⁹⁴ Vgl. auch im Weiteren Chiang/Wainwright (2005), S. 221.

⁴⁹⁵ Vgl. auch im Weiteren Briskorn (2020), S. 27.

6.2 Vorüberlegungen zu den Inputparametern

6.2.1 Vorgabe und Deckung des Bedarfs

In diesem Kapitel wird zunächst eine Annahme zur Vorgabe des Bedarfs und im Anschluss eine Annahme zur Deckung des Bedarfs formuliert und erläutert.

Ausgangspunkt des EMSOP ist ein durch den OP-Prozess vorgegebener Instrumentenbedarf, der für jeden Tag des Planungszeitraums vorgibt, welche Arten von Instrumenten in welchen Mengen für welche Arten von Eingriffen bereitzustellen sind. In diesem Abschnitt wird festgelegt, in welcher Form der Instrumentenbedarf, der als Input in das EMSOP eingeht, vorgegeben wird.

Es wird die Annahme getroffen, dass keine einzelnen Eingriffe, Instrumente und Siebe betrachtet werden, sondern Elemente zu Typen zusammengefasst werden. Es wird also auf eine Betrachtungsebene höher abstrahiert. Diese Betrachtungsebene ist die Ebene der Typen, die Elemente der gleichen Kategorie zusammenfasst. In Kapitel 5.1.1 wurde die Betrachtungsebene der Typen im Zuge der Definition der Begriffe Eingriffstyp, Siebtyp und Instrumententyp bereits eingeführt. Sie werden an dieser Stelle kurz wiederholt, weil sie für die Vorgabe des Bedarfs wesentlich sind. Ein Eingriffstyp umfasst Eingriffe der gleichen Art, die den gleichen Bedarf an Instrumenten haben. Einem Siebtyp gehören identische Gruppierungen von Instrumenten an. Ein Instrumententyp beinhaltet Instrumente die dem gleichen Verwendungszweck dienen.

Der Instrumentenbedarf wird als Bedarf an Instrumententypen vorgegeben. Aus der Typenbetrachtung folgt, dass keine bestimmten Instrumente, sondern Instrumente eines bestimmten Typs nachgefragt werden. Der Instrumententyp ist nicht in Einweg und Mehrweg unterteilt. Er richtet sich viel mehr nach dem Zweck des Instrumenteneinsatzes. Daraus folgt, dass Instrumente unterschiedlicher Nutzungsform dem gleichen Typ angehören können. Ein Einweginstrument, das einem bestimmten Zweck dient, gehört dem gleichen Instrumententyp an, wie ein Mehrweginstrument, das diesem Zweck dient. Als Beispiel werden drei identische Mehrwegscheren angeführt. Sie gehören dem gleichen Instrumententyp an und werden nicht einzeln angesprochen. Dem gleichen Instrumententyp kann ebenfalls eine Einwegschiere der gleichen Größe angehören, die in einem Eingriff alternativ zu den anderen Scheren, die dem Instrumententyp angehören, verwendet werden kann. Aus dieser Art und Weise Instrumententypen zu definieren folgt, dass bei der Vorgabe des Instrumentenbedarfs ebenfalls nicht in Einweg- und Mehrweginstrumente unterschieden wird. Deshalb obliegt es der EMSOP

zu entscheiden, ob der Bedarf eines Eingriffstyps durch Einweg- oder Mehrweginstrumente oder eine Kombination von Instrumenten der beiden Nutzungsformen gedeckt wird.

Die Vorgabe des Instrumentenbedarfs eines Eingriffstyps erfolgt in Form der Anzahl an Instrumenten je Instrumententyp, die für den Eingriffstyp verwendet werden. Die Informationen darüber, welcher Eingriffstyp welche Instrumente verwendet, gehen aus dem übergeordneten OP-Prozess hervor. Dabei ist zu beachten, dass ein Eingriffstyp nicht nur nach der Art des Eingriffs definiert ist, sondern dass bei der Definition der Eingriffstypen chirurgenspezifische Präferenzen zu berücksichtigen sind. Denn unterschiedliche ChirurgInnen und ChirurgInnen-Teams benutzen für die Durchführung des gleichen Eingriffs häufig unterschiedliche Instrumente.⁴⁹⁶ Gründe können sein, dass sie unterschiedliche Techniken anwenden, dass sie unterschiedliche Ausbildungshintergründe haben, dass sie sich unterschiedliche Gewohnheiten angeeignet haben oder dass sie aufgrund der Handhabung ein Fabrikat, eine Nutzungsform oder ein Instrument bevorzugen.⁴⁹⁷ Der Bedarf an Instrumenten ist also durch den subjektiven individuellen Bedarf der ChirurgInnen bestimmt.⁴⁹⁸ Für die Modellierung wird die Berücksichtigung der Präferenzen der ChirurgInnen in Form von chirurgenspezifischen Eingriffstypen umgesetzt.⁴⁹⁹ Die Eingriffstypen werden definiert durch ihren Instrumentenbedarf. Werden für die gleiche Art von Eingriff von unterschiedlichen ChirurgInnen unterschiedliche Instrumente nachgefragt, so werden unterschiedliche Eingriffstypen definiert. Werden für zwei Eingriffe die gleichen Instrumente nachgefragt, so gehören sie dem gleichen Eingriffstyp an. Der Instrumentenbedarf eines Eingriffstyps ist folglich der Instrumentenbedarf eines oder mehrerer ChirurgInnen für eine bestimmte Art von Eingriff.

Aus dem Instrumentenbedarf der Eingriffstypen und der Anzahl geplanter Eingriffe pro Tag kann der gesamte Bedarf berechnet werden. Der OP-Prozess gibt der Sterilgutversorgung vor, wann welcher Eingriffstyp geplant ist und welchen Instrumentenbedarf die Eingriffstypen haben. Ersteres wird dem Modell zur EMSOP vorgegeben als OP-Plan, der für jeden Tag des Planungszeitraums die Anzahl Eingriffe je Eingriffstyp vorgibt. Zweiteres wird vorgegeben als Instrumentenbedarf je Eingriffstyp, der vorgibt wie viele Instrumente eines Instrumententyps für einen Instrumententyp benötigt werden.

Weitere Annahmen nehmen Bezug auf die Art und Weise der Deckung des Bedarfs. Mehrweginstrumente, die für die Deckung des Bedarfs eines Eingriffstyps bereitgestellt

⁴⁹⁶ Vgl. Dobson et al. (2015), S.226; Wannemuehler et al. (2015), S. 2813; Stockert/Langerman (2014), S. 647.

⁴⁹⁷ Vgl. Dobson et al. (2015), S. 226.

⁴⁹⁸ Vgl. Wannemuehler et al. (2015), S. 2811; Diamant et al. (2018), S. 442.

⁴⁹⁹ Vgl. Ahmadi (2019), S. 4; Dobson et al. (2015), S. 226.

werden, können in mehreren unterschiedlichen Siebtypen bereitgestellt werden. Es wird die Annahme getroffen, dass jedem Eingriffstyp dieser eine oder diese mehreren Siebtypen fest zugeordnet sind. Für jede Durchführung des Eingriffstyps wird genau dieses oder, falls der Bedarf durch mehrere Siebe gedeckt wird, werden genau diese Siebtypen bereitgestellt. Der Bedarf eines Eingriffstyps kann also nicht an verschiedenen Tagen durch verschiedene Siebtypen bedient werden. Diese Zuordnung von Siebtypen zu Eingriffstypen ist die konsequente Umsetzung der Typenbetrachtungsebene, die Typen als kleinste Einheit betrachtet und keine weitere Differenzierung vornimmt.

Eine weitere Annahme bestimmt, dass die Entscheidung darüber, welcher Instrumentenbedarf in welcher Nutzungsform bereitgestellt wird, nicht für einzelne Eingriffe gilt, sondern für einen Eingriffstypen insgesamt. Einem Eingriffstyp wird der Bedarf an einem Instrumententyp stets in der gleichen Nutzungsform bereitgestellt. Das heißt, unabhängig vom Tag, wird für jeden Eingriffstyp festgelegt, welche Instrumentenbedarfe in Form eines Einweg- und welche in Form eines Mehrweginstruments bedient werden, und in wie vielen Sieben sich die Mehrweginstrumente befinden.

Modelliert wird die Typenbetrachtung durch die Definition der Indizes, die im nächsten Kapitel beschrieben wird.

6.2.2 Ressourcen

Der Sterilgutversorgungsprozess beansprucht verschiedene Ressourcen.⁵⁰⁰ Diese Ressourcen verursachen einerseits Kosten und können andererseits Beschränkungen darstellen. Die Berechnung der Kosten wird im nächsten Kapitel thematisiert. In diesem Kapitel wird die Verfügbarkeit der Ressourcen thematisiert. Sie ist ein grundlegender Faktor des EMSOPs, da begrenzte Ressourcen die realisierbaren Lösungsmöglichkeiten einschränken. Im Folgenden wird erarbeitet, welche Ressourcen einschränkend wirken und warum. Zu diesem Zweck werden im nächsten Abschnitt zunächst die für das EMSOP relevanten Ressourcen aus dem Sterilgutversorgungsprozess identifiziert und im Anschluss ihre Verfügbarkeit analysiert.

In Kapitel 2.4 wurden die Prozesse der Sterilgutversorgung ausführlich beschrieben. Aus den Beschreibungen werden nun die Ressourcen identifiziert, auf die die Prozesse hauptsächlich zugreifen. Der Teilprozess der manuellen Aufbereitung der Mehrweginstrumente beansprucht das AEMP-Personal, der Teilprozess der maschinellen Aufbereitung beansprucht die Desinfektions- und Sterilisationsmaschinen. Die Teilprozesse, die im Operationssaal vollzogen

⁵⁰⁰ Vgl. Kriegel (2012), S. 119.

werden, beanspruchen das operationstechnische Personal des OP-Prozesses. Der Transportprozess beansprucht hauptsächlich Personal und Geräte des in der Regel klinikinternen Transportdiensts. Für den Teilprozess der Lagerung wurde in Kapitel 3 bereits die räumliche Nutzung als maßgebliche Ressource definiert. Der Beschaffungsprozess wird über die zentrale Beschaffungsstelle des Krankenhauses abgewickelt.⁵⁰¹ Ebenso wie die Entsorgung über die zentrale Entsorgung des Krankenhauses.⁵⁰² Die für das EMSOP relevanten Ressourcen sind also das AEMP-Personal, die Desinfektions- und Sterilisationsmaschinen der AEMP, das operationstechnische Personal, das Personal und die Geräte des klinikinternen Transportdiensts, die Lagerfläche, die zentrale Beschaffung und die zentrale Entsorgung. Für diese Ressourcen gilt es im Folgenden die Verfügbarkeit zu analysieren. Es soll hinsichtlich der Verfügbarkeit von Ressourcen prinzipiell unterschieden werden, ob sie dem Sterilgutversorgungsprozess begrenzt oder unbegrenzt zur Verfügung stehen. Ressourcen, die begrenzt zur Verfügung stehen, können das EMSOP beschränken. Die Einordnung der einzelnen Ressourcen erfolgt in zwei Schritten. Im ersten Schritt wird geprüft, ob es sich um eine krankenhausesweit genutzte Ressource handelt. Wird die Ressource nicht krankenhausesweit genutzt, sondern ist ausschließlich für den Sterilgutversorgungsprozess vorgesehen, wird in einem zweiten Schritt geprüft, ob die Ressource im Planungszeitraum an die Beanspruchung angepasst werden kann oder nicht.

Dem ersten Schritt liegt die Annahme zu Grunde, dass diejenigen Ressourcen, die krankenhausesweit bereitgestellt werden, für die Sterilgutversorgung als unbegrenzt betrachtet werden und folglich das EMSOP nicht beschränken. Dies ist so zu begründen, dass eine Ressource, die nicht nur vom Sterilgutversorgungsprozess, sondern von mehreren Hauptprozessen des Krankenhauses in Anspruch genommen wird, in vergleichsweise großer Menge zur Verfügung steht. Selbst wenn eigentlich nur bestimmte Kontingente davon für den Sterilgutversorgungsprozess vorgesehen sind, können im Fall von Überschreitungen dieser Kontingente, Engpässe aufgrund der hohen Verfügbarkeit der Ressource mittel- und langfristig aufgefangen werden. Soll heißen, die Verfügbarkeit der Ressource ist im Verhältnis zur Beanspruchung durch den Sterilgutversorgungsprozess so groß, dass sie aus dessen Sicht unbegrenzt ist und die Ressource deshalb nicht beschränkend wirkt. Das operationstechnische Personal, Personal und Geräte des klinikinternen Transportdiensts sowie die zentrale Beschaffung und Entsorgung können als Ressourcen eingeordnet werden, die krankenhausesweit in Anspruch genommen werden und deren Kapazität deshalb als unbegrenzt angenommen wird.

⁵⁰¹ Vgl. Kriegel (2012), S. 121.

⁵⁰² Vgl. Kriegel (2012), S. 121.

Ressourcen, die hingegen ausschließlich für den Prozess der Sterilgutversorgung vorgesehen sind, sind das AEMP-Personal, die Desinfektions- und Sterilisationsmaschinen der AEMP und der Lagerplatz für das Sterilgut, der in der Regel in der AEMP verortet ist. Für diese Ressourcen hängt die Einordnung ob sie dem Sterilgutversorgungsprozess begrenzt oder unbegrenzt zur Verfügung stehen, davon ab, ob ihre Kapazität an die Beanspruchung durch selbigen angepasst werden kann oder nicht. Kann die Kapazität angepasst werden, steht die Ressource unbegrenzt zur Verfügung und wirkt im EMSOP nicht beschränkend. Kann sie nicht angepasst werden, ist sie auf die Kapazität begrenzt und stellt eine potentielle Beschränkung des EMSOPs dar.

Die Möglichkeit die Kapazität einer Ressource anzupassen variiert in Abhängigkeit vom Planungszeitraum. Daraus resultieren für unterschiedliche Planungszeiträume unterschiedliche Beschränkungen. Wie in der Problemdefinition in 5.3.2 festgelegt, kann die Problemstellung je nach Planungshorizont des Anwendungsfalls von mittelfristiger oder langfristiger Gestalt sein. Bei der folgenden Einordnung der Ressourcen, die nur vom Sterilgutversorgungsprozess beansprucht werden, wird deshalb eine Fallunterscheidung in mittel- und langfristig vorgenommen.

Für die Ressource der maschinellen Aufbereitung gilt, dass sie der Sterilgutversorgung mittelfristig begrenzt, langfristig jedoch unbegrenzt zur Verfügung steht. Die Reinigungs-, Desinfektions- oder Sterilisationsanlagen haben ein festes Fassungsvermögen, das bestimmt, wie viele Siebe pro Waschgang sterilisiert werden. Das Fassungsvermögen ist durch die technischen Eigenschaften der Maschine festgelegt. Eine Erweiterung oder Verringerung der Kapazität ist mittels Investitionen in zusätzliche Maschinen oder mittels Ersetzen mit Maschinen anderen Fassungsvermögens möglich. Aufgrund der Nutzungsdauer der Geräte und der Dauer von Investitionsverfahren im Krankenhaus stehen Anpassungen der maschinellen Aufbereitungskapazität erst in einem langfristigen Betrachtungszeitraum zur Disposition.⁵⁰³ Mittelfristig kann die Kapazität hingegen nicht angepasst werden und kann beschränkend wirken.

Anpassungen der Lagerkapazität erfordern Umzüge, Umbauten oder Anbauten. Eine räumliche Umorganisation innerhalb des Krankenhauses erfordert Planung und Investitionen, weshalb mit Verweis auf die Erklärung im vorherigen Absatz im mittelfristigen Planungszeitraum Anpassungen des Lagerplatzes ausgeschlossen werden. Im mittelfristigen Planungszeitraum wird die Ressource deshalb als begrenzt zur Verfügung stehend eingeordnet, im langfristigen Betrachtungszeitraum ist ihre Kapazität nicht begrenzt.

⁵⁰³ Vgl. Augurzky (2018), S. 74; Blum/Offermanns (2009), S. 24; Eilrich (2019), S. 457.

Die Kapazität der manuellen Aufbereitung wird maßgeblich von der Personalausstattung der AEMP bestimmt. Diese kann unter der Annahme gängiger tariflicher Vertrags- und Kündigungsfristen und der Möglichkeit von Neueinstellungen mittelfristig angepasst werden. Die Kapazität der manuellen Aufbereitung kann entsprechend im mittelfristigen Planungszeitraum variiert werden und gilt mittel- und langfristig als unbegrenzt.

In der folgenden Tabelle wird die Verfügbarkeit der Ressourcen, wie sie im vorherigen Abschnitt beschrieben wurde, zusammengefasst und in Abhängigkeit vom Planungszeitraum dargestellt. In langfristigen Planungszeiträumen werden alle aufgeführten Ressourcen für den Sterilgutversorgungsprozess als unbegrenzt eingeordnet. Die krankenhausesweit zur Verfügung gestellten Ressourcen sowie das AEMP-Personal stehen dem Sterilgutversorgungsprozess für mittel- und langfristige Planungszeiträume unbegrenzt zur Verfügung. Im Unterschied dazu stehen die Anlagen der AEMP und der Lagerplatz mittelfristig nur begrenzt zur Verfügung.

| Ressource | Mittelfristiger Planungszeitraum | Langfristiger Planungszeitraum |
|--|---|---------------------------------------|
| operationstechnisches Personal | | |
| Personal und Geräte des Transportdiensts | | |
| zentrale Beschaffung | | unbegrenzt |
| zentrale Entsorgung | | |
| AEMP-Personal | unbegrenzt | unbegrenzt |
| Desinfektions- und Sterilisationsmaschinen | begrenzt | unbegrenzt |
| Lagerfläche | begrenzt | unbegrenzt |

Tab. 14: Verfügbarkeit der Ressourcen.⁵⁰⁴

Auch die Instrumente und Siebe, die Objekte des Sterilgutversorgungsprozesses sind, stellen Ressourcen dar. Es wird angenommen, dass die Verfügbarkeit der Mehrweg- und Einweginstrumente kurzfristig angepasst werden kann. Sie können entsprechend dem Bedarf am Markt beschafft oder verkauft werden. Aus der Sicht eines einzelnen Krankenhauses und der Sterilgutversorgung im Speziellen ist der Markt aufgrund seiner Größe als unerschöpflich anzusehen. Daraus wird für die Instrumente eine unbegrenzte Verfügbarkeit abgeleitet. Für die Anzahl der Siebbehältnisse gilt das gleiche wie für die Instrumente.

Ebenfalls als Ressource zu betrachten ist das Fassungsvermögen der Siebbehältnisse. Je nach Größe können sie eine bestimmte Anzahl an Mehrweginstrumenten fassen. Die Anzahl und die Größe der Siebbehältnisse können theoretisch kurzfristig über den Markt angepasst werden. Insofern kann auch die Begrenztheit des Fassungsvermögens der Siebbehältnisse angepasst werden, indem zu kleine Siebe durch ausreichend große Siebe ersetzt wird. Dies hat jedoch keine praktische Relevanz, da von einer einheitlichen Größe der Siebbehältnisse ausgegangen

⁵⁰⁴ Eigene Darstellung.

wird. Die Annahme ist aus der Praxis abgeleitet, wo in der Regel zumindest für bestimmte Abteilungen, wenn nicht sogar krankenhaushausweit, einheitliche Siebgrößen verwendet werden.⁵⁰⁵ Grund dafür ist, dass Geräte wie die Transportanlagen oder die Aufbereitungsmaschinen auf die Größe der Siebe abgestimmt sind und einheitliche Siebe die Handhabung erleichtern.⁵⁰⁶ Wenngleich die Einheitssiebe ein physikalisch begrenztes Fassungsvermögen haben, wird die konträre Annahme getroffen, dass es stets groß genug ist. Als Begründung für die Annahme kann man anführen, dass das Größenverhältnis von Siebbehaltenissen zu Instrumenten so gewählt ist, dass eine Überschreitung ausgeschlossen ist. Die begrenzte Kapazität von Sieben ist infolgedessen keine Beschränkung für das EMSOP. Es handelt sich sozusagen um eine beschränkte Ressource, die die Optimierung jedoch nicht beschränkt.

Hinsichtlich der Ressource Lagerplatz ist eine weitere spezifische Annahme notwendig. Sie bezieht sich auf die Dauer der Aufbereitung von Mehrweginstrumenten und -sieben. Jedes Sieb, das bereitgestellt und geöffnet worden ist, sowie dessen Inhalt müssen den Aufbereitungsprozess durchlaufen. Für die Verfügbarkeit der Instrumente und Siebe ist die Dauer dieses Aufbereitungsprozesses von Bedeutung. Denn sie bestimmt, wann Instrumente und Siebe nach einer Nutzung wieder bereitgestellt werden können, und infolgedessen, welcher Bestand an Instrumenten und Sieben zu einem Zeitpunkt zur Verfügung steht.

Die Dauer des Prozesses ist jedoch schwer vorausszusagen, da sie unter anderem von der Nachbereitung im OP, der Auslastung der AEMP, der Ausstattung der AEMP und den Instrumententypen und -mengen abhängt.⁵⁰⁷ Um keine Zeitdimension in das Model aufnehmen zu müssen und weil es der gängigen Annahme im Kontext der Sieboptimierung entspricht, wird festgelegt, dass die Aufbereitungsdauer maximal einen Tag beträgt.⁵⁰⁸ Das heißt die Aufbereitung der Siebe inklusive Inhalt wird innerhalb des Tages ihrer Nutzung bewältigt.⁵⁰⁹ Die Annahme wird zugleich der gebotenen Vorsicht angesichts der Folgen verspäteter Bereitstellungen gerecht, weil diese großzügig bemessene Aufbereitungsdauer in der Regel nicht überschritten wird. Aus der Annahme folgt, dass ein Sieb und die enthaltenen Mehrweginstrumente genau ein Mal am Tag benutzt werden können.⁵¹⁰

⁵⁰⁵ Vgl. Reymondon et al. (2008), S. 333 und 334; Dobson et al. (2015), S. 229.

⁵⁰⁶ Vgl. Schwarz et al. (2005), S. 5.

⁵⁰⁷ Vgl. Stockert/Langerman (2014), S. 651-652.

⁵⁰⁸ Vgl. van de Klundert et al. (2008), S. 25 und 32; Reymondon et al. (2008), S. 328; Dobson et al. (2015), S. 227.

⁵⁰⁹ Vgl. van de Klundert et al. (2008), S. 25; Dobson et al. (2015), S. 227.

⁵¹⁰ Vgl. van de Klundert et al. (2008), S.26.

6.2.3 Kostenberechnung

Zur Berechnung der Kosten, die als Input in das EMSOP eingehen, wird das Prinzip der Prozesskostenrechnung herangezogen. Die Höhe der Kosten berechnet sich in diesem System als Produkt aus der Kostentreibermenge und dem Prozesskostensatz.⁵¹¹ Der Kostentreiber ist eine Größe, die maßgeblich bestimmt, wie oft oder in welchem Umfang ein Prozess durchgeführt wird, und ist damit kritisch für die anfallenden Prozesskosten.⁵¹² Er steht in einem linearen Zusammenhang zur Kostenhöhe. Auch im Fall von heterogener Kostenverursachung begrenzt die Prozesskostenrechnung zur Vereinfachung auf einen Kostentreiber. Der Prozesskostensatz gibt die Kosten als Kosten pro Kostentreibereinheit an. Kostentreiber, Prozesskosten und Prozessmengen werden entsprechend dem angestrebten Detailierungsgrad definiert und differenziert.

Zum Zweck der Berechnung der Kosten der Sterilgutversorgung nach der Prozesskostenrechnung werden die Kostentreiber auf Basis der in Kapitel 3.3.2 beschriebenen Zusammenhänge zwischen Kostenkategorien und ihren Einflussgrößen definiert. Die Kosten der Kostenkategorien sind als Prozesskosten zu verstehen. Die Einflussgrößen fungieren als Kostentreiber der Kostenkategorien, die sie beeinflussen. Tabelle 15 enthält die resultierende Zuordnung von Kostentreibern zu Prozessen.

| Prozesse | Kostentreiber |
|--------------------------|---|
| Transport | Anzahl bereitgestellter Siebe |
| Abnutzung | Anzahl bereitgestellter Mehrweginstrumente je Typ |
| Manuelle Aufbereitung | Anzahl bereitgestellter Mehrweginstrumente je Typ |
| Maschinelle Aufbereitung | Anzahl bereitgestellter Siebe |
| Perioperative Kosten | Anzahl bereitgestellter Instrumente |
| Entsorgung | Anzahl bereitgestellter Einweginstrumente |
| Beschaffung | Anzahl bereitgestellter Einweginstrumente je Typ |
| Lagerung | Anzahl an Sieben im Bestand |
| Kapital | Anzahl an Mehrweginstrumenten im Bestand je Typ |
| Folgekosten | Anzahl mangelhafter Bereitstellungen |

Tab. 15: Definition der Kostentreiber.⁵¹³

Die Anwendung der Prozesskostenrechnung in der oben beschriebenen Form, setzt die Annahme linearer Zusammenhänge zwischen Kostentreibermenge und Prozesskosten voraus. Zur Erfüllung dieser Voraussetzung müssen entsprechend vereinfachende Annahmen für den Zusammenhang zwischen den verschiedenen Kostenkategorien und ihren Einflussgrößen

⁵¹¹ Vgl. auch im Weiteren Ewert/Wagenhofer (2014), S. 673-677.

⁵¹² Vgl. Ewert/Wagenhofer (2014), S. 248.

⁵¹³ Eigene Darstellung.

getroffen werden. Die folgenden Absätze erläutern die Definition der Kostentreiber für jede Kostenkategorie und die zugrundeliegenden Annahmen.

Kostentreiber der Transportkosten ist die Anzahl bereitgestellter Siebe. Dazu wird angenommen, dass sich die Transportkosten linear zur Anzahl transportierter Siebe verhalten. Obgleich die Annahme sprungfixer Kosten nach Maß der Kapazität und Befüllung der Transportwagen möglicherweise realitätsnäher wäre, gilt eine lineare Approximation sprungfixer Kosten durchaus als üblich. Bei Verwendung einer einheitlichen Siebgröße, kann dann die Anzahl an Sieben, die bereitgestellt und dazu transportiert werden, als Kostentreiber für die Transportkosten benutzt werden.

Die Abnutzung ist Folge der Aufbereitung und geht mit jeder Bereitstellung des Instruments einher, die den Aufbereitungskreislauf induziert. Die Kosten der Abnutzung eines Instruments sind abhängig vom Wert des Instrumententyps. Der Kostentreiber für die Abnutzungskosten ist deshalb die Anzahl bereitgestellter Mehrweginstrumente je Typ. Die Anwendung der Prozesskostenrechnung setzt die Annahme voraus, dass die Abnutzungskosten einen linearen Verlauf, proportional zur Anzahl Nutzungen, aufweisen.

Die Kostentreiber der manuellen und der maschinellen Aufbereitungskosten unterscheiden sich. Die manuellen Aufbereitungskosten werden bestimmt von der Anzahl bereitgestellter Mehrweginstrumente je Typ, die in Folge der Bereitstellung aufbereitet werden müssen. Als bereitgestellt gelten stets alle in einem bereitgestellten Sieb enthaltenen Mehrweginstrumente unabhängig von der tatsächlichen Nutzung. Die Aufbereitungskosten unterschiedlicher Instrumententypen variieren aufgrund des unterschiedlichen Arbeitsaufwands.

Die Kosten der maschinellen Aufbereitung werden bestimmt von der Anzahl bereitgestellter Siebe. Der Kostenverlauf der maschinellen Aufbereitung ist, ähnlich wie im Fall der Transportwägen, dem Fassungsvermögen der Maschine entsprechend als sprungfix zu betrachten, wird aber als linear angenommen, weil das Kostenrechnungssystem es voraussetzt. Da es sich um einheitlich große Siebe handelt und der Inhalt für die maschinelle Aufbereitung irrelevant ist, ist Anzahl der Siebe entscheidend.

Die perioperativen Kosten setzen sich für Mehrweginstrumente zusammen aus den Kosten zur Vorbereitung der Instrumente und der Siebe. Sie sind also abhängig von der Anzahl Siebe und der Anzahl Instrumente, die bereitgestellt werden. Für die einzeln verpackten Einweginstrumente sind die Kosten nur von der Anzahl bereitgestellter Einweginstrumente anhängig. Zur Vereinfachung wird die Anzahl bereitgestellter Instrumente als Kostentreiber definiert, zu dem sich die Kosten proportional verhalten. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass alle Instrumente gleich viel Zeit benötigen um aus-, eingepackt und gezählt zu werden.

Das heißt, die Vor- und Nachbereitung der Instrumente eines Eingriffs nimmt für alle Typen von Instrumenten und unabhängig von der Nutzungsform als Einweg- oder Mehrweginstrument gleich viel Zeit in Anspruch.

Es wird angenommen, die Entsorgungskosten verhalten sich proportional zum Kostentreiber *Anzahl bereitgestellter Einweginstrumente*. Dem liegt die Annahme zu Grunde, dass die Entsorgungskosten für alle Instrumententypen gleich hoch ausfallen. Da sie vor allem durch den Arbeitsaufwand des Wegwerfens entstehen, spielen Größe, Beschaffenheit oder andere Eigenschaften des Instrumententyps keine Rolle.

Die Beschaffungskosten der Einweginstrumente sind im Unterschied zu den Entsorgungskosten zusätzlich vom Instrumententyp bestimmt. Je nach Instrumententyp unterscheiden sich die Einkaufspreise, die den größten Teil der Beschaffungskosten darstellen. Deshalb wird der für die Entsorgungskosten gewählte Kostentreiber nach dem Instrumententyp differenziert. Kostentreiber der Beschaffungskosten ist demnach die Anzahl bereitgestellter Einweginstrumente je Typ.

Die Lagerkosten werden bestimmt von der Fläche, die die gelagerten Siebe belegen. Die Anzahl der gelagerten, einheitlich großen Siebe stimmt mit dem Bestand an Sieben überein. Das ist auf die Annahme zur Aufbereitungsdauer in Kapitel 6.1.2 zurückzuführen. Sie besagt, dass die Aufbereitungsdauer der Mehrweginstrumente einen Tag beträgt und sich am Ende des Arbeitstags der Sterilgutaufbereitung stets der gesamte Bestand an Mehrweginstrumenten wieder aufbereitet im Lager der AEMP befindet.⁵¹⁴ Während der Lagerung befinden sich die Mehrweginstrumente in einheitlich großen Sieben. Das heißt, der Platz, den sie zur Lagerung beanspruchen, wird bestimmt von der Anzahl gelagerter Siebe. Als Kostentreiber der Lagerkosten wird folglich die Anzahl an Sieben im Bestand definiert.

Kapitalkosten fallen wegen des geringeren Werts und der just-in-time Beschaffung der Einweginstrumente nur für Mehrweginstrumente an. Sie quantifizieren die Opportunitätskosten des in den Mehrweginstrumenten gebundenen Kapitals, das je nach Wert des Instrumententyps variiert. Als Kostentreiber für die Kapitalkosten wird deshalb die Anzahl an Mehrweginstrumenten im Bestand je Typ herangezogen.

Die Folgekosten bei mangelhafter Bereitstellung stellen einen Sonderfall der Kostenziele dar, da sie von Qualitätszielen bestimmt sind. Einflussgrößen sind die Funktionsfähigkeit, die Sauberkeit, die Rechtzeitigkeit, die Reaktionsfähigkeit und die Korrektheit der Bereitstellung.

⁵¹⁴ Vgl. van de Klundert (2008), S. 25; Diamant et al. (2018), S. 447.

Bei Nicht-Erfüllung der Kriterien entstehen Folgekosten. Als Kostentreiber kann demzufolge die Anzahl mangelhafter Bereitstellungen herangezogen werden.

6.3 Erarbeitung der Modellinhalte

6.3.1 Zuordnung zu Zielfunktion und Nebenbedingungen

Das Grundmodell der mathematischen Optimierung wird durch drei Funktionstypen beschrieben: die Zielfunktion, die Nebenbedingungen und gegebenenfalls die Nichtnegativitätsbedingung oder andere Vorgaben für den Wertebereich der Variablen.⁵¹⁵ Die Zielfunktion modelliert die funktionalen Zusammenhänge zwischen den Zielfunktionsgrößen. Sie wird entsprechend der Zielsetzung minimiert oder maximiert. Die Nebenbedingungen modellieren Annahmen, Beschränkungen oder andere Bedingungen. Sie werden als Ungleichungen formuliert, um sie für die gängigen Lösungsverfahren zugänglich zu machen. Weitere Nebenbedingungen können formuliert werden, um den Wertebereich der Variablen festzulegen. Dazu gehören unter anderen Nichtnegativitätsbedingungen, Ganzzahligkeitsbedingungen und die Definition von Binärvariablen.⁵¹⁶

In diesem Teilkapitel wird erarbeitet, in welcher Form die Inhalte, die Teil des Modells sein sollen, modelliert werden. Zu diesem Zweck werden Kriterien zur Zuordnung zu den Funktionstypen, insbesondere zu Zielfunktion und Nebenbedingungen erarbeitet. Die Inhalte, die in das Modell zur EMSOP übertragen werden sollen, sind zum einen die Ziele, die sich aus Kapitel 5.3.2 in Verbindung mit 3.3.3 ergeben, und zum anderen die Annahmen und Beschränkungen aus Kapitel 6.1.

Als erster Anhaltspunkt zur Zuordnung kann die Beschreibung der Komponenten zu Beginn dieses Kapitels herangezogen werden. Aus ihr geht eine erste intuitive Aufteilung hervor, die die Ziele aus 3.3.3 der Zielfunktion und die Annahmen und Beschränkungen aus Kapitel 6.1 den Nebenbedingungen zuordnet. Diese grundsätzliche Aufteilung kann für die Annahmen und Beschränkungen aus Kapitel 6.1 ohne weiteres akzeptiert werden, für die Ziele bedarf es jedoch weiterer Differenzierung.

Zu diesem Zweck wird zusätzlich das Zielausmaß als Kriterium betrachtet. Das Zielausmaß beschreibt, welches Ausmaß für die Zielerreichung angestrebt wird.⁵¹⁷ Man unterscheidet Ziele, die eine maximale oder minimale Zielerreichung anstreben, und Ziele, die die Erreichung eines

⁵¹⁵ Vgl. auch im Weiteren Wöhe/Döhring (2008), S. 170-171.

⁵¹⁶ Vgl. Nickel et al. (2014), S. 9, 173 und 180.

⁵¹⁷ Vgl. auch im Weiteren Wöhe/Döhring (2008), S. 124-125.

bestimmten Niveaus anstreben. Nur die erste Kategorie von Zielen stellt auch im Sinne der Zielfunktion Ziele dar, da es möglich ist, sie zu minimieren oder maximieren. Ziele, die ein bestimmtes Niveau vorgeben, können durch die Zielfunktion nicht modelliert werden, weil sie nicht minimiert oder maximiert werden sollen.

Das Zielausmaß eines Ziels ergibt sich aus der Zielformulierung. In Kapitel 5.3.2 wurde die Zielsetzung des EMSOP formuliert als Minimierung der Kosten unter Einhaltung der Qualitätskriterien. Derjenige Teil der Zielsetzung, der sich auf die Wirtschaftlichkeit bezieht, ist als Minimierung formuliert. Die Formulierung des ökonomischen Oberziels in Form einer Minimierung weist somit auf eine Modellierung in der Zielfunktion hin. Der Teil des Satzes, der sich auf die Qualität bezieht, gibt die Erreichung eines bestimmten Niveaus vor. Das Qualitätsziel schreibt die Erfüllung der Qualitätskriterien vor, die ein bestimmtes Qualitätsniveau sicherstellen. Sie werden demnach nicht in der Zielfunktion abbildet, sondern in den Nebenbedingungen als zu erfüllende Bedingungen modelliert.

Für die einzelnen untergeordneten Kostenziele muss die Zuordnung in einem weiteren Schritt verfeinert werden. Denn nicht alle Kosten können minimiert werden. Voraussetzung dafür, dass Kosten minimiert werden können, ist, dass sie für die Problemstellung, den Anwendungsfall und den Planungszeitraum nicht fix sind. Das ist der Tatsache geschuldet, dass fixe Kosten durch die Optimierung nicht beeinflusst werden können, sprich nicht optimiert werden können. Zum Zweck der Optimierung ist die Abbildung fixer Kosten in der Zielfunktion dementsprechend nicht notwendig.

Es soll an dieser Stelle angemerkt werden, dass fixe Kosten ein Hinweis darauf sein können, dass eine Ressource als Beschränkung in den Nebenbedingungen abzubilden ist. Dies erklärt sich folgendermaßen: Die Kostenkategorien bilden die Beanspruchung von Ressourcen durch Prozesse ab. Eine fixe Kostenhöhe impliziert, dass die entsprechenden Ressourcen nur in einer bestimmten Menge zur Verfügung stehen. Die begrenzte Verfügbarkeit von Ressourcen stellt eine potentielle Einschränkung der Optimierung dar. Ob eine Nebenbedingung zur Abbildung der eingeschränkten Verfügbarkeit einer Ressource notwendig ist, hängt davon ab, ob sie eine relevante und wirksame Einschränkung des EMSOP darstellt.

In der folgenden Abbildung wird die Zuordnung der Kostenziele zu Zielfunktion und Nebenbedingungen kurz zusammengefasst.

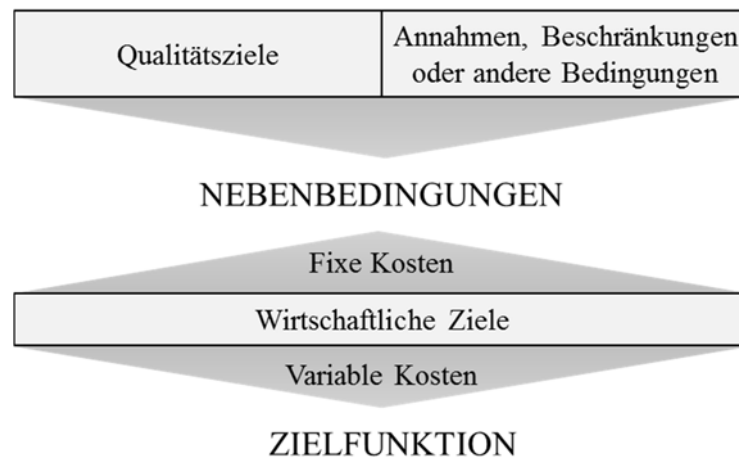


Abb. 16: Zuordnung der Kostenziele zu Zielfunktion und Nebenbedingungen.⁵¹⁸

Die Qualitätsziele, die in Kapitel 3.3.3 für die Sterilgutversorgung definiert wurden und auch für das EMSOP übernommen wurden, werden in Form von Nebenbedingungen modelliert. Die Annahmen, Beschränkungen und andere Bedingungen, die größtenteils in Kapitel 6.1 beschrieben wurden, werden ebenfalls als Nebenbedingungen im Modell abgebildet. Hinsichtlich der wirtschaftlichen Ziele, entscheidet die Kostenart über die Zuordnung zu Nebenbedingungen oder Zielfunktion.

Abschließend muss auf die Bedeutung des Planungszeitraums beim Modellentwurf hingewiesen werden. Der Planungszeitraum bestimmt, welche Ziele und Ressourcen durch das EMSOP beeinflusst werden können, und welche nicht. Das heißt, er bestimmt zum einen, welche Ziele beeinflusst werden können: Sind Ziele im Planungszeitraum nicht beeinflussbar, stellen sie eine Beschränkung des Optimierungspotentials dar, sind sie hingegen beeinflussbar, können sie Gegenstand der Minimierung bzw. Maximierung sein. Zum anderen bestimmt der Planungszeitraum, welche Ressourcen als Beschränkungen gelten. Kann die Kapazität einer Ressource im Planungszeitraum angepasst werden, ist keine Beschränkung, andernfalls schon. Aus dieser Logik resultieren für unterschiedliche Planungszeiträume unterschiedliche Modelle. Sie unterscheiden sich hinsichtlich der Abbildung von Zielen und Beschränkungen.

6.3.2 Bestimmung der Modellkomponenten

Nachdem im vorangegangenen Kapitel die Kriterien für die Zuteilung der Modellinhalte zu Zielfunktion und Nebenbedingungen eingeführt wurden, sollen auf Basis dessen in diesem Kapitel die einzelnen Zielfunktions- und Nebenbedingungskomponenten sowie die Art und Weise der Modellierung erschlossen werden. Es wird in folgender Reihenfolge vorgegangen:

⁵¹⁸ Eigene Darstellung.

Zunächst wird die Modellierung der Qualitätsziele beschrieben. Im Anschluss wird die Modellierung der Kostenziele beschrieben und dann die Modellierung der Ressourceneinschränkungen.

Das übergeordnete Qualitätsziel des EMSOP ist die einwandfreie Bereitstellung. Die Kriterien für eine einwandfreie Bereitstellung wurden in Kapitel 3.3.1 festgelegt. Sie umfassen Bedarfsdeckung, Rechtzeitigkeit, Reaktionsfähigkeit, Sauberkeit und Funktionsfähigkeit. Wie im vorherigen Teilkapitel dargestellt, werden sie als Nebenbedingungen modelliert. Im Folgenden wird jeweils kurz auf die Modellierung der einzelnen Qualitätskriterien eingegangen.

Das Kriterium *Bedarfsdeckung* wird mit einer Nebenbedingung umgesetzt, die sicherstellt, dass die bereitgestellten Instrumente den vom OP bestellten Instrumentenbedarf decken. Die Einweg- und Mehrweginstrumente, die für einen Eingriff bereitgestellt werden, müssen dem vorgegebenen Bedarf an Instrumenten in Zweck und Menge mindestens entsprechen. Die Nebenbedingung wird mit „Bedarfsdeckung“ bezeichnet. Sie bildet ebenfalls die Einweg-Mehrweg-Entscheidung ab, indem der Bedarf eines Eingriffs gleichermaßen durch Einweg- und Mehrweginstrumente gedeckt werden kann. Das andere Teilproblem des EMSOP, die Siebgruppierung bei der Bereitstellung von Mehrweginstrumenten, erfordert eine weitere Nebenbedingung. Die Zuordnung von Mehrweginstrumenten zu Siebtypen wird durch die Nebenbedingung „Siebverwendung“ modelliert, die vorschreibt, dass jedes bereitgestellte Mehrweginstrument Teil eines Siebtyps ist.

Das Kriterium *Rechtzeitigkeit* wird in Form der Annahme einer Aufbereitungsdauer von einem Tag aus Kapitel 6.1.2 in das Modell übersetzt. Sie schließt Verspätungen theoretisch aus. Umgesetzt wird die Annahme über den Siebbestand. Der Bestand an Sieben wird so bestimmt, dass die Anzahl an Sieben je Siebtyp im Bestand mindestens dem Bedarf an Sieben des Siebtyps an allen Tagen entspricht. Denn wenn jedes Sieb ein Mal am Tag verwendet werden kann, müssen mindestens so viele Siebe im Bestand sein, wie an jedem einzelnen Tag benötigt werden. Modelliert wird die Annahme in Form einer Nebenbedingung zur Bestimmung des Siebbestands. Sie wird mit „Siebbestand“ bezeichnet.

Das Ziel *Reaktionsfähigkeit* ist für nicht planmäßige Bedarfe in Notfällen von Bedeutung. Für den strategischen Planungsfall ist es in einem deterministischen Modell nicht abzubilden. Für ein Modell, das Notfälle berücksichtigt, kann die Reaktionsfähigkeit mithilfe eines

Sicherheitsbestands sichergestellt werden.⁵¹⁹ Zur Bestimmung des Sicherheitsbestands können beispielsweise stochastische Modelle zur Schätzung der Notfälle herangezogen werden.

Die Kriterien *Sauberkeit* und *Funktionsfähigkeit* beziehen sich auf die Beschaffenheit der Instrumente als Ergebnis des Aufbereitungsprozesses. Der Prozess ist gemäß der rechtlichen Vorgaben so zu gestalten, dass Sauberkeit und Funktionsfähigkeit gewährleistet sind. Eine Verletzung der Kriterien kann unter dieser Annahme ausschließlich als Folge individueller Fehler oder technischer Störungen auftreten. Diese können jedoch nicht unmittelbar Gegenstand des EMSOP sein. Zur mittelbaren Abbildung der Kriterien bietet sich zum einen die Monetarisierung des Fehlerrisikos in den Folgekosten an und/oder die Modellierung als Nebenbedingungen, die Risikofaktoren ausschließen. Das Risiko, dass Fehler bei der Bereitstellung von Mehrweginstrumenten in Sieben auftreten, ist mit der Anzahl der Instrumente in einem Sieb korreliert.⁵²⁰ Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass je mehr Instrumente in einem Sieb enthalten sind, desto unübersichtlicher ist der Inhalt für bearbeitende Personen und umso wahrscheinlicher werden Fehler. Eine weitere mögliche Erklärung ist eine Funktionseinschränkung der Sterilisationsmaschine wegen Überladung.⁵²¹ Deshalb soll eine Obergrenze für die Anzahl Instrumente pro Sieb festgelegt werden. Die Obergrenze kann in Form einer Nebenbedingung abgebildet werden, die mit „Siebinhaltbegrenzung“ bezeichnet wird. Als empirisch begründete Obergrenze für die Anzahl an Instrumenten pro Sieb werden in dieser Arbeit vierzig Instrumente vorgegeben. Diese Obergrenze wird auf Basis einer Studie von Stockert und Langerman gewählt. Sie stellten bei mehr als vierzig Instrumenten pro Sieb eine Fehlerrate von 49 % im Vergleich zu einer Fehlerrate von 13 % bei weniger als vierzig Instrumenten pro Sieb fest.⁵²²

Die folgende Tabelle führt die als Nebenbedingungen zu modellierenden Qualitätsziele mit ihren im Modell verwendeten Bezeichnungen auf.

| Qualitätsziel | Nebenbedingung |
|----------------------|-----------------------------------|
| Bedarfsdeckung | Bedarfsdeckung und Siebverwendung |
| Rechtzeitigkeit | Siebbestand |
| Sauberkeit | Siebinhaltbegrenzung |
| Funktionsfähigkeit | |

Tab. 16: Modellierung der Qualitätsziele in den Nebenbedingungen.⁵²³

⁵¹⁹ Vgl. Volland et al. (2017), S. 90.

⁵²⁰ Vgl. Stockert/Langerman (2014), S. 650; van Meter/Adam (2016), S. 652e5.

⁵²¹ Vgl. Schwarz et al. (2005), S. 5.

⁵²² Vgl. Stockert/Langerman (2014), S. 650.

⁵²³ Eigene Darstellung.

In der Zielfunktion werden die zu minimierenden Kostenziele modelliert. Die Berechnung der Kosten erfolgt gemäß der Prozesskostenrechnung durch Multiplikation des Kostentreibers einer Kostenkategorie mit dem dazugehörigen Kostensatz. Die Kostenkategorien und Kostentreiber sind Tabelle 17 zu entnehmen. Wie in der Prozesskostenrechnung üblich und zur Vereinfachung der Zielfunktion, werden Kostenkategorien, die den gleichen Kostentreiber haben, in der Zielfunktion zusammengefasst. Welche Kostenkategorien von den gleichen Kostentriibern bestimmt werden, ist in Tabelle 17 ersichtlich. Die Abnutzungskosten und die manuellen Aufbereitungskosten werden von einem gemeinsamen Kostentreiber bestimmt, nämlich der Anzahl bereitgestellter Mehrweginstrumente. Sie werden zusammengefasst zu den Mehrweg-bereitstellungskosten. Die maschinellen Aufbereitungskosten und die Transportkosten werden von der Anzahl bereitgestellter Siebe als gemeinsamem Kostentreiber bestimmt. Sie werden zusammengefasst zu den Siebbereitstellungskosten. Die Kostenkategorien mit gemeinsamen Kostentriibern werden durch Addition der Prozesskostensätze zusammengefasst und in der Zielfunktion gemeinsam berechnet. Für die anderen Kostenkategorien wird der Kostentreiber aus Tabelle 17 benutzt. Die Kostentriibermengen für die einzelnen Kostentriiber werden im Zuge der Optimierung durch das Modell bestimmt.

Die folgende Tabelle führt die in der Zielfunktion zu modellierenden Kostenziele als Zielfunktionskomponenten mit ihren Bezeichnungen und Kostentriibern auf.

| Zielfunktionskomponente | Kostentriiber |
|--------------------------------|---|
| Einwegbereitstellungskosten | Anzahl bereitgestellter Einweginstrumente je Typ |
| Einwegentsorgungskosten | Anzahl bereitgestellter Einweginstrumente |
| Mehrwegbereitstellungskosten | Anzahl bereitgestellter Mehrweginstrumente je Typ |
| Siebbereitstellungskosten | Anzahl bereitgestellter Siebe |
| Perioperative Kosten | Anzahl bereitgestellter Instrumente |
| Lagerkosten | Anzahl Siebe im Bestand |
| Kapitalkosten | Anzahl Mehrweginstrumente im Bestand je Typ |
| Folgekosten | Anzahl mangelhafter Bereitstellungen |

Tab. 17: Modellierung der Kostenziele in der Zielfunktion.⁵²⁴

Neben der Zielfunktion sind die Restriktionen Bestandteil des Modells. Sie liegen für die vorliegende Problemstellung in Form von Ressourcenbeschränkungen vor. In Kapitel 6.1.2 wurden als beschränkte Ressourcen für den mittelfristigen Planungszeitraum die Desinfektions- und Sterilisationsmaschinen der AEMP sowie die Lagerfläche identifiziert. Laut Tabelle 14

⁵²⁴ Eigene Darstellung.

sind gemäß der getroffenen Annahmen nur für den mittelfristigen Planungszeitraum potentielle Ressourcenbeschränkungen relevant. Die Restriktionen werden als Nebenbedingungen modelliert. Sie folgen dem grundsätzlichen Aufbau, dass die Beanspruchung der Ressource die begrenzte Kapazität der Ressource nicht überschreiten darf. Im Fall der Desinfektions- und Sterilisationsmaschinen darf die Anzahl bereitgestellter Siebe die Kapazität der Maschine nicht übersteigen und im Fall der Lagerfläche darf die Anzahl an Sieben im Bestand die zur Verfügung stehende Lagerfläche nicht überschreiten. Erstere Nebenbedingung wird als Maschinenrestriktion bezeichnet, zweitere als Lagerrestriktion.

Die folgende Tabelle führt für mittelfristige Planungszeiträume die als Nebenbedingungen zu modellierenden Ressourcenbeschränkungen mit ihren Bezeichnungen auf.

| Ressource | Nebenbedingung |
|---|-----------------------|
| Desinfektions- und Sterilisationsmaschinen AEMP | Maschinenrestriktion |
| Lagerfläche | Lagerrestriktion |

Tab. 18: Modellierung der Ressourcenbeschränkungen in den Nebenbedingungen.⁵²⁵

Für das Modell zum EMSOP sind weitere Nebenbedingungen notwendig, die den Wertebereich der Variablen eingrenzen. Nichtnegativitäts- und Ganzzahligkeitsbedingungen können einer realitätsnäheren Modellierung dienen, indem sie Lösungen ausschließen, die praktisch nicht umsetzbar sind.⁵²⁶ Beispielsweise werden negative Mengen oder Teilungen unteilbarer Größen ausgeschlossen. Binärvariablen können zu Modellierungszwecken vorteilhaft sein. Ihre binäre Eigenschaft wird genutzt, um komplexe Sachverhalte mathematisch abzubilden.⁵²⁷ Beispielsweise können Erweiterungsmöglichkeiten für Ressourcen durch Binärvariablen aktiviert (0) oder deaktiviert (1) werden.

⁵²⁵ Eigene Darstellung.

⁵²⁶ Vgl. Nickel et al. (2014), S. 173 und 362.

⁵²⁷ Vgl. Nickel et al. (2014), S. 180.

7 Beschreibung des mathematischen Modells für das EMSOP

7.1 Bestandteile des mathematischen Modells

Das Optimierungsmodell setzt sich aus verschiedenen Bestandteilen zusammen. Die Zielfunktion wird maximiert oder minimiert. Die Nebenbedingungen sind Gleichungen oder Ungleichungen, die bei der Maximierung oder Minimierung der Zielfunktion erfüllt sein müssen. Die Rechenausdrücke wiederum bestehen aus Variablen, Parametern und Konstanten, die durch Rechenzeichen zusammengefügt werden. Indizes kennzeichnen die Mengen, auf die sich die Variablen und Parameter beziehen. Die beschriebene Grundstruktur eines mathematischen Entscheidungsmodells wird als Ausgangspunkt für das Modell des EMSOP herangezogen.

Die Modellbeschreibung beginnt mit der Definition der Mengen und Indizes, der Variablen, sowie der Parameter und Konstanten. Im zweiten Teil ist das Modell dargestellt. Im dritten und vierten Teil werden die Zielfunktion und die Nebenbedingungen detailliert erklärt.

7.1.1 Definition der Mengen und Indizes

Die Indizes geben an, auf welche Mengen sich Variablen und Parameter beziehen. Die Modellierung der Mengen erfolgt auf Basis der in 6.1.1 eingeführten Typenebenen. Die Mengen, die für das Modell definiert werden, leiten sich aus der Problemstellung des EMSOP ab. Sie besagt, dass an jedem Tag des Planungszeitraums für jeden Eingriffstyp die erforderliche Menge je Instrumententyp in Form von Einweginstrumenten oder Mehrweginstrumenten in Sieben bereitzustellen ist. Folgende Mengen werden daraus abgeleitet:

- die Menge der Tage des Planungszeitraums T ,
- die Menge der unterschiedlichen Eingriffstypen E ,
- die Menge der unterschiedlichen Instrumententypen I und
- die Menge der unterschiedlichen Siebtypen S .

Die Indizes werden verwendet, um die Elemente einer Menge anzusprechen. Für die Mengen T , E , I und S werden die Indizes t , e , i und s definiert. Der Index t steht für die Elemente der Menge der Tage T innerhalb des Betrachtungszeitraums. Der Index e steht für die Elemente der Menge der Eingriffstypen E , die sich hinsichtlich ihres Bedarfs an Instrumenten unterscheiden. Der Index i steht für die Elemente der Menge der Instrumententypen I , die sich durch den Zweck, für den sie zur Anwendung kommen, unterscheiden. Dieser Zweck kann sowohl von einem Einweg- als auch von einem Mehrweginstrument gleichermaßen erfüllt werden.

Entsprechend wird innerhalb der Menge der Instrumententypen nicht zwischen Einweg und Mehrweg unterschieden. Das heißt, der gleiche Index i kann sowohl ein Einweg- als auch ein Mehrweginstrument bezeichnen. Der Index s steht für die Menge der Siebtypen S , die sich durch die unterschiedlichen Gruppierungen von Mehrweginstrumenten unterscheiden. Die Indizes werden den Variablen und Parametern rechts tiefgestellt angehängt, um zu zeigen, auf welches Element einer Menge sie sich beziehen.

7.1.2 Definition der Entscheidungsvariablen

Die Entscheidungsvariablen bilden die durch das Modell veränderbaren Größen ab. Die veränderbaren Größen sind diejenigen Größen, die im Sinne der Zielsetzung optimiert werden sollen. Zu diesem Zweck werden im Zuge der Optimierung Werte für die Entscheidungsvariablen bestimmt, die die Zielfunktion minimieren oder maximieren.⁵²⁸ Welche Variablen zu definieren sind, ist durch die zu modellierenden Zielfunktionskomponenten und Nebenbedingungen bestimmt, die in Kapitel 6.2.2 herausgearbeitet wurden. Die Variablen für die Zielfunktionskomponenten ergeben sich aus den in Tabelle 17 zugeordneten Kostentreibern. Für jeden Kostentreiber ist eine Variable zu definieren, um die Kostentreibermenge zu berechnen.

- Zur Modellierung des Kostentreibers *Anzahl bereitgestellter Einweginstrumente je Typ* wird die kontinuierliche Entscheidungsvariable EBT_{it} definiert. Sie modelliert die Anzahl Einweginstrumente des Typs i , die an Tag t bereitgestellt werden.
- Zur Modellierung des Kostentreibers *Anzahl bereitgestellter Einweginstrumente* für die Entsorgungskosten wird keine Variable definiert, weil sich die Kostentreibermenge mit Hilfe der Variable EBT_{it} berechnen lässt.
- Zur Modellierung des Kostentreibers *Anzahl bereitgestellter Mehrweginstrumente je Typ* wird die kontinuierliche Entscheidungsvariable MBG_i definiert. Sie bezeichnet die Anzahl an Mehrweginstrumenten des Typs i , die allen Eingriffstypen in allen Siebtypen bereitgestellt werden.
- Zur Modellierung des Kostentreibers *Anzahl bereitgestellter Siebe* wird die kontinuierliche Entscheidungsvariable SB_{st} definiert. Sie bezeichnet die Anzahl Siebe des Siebtyps s , die an Tag t bereitgestellt werden.

⁵²⁸ Vgl. Nickel et al. (2014), S. 8.

- Zur Modellierung des Kostentreibers *Anzahl bereitgestellter Instrumente* wird keine Variable definiert, weil sich die Kostentreibermenge mit Hilfe der Variablen EBT_{it} und MBG_i berechnen lässt.
- Zur Modellierung des Kostentreibers *Anzahl an Sieben im Bestand* wird die kontinuierliche Entscheidungsvariable SV_s definiert. Sie bezeichnet die Anzahl Siebexemplare des Siebtyps s , die im Bestand sind.
- Zur Modellierung des Kostentreibers *Anzahl an Mehrweginstrumenten im Bestand je Typ* wird die kontinuierliche Entscheidungsvariable MV_i definiert. Sie bezeichnet die Anzahl Mehrweginstrumente des Typs i , die im Bestand sind.
- Zur Modellierung des Kostentreibers *Anzahl mangelhafter Bereitstellungen* wird keine Variable definiert, weil die Folgekosten in dieser Arbeit nicht quantifiziert worden sind und ohne Kostensatz keine Berechnung in der Zielfunktion erfolgen kann.

In der folgenden Tabelle sind die für die Zielfunktion definierten Variablen in ihrer formellen Schreibweise aufgeführt und kurz erläutert.

| Variable | Erläuterung |
|------------|---|
| EBT_{it} | Anzahl Einweginstrumente des Typs i , die an Tag t bereitgestellt werden. |
| MBG_i | Anzahl Mehrweginstrumente des Typs i , die insgesamt bereitgestellt werden. |
| SB_{st} | Anzahl Siebe des Siebtyps s , die an Tag t bereitgestellt werden. |
| SV_s | Anzahl Siebexemplare des Siebtyps s , die im Bestand sind. |
| MV_i | Anzahl Mehrweginstrumente des Typs i , die im Bestand sind. |

Tab. 19: Definition der Variablen für die Zielfunktion.⁵²⁹

Weitere Variablen sind zu definieren, um die Nebenbedingungen zu den Qualitätszielen aus Tabelle 16 und zu den Restriktionen aus Tabelle 18 zu modellieren.

- Zur Modellierung der Nebenbedingung *Einweg-Mehrweg-Deckung* werden die kontinuierlichen Entscheidungsvariablen EB_{ie} und MB_{ie} definiert. EB_{ie} bezeichnet die Anzahl an Einweginstrumenten des Typs i , die für Eingriffstyp e bereitgestellt werden. Für MB_{ie} ist zu präzisieren, dass es sich nur um diejenigen bereitgestellten Mehrweginstrumente handelt, die genau dem Bedarf entsprechen. Denn aufgrund der Bereitstellung in Sieben kann es durchaus vorkommen, dass mehr Instrumente in den bereitgestellten Sieben enthalten sind, als für die Bedarfsdeckung notwendig sind. MB_{ie} bezeichnet die Anzahl an Mehrweginstrumenten des Typs i , die dem Eingriffstyp e bereitgestellt werden und zu dessen Bedarfsdeckung dienen. Diese Präzisierung ist zur Abgrenzung von MBG_i notwendig. Wie oben definiert, umfasst MBG_i im Gegensatz zu

⁵²⁹ Eigene Darstellung.

MB_{ie} alle in Sieben bereitgestellten Mehrweginstrumente des Typs i , auch diejenigen, die nicht für einen Eingriff benötigt werden. Das heißt, wenn nicht alle in einem Sieb bereitgestellten Mehrweginstrumente für einen Eingriff benötigt werden, ist die Anzahl der bereitgestellten Instrumente (MBG_i) größer als die Anzahl der bereitgestellten und vom Eingriffstyp nachgefragten Instrumente (MB_{ie}). Für Einweginstrumente ist diese Unterscheidung überflüssig.

- Zur Modellierung der Nebenbedingung *Siebverwendung* werden die Variablen G_{is} und Z_{es} definiert. G_{is} ist eine kontinuierliche Entscheidungsvariable und bezeichnet die Anzahl Instrumente des Instrumententyps i in Siebtyp s . Z_{es} ist eine Binärvariable, die angibt, ob der Siebtyp s für den Eingriffstyp e benutzt wird. Eine Binärvariable weist die Besonderheit auf, dass sie ausschließlich den Wert 1 oder den Wert 0 annehmen kann. Diese Eigenschaft wird zu Modellierungszwecken definiert. Z_{es} nimmt den Wert 1 an, wenn der Siebtyp s für den Eingriffstyp e benutzt wird. Wenn der Siebtyp s nicht für den Eingriffstyp e benutzt wird, nimmt sie den Wert 0 an.
- Zur Modellierung der Nebenbedingungen *Siebbestand*, *Siebinhaltbegrenzung*, *Maschinenrestriktion* und *Lagerrestriktion* müssen keine weiteren spezifischen Variablen definiert werden, da die bereits definierten Variablen verwendet werden können: für den Siebbestand SV_s , für die Siebinhaltsbegrenzung G_{is} , für die Maschinenrestriktion SB_{st} und für die Lagerrestriktion ebenfalls SV_s .

Die folgende Tabelle enthält die für die Nebenbedingungen definierten Variablen.

| Variable | Erläuterung |
|-----------|--|
| EB_{ie} | Anzahl Einweginstrumente des Typs i , die Eingriffstyp e bereitgestellt werden. |
| MB_{ie} | Anzahl der Mehrweginstrumente des Typs i , die dem Eingriffstyp e bereitgestellt werden und zu dessen Bedarfsdeckung dienen. |
| Z_{es} | 1, falls Siebtyp s für Eingriffstyps e bereitgestellt wird. 0, falls Siebtyp s nicht für Eingriffstyps e bereitgestellt wird. |

Tab. 20: Definition der Variablen für die Nebenbedingungen.⁵³⁰

7.1.3 Definition der Parameter und Konstanten

Inputgrößen werden als Parameter und Konstanten modelliert. Parameter unterscheiden sich von Konstanten darin, dass sie Indizes tragen und folglich für verschiedene Elemente einer oder mehrerer Mengen verschiedene Werte gelten. Konstanten hingegen ist ein fester Wert zugeordnet. Im Folgenden werden die Parameter und Konstanten zur Berechnung der Kosten

⁵³⁰ Eigene Darstellung.

in der Zielfunktion definiert. Konstanten werden benutzt, wenn die Kosten für eine Menge einheitlich gelten. Parameter werden für Kostensätze definiert, die vom Instrumententyp abhängen. Beispielsweise wird der Aufbereitungsaufwand von der Beschaffenheit eines Instruments und die Beschaffungs-, Abnutzungs- und Kapitalkosten vom Wert eines Instruments bestimmt, wohingegen die perioperativen Kosten unabhängig vom Instrument sind. Die Kostensätze der Mehrwegbereitstellung, der Einwegbeschaffung und der Kapitalkosten sind durch die Parameter kmn_i , ken_i und kk_i abgebildet. Sie geben jeweils an, welcher Kostensatz in Abhängigkeit vom Instrumententyp i heranzuziehen ist. kmn_i ist der Kostensatz der Aufbereitung und Abnutzung eines Mehrweginstruments des Typs i . ken_i ist der Kostensatz der Beschaffung und Entsorgung eines Einweginstruments des Typs i . kk_i ist der Kostensatz der Kapitalkosten eines Mehrweginstruments des Typs i . Die Kostensätze der Siebbereitstellung, der OP-Vorbereitung und der Lagerung sind durch die Konstanten ks , ko und kl abgebildet. ks ist der Kostensatz für die Nutzung eines Siebs. ko ist der Kostensatz für die perioperativen Kosten eines Instruments. kl ist der Kostensatz für die Lagerung eines Siebs.

Des Weiteren werden Parameter zur Vorgabe des Bedarfs definiert. Der vom OP-Prozess vorgegebene Bedarf eines Eingriffs an Instrumenten sowie der OP-Plan, der vorgibt, welche Eingriffstypen wie oft an welchen Tagen stattfinden, werden als zweidimensionale Parameter definiert. Zweidimensionale Parameter unterscheiden sich von eindimensionalen Parametern darin, dass sie sich nicht nur auf eine Menge beziehen, sondern auf zwei. Der Parameter N_{ie} dient zur Definition des OP-Bedarfs. Er gibt vor, welche Anzahl an Instrumenten des Typs i für den Eingriffstyp e benötigt werden. Der Parameter P_{et} gibt an, wie viele Eingriffe des Typs e an Tag t laut OP-Plan durchgeführt werden. Als weiterer zweidimensionaler Parameter wird G_{is} eingeführt. Er ist definiert als die Anzahl an Instrumenten des Typs i , die im Siebtyp s enthalten sind. G_{is} und seine Bestimmung bedürfen zusätzlicher Erklärungen in einem separaten Kapitel (7.1.4). Die folgende Tabelle enthält die definierten Parameter.

| Parameter | Erläuterung |
|------------------|---|
| kmn_i | Kostensatz der Aufbereitung und Abnutzung eines Mehrweginstruments des Typs i . |
| ken_i | Kostensatz der Beschaffung und Entsorgung eines Einweginstruments des Typs i . |
| kk_i | Kostensatz der Kapitalkosten eines Mehrweginstruments des Typs i . |
| N_{ie} | Anzahl nachgefragter Instrumente des Typs i für Eingriffstyp e . |
| P_{et} | Anzahl Eingriffe des Eingriffstyp e an Tag t gemäß OP-Plan. |
| G_{is} | Anzahl Mehrweginstrumente des Typs i in Siebtyp s . |

Tab. 21: Definition der Parameter.⁵³¹

⁵³¹ Eigene Darstellung.

Für die Modellierung der Restriktionen sind weitere Konstanten zu definieren. Die Konstante SK bildet die Obergrenze für die Anzahl Instrumente in einem Sieb ab, die Konstante LK die Lagerkapazität und die Konstante MK die Maschinenkapazität. Die folgende Tabelle enthält die definierten Konstanten.

| Konstante | Erläuterung |
|-----------|---|
| ks | Kostensatz der Nutzung eines Siebs. |
| ko | Kostensatz für die perioperativen Kosten eines Instruments. |
| kl | Kostensatz der Lagerung eines Siebs. |
| SK | Obergrenze für die Anzahl Instrumente in einem Sieb in Anzahl Instrumenten. |
| LK | Lagerkapazität in Anzahl Sieben. |
| MK | Maschinenkapazität in Anzahl Sieben. |

Tab. 22: Definition der Konstanten.⁵³²

7.1.4 Definition der Siebtypen und der Werte des Parameters G_{is}

In diesem Kapitel wird zunächst auf die Besonderheiten des Parameters G_{is} eingegangen. Im Anschluss werden die Herausforderungen der Komplexität bei der Bestimmung der Siebtypen und der Werte für G_{is} aufgezeigt und ein Algorithmus zur Bewältigung vorgestellt.

Der Parameter G_{is} weist die Besonderheit auf, dass er alternativ als Variable definiert werden könnte, die angibt, welche Menge an Instrumenten des Typs i dem Siebtyp s zugeordnet wird. Für die Definition als Variable würde sprechen, dass die Zuordnung von Mehrweginstrumenten zu Sieben eine der Entscheidungen des EMSOP darstellt. Folglich liegt die Modellierung als Entscheidungsvariable nahe. Zum Zweck der besseren Lösbarkeit wird jedoch statt einer Entscheidungsvariablen, ein Parameter definiert, der die möglichen Zuordnungen im Voraus als Input des Modells vorgibt.

Der Grund ist, dass zur Modellierung der Zusammenhänge in mehreren Nebenbedingungen G_{is} mit der Variablen Z_{es} multipliziert werden soll. Wenn G_{is} als Variable definiert ist, resultieren nicht-lineare Nebenbedingungen und es handelt sich dann um ein nicht-lineares Modell.⁵³³ Zur Lösung nicht-linearer Modelle müssen rechenintensivere Lösungsmethoden eingesetzt werden, die oftmals dazu führen, dass Instanzen von praxisrelevanter Größe nicht in akzeptabler Zeit gelöst werden können. Deshalb ist es von Vorteil, das Modell mit linearen Nebenbedingungen zu formulieren.⁵³⁴

⁵³² Eigene Darstellung.

⁵³³ Vgl. Nickel et al. (2014), S. 231.

⁵³⁴ Vgl. Chiang/Wainwright (2005), S. 416.

Dies wird umgesetzt, indem statt der Definition einer Entscheidungsvariablen, durch die entschieden wird, welche Instrumente des Typs i dem Siebtyp s zuordnet werden, alle potentiell möglichen Zuordnungen von Instrumententypen zu Siebtypen in Form des Parameters G_{is} abgebildet und dem Modell im Voraus vorgegeben werden. Im Zuge der Modelllösung werden Zuordnungen daraus mithilfe der Binärvariablen Z_{es} ausgewählt. Das heißt, die Entscheidung über die Zuordnung wird durch die Auswahl bestimmter G_{is} getroffen. Als Resultat der Auswahl werden aus potentiell möglichen G_{is} sozusagen tatsächlich existierende G_{is} .

Der Bestimmung aller möglichen Werte für G_{is} geht die Bestimmung des Inhalts aller möglichen Siebtypen voraus. Man kann den Zusammenhang zwischen G_{is} und den Siebtypen s so beschreiben: Die G_{is} dienen zur Abbildung der Siebtypen in der Form eines zweidimensionalen Parameters, der sich als Input für das Modell eignet. Entsprechend leiten sich die G_{is} aus den Siebtypen ab. Siebtypen sind Kombinationen von Instrumententypen und werden dargestellt durch Angabe der enthaltenen Anzahl an Instrumenten je Instrumententyp [Anzahl Instrumente des Typs $i \in I$].

Die Siebtypen werden aus dem Instrumentenbedarf der Eingriffstypen abgeleitet. Das folgt aus der Zweckbestimmung der Siebe, die darin besteht möglichst den Bedarf zu decken. Der Bedarf eines Eingriffstyps e an Instrumenten des Instrumententyps i (N_{ie}) ist also Ausgangspunkt der Siebkonfiguration. Für jedes N_{ie} wird dementsprechend ein Siebtyp bestimmt, der den Instrumentenbedarf des entsprechenden Eingriffs enthält. Der Instrumentenbedarf eines Eingriffstyps wird jedoch nicht immer nur durch einen einzelnen Siebtyp bereitgestellt, sondern kann alternativ durch mehrere unterschiedliche Siebtypen sowie teilweise oder vollständig durch Einweginstrumente bereitgestellt werden. Deshalb werden bei der Ableitung der Siebtypen aus dem Bedarf zusätzlich zu einem Siebtyp, der den gesamten Bedarf eines Eingriffstyps beinhaltet, für jedes einzelne benötigte Instrument weitere Siebtypen erstellt genauso wie für jede Teilmenge der benötigten Instrumente. Diese weiteren Siebtypen enthalten somit jeweils nur einen Teil des Instrumentenbedarfs eines Eingriffstyps. Des Weiteren werden für jeden benötigten Instrumententyp noch Siebtypen erstellt, die 0 Instrumente des Instrumententyps enthalten. Diese Variante ist notwendig, um den Fall abzubilden, dass ein Eingriffstyp ausschließlich durch Einweginstrumente versorgt wird.

Darüber hinaus werden weitere Siebtypen aus dem gemeinsamen Bedarf mehrerer Eingriffstypen abgeleitet. Unter einem gemeinsamen Bedarf ist zu verstehen, dass er alle benötigten Instrumente der Eingriffstypen umfasst. Der Siebtyp, der den gemeinsamen Bedarf bestimmter Eingriffstypen enthält, kann für alle diese Eingriffstypen verwendet werden, ohne dass weitere Siebe oder Einweginstrumente notwendig sind. Die gemeinsamen Bedarfe, die

sich aus der Vereinigung aller möglichen Eingriffstypen ergeben, werden wie zusätzliche fiktive Eingriffstypen behandelt. Demzufolge sind auch für alle möglichen gemeinsamen Bedarfe wiederum für jedes einzelne benötigte Instrument Siebtypen sowie für jede Kombination der benötigten Instrumente Siebtypen zu erstellen.

Nach dem beschriebenen Schema leitet sich aus dem Bedarf eines Eingriffstyps eine Vielzahl an Siebtypen ab. Die Anzahl ist von der Anzahl an Eingriffstypen und Instrumententypen abhängig und wächst aufgrund der Kombinationsmöglichkeiten überproportional. Deshalb kann die Komplexität eine Herausforderung darstellen. Die folgenden Abschnitte und Abbildung 17 erklären anhand eines Beispiels, wie die Siebtypen aus den N_{ie} abgeleitet werden und verdeutlichen die angesprochene Komplexität.

Vorgegebener Bedarf

| N_{ie} | Schere | Messer | Klemme |
|----------|--------|--------|--------|
| A | 1 | 1 | 1 |
| B | 1 | 0 | 2 |

Gemeinsamer Bedarf

| | | | |
|----|---|---|---|
| AB | 1 | 1 | 2 |
|----|---|---|---|

▼

[Anz. Scheren, Anz. Messer, Anz. Klemmen]

| | | | | |
|-----|---------|---------|---------|---------|
| A: | [1,0,0] | [0,0,1] | [1,0,1] | [1,1,1] |
| | [0,1,0] | [1,1,0] | [0,1,1] | [0,0,0] |
| B: | [1,0,0] | [1,0,1] | [1,0,2] | |
| | [0,0,1] | [0,0,2] | [0,0,0] | |
| AB: | [1,0,0] | [1,1,0] | [0,1,2] | [1,1,1] |
| | [0,1,0] | [1,0,1] | [1,0,2] | [0,0,0] |
| | [0,0,1] | [0,1,1] | [0,0,2] | [1,1,2] |

Abb. 17: Beispiel zur Generierung der Siebtypen.⁵³⁵

In der oberen Tabelle der Abbildung sind die Werte für N_{ie} angegeben: die Anzahl nachgefragter Instrumente der Typen $i \in I$, wobei $I = \{\text{Schere, Messer, Klemme}\}$ der Eingriffstypen $e \in E$, wobei $E = \{A, B\}$. Unter der Tabelle ist die Anzahl je Instrumententyp des gemeinsamen Bedarfs von Eingriff A und Eingriff B angegeben, bezeichnet als fiktiver Eingriff AB.

⁵³⁵ Eigene Darstellung.

Aus dem Bedarf werden nach der oben beschriebenen Vorgehensweise alle möglichen Siebtypen abgeleitet. Die Siebtypen werden beschrieben in der Form [Anzahl Scheren, Anzahl Messer, Anzahl Klemmen]. Die Siebtypen, die aus dem Bedarf von Eingriff A resultieren, sind in der Tabelle, die mit „ A “ gekennzeichnet ist, zu finden. Der Bedarf von Eingriff A ist 1 Schere, 1 Messer und 1 Klemme. Daraus wird der Siebtyp $[1,1,1]$ abgeleitet, der den gesamten Bedarf des Eingriffstyps enthält. Des Weiteren werden drei Siebtypen abgeleitet, die je einen Instrumententyp in der Anzahl 1 enthalten $[1,0,0]$, $[0,1,0]$ und $[0,0,1]$, sowie drei weitere Siebtypen, die je zwei der Instrumententypen enthalten $[1,1,0]$, $[1,0,1]$ und $[0,1,1]$. Ein achter Siebtyp enthält jeweils 0 Instrumente je Typ $[0,0,0]$. In der Tabelle, die mit „ B “ gekennzeichnet ist, sind die Siebtypen, die aus den Instrumentenmengen des Bedarfs von Eingriff B resultieren, in der Tabelle darunter sind die Siebtypen zu finden, die aus der Vereinigung von Eingriff A und Eingriff B resultieren.

Bereits ein Blick auf die Tabellen mit den Siebtypen genügt, um zu erkennen, dass viele Siebtypen mehrfach generiert werden. Im Beispiel resultieren bei zwei Eingriffstypen, drei Instrumententypen und nicht mehr als zwei Instrumenten je Typ bereits 26 Siebtypen, die nach der Exklusion redundanter Siebtypen auf 12 Siebtypen reduziert werden können. Je mehr Eingriffstypen, Instrumententypen und Instrumente, desto mehr Siebtypen werden generiert, von denen ein großer Teil redundant ist. Die Anzahl der Kombinationen wächst exponentiell, weswegen der zeitliche Rechenaufwand für praxisrelevante Problemgrößen schnell an Grenzen stoßen kann.⁵³⁶

Abhilfe soll ein Algorithmus schaffen, der nicht alle Siebkombinationen generiert, sondern jede Siebkombination nur ein Mal. Jede Siebkombination entspricht dann automatisch einem Siebtyp, sodass die Exklusion redundanter Siebkombinationen hinfällig ist. Der Algorithmus zur Reduzierung der Komplexität bei der Bestimmung der Werte des Parameter G_{is} , wird in Abbildung 18 erklärt. Es wird das Beispiel aus Abbildung 17 verwendet. Ausgangspunkt sind wieder die Werte des Parameters N_{ie} , die in der Tabelle links oben angegeben sind.

⁵³⁶ Vgl. Reymondon et al. (2008), S. 327.

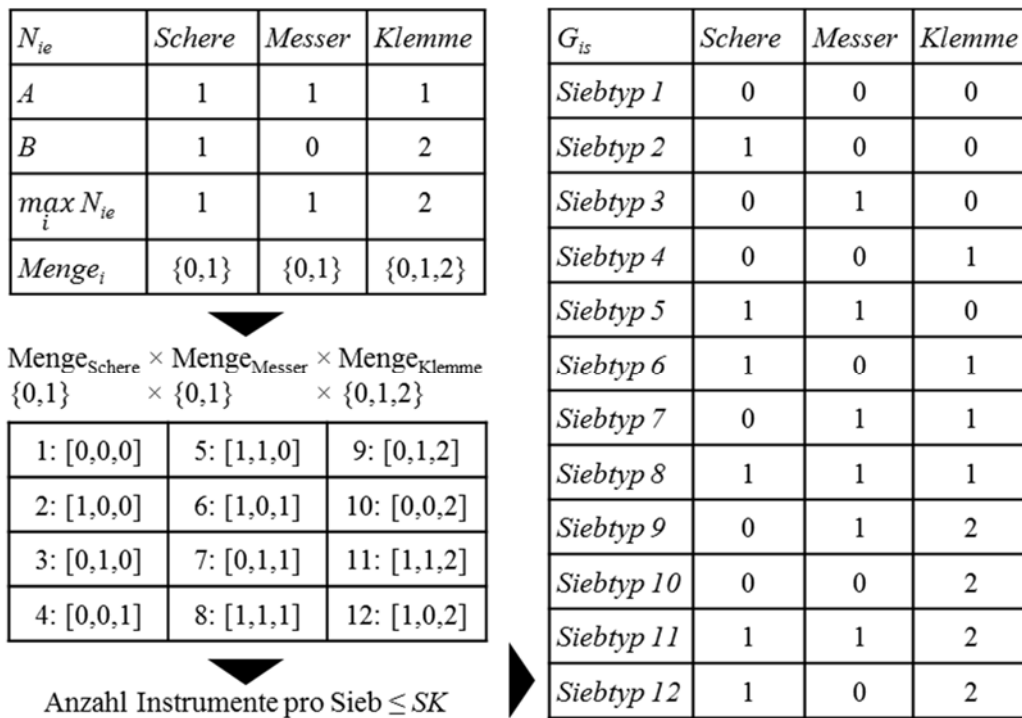


Abb. 18: Beispiel zum Algorithmus zur Reduktion der Komplexität bei der Bestimmung der Werte des Parameters G_{is} .⁵³⁷

Der erste Schritt des Algorithmus besteht darin, für jeden Instrumententyp i den größten Wert N_{ie} aus allen Eingriffstypen e zu wählen. Der Wert wird mit \max_i bezeichnet. Er gibt an, wie viele Instrumente eines Instrumententyps über alle Eingriffstypen hinweg maximal pro Eingriff benötigt werden. Er ist deshalb von besonderem Interesse, weil mehr als \max_i Instrumente des Typs i in keinem Siebtyp notwendig sind. Denn wenn kein Eingriff mehr als \max_i Instrumente eines Typs i benötigt, muss auch kein Siebtyp mehr als \max_i Instrumente dieses Typs enthalten. Im Beispiel werden für den Instrumententyp $i = \text{Klemme}$, für $e = A$ eine Klemme und für $e = B$ zwei Klemmen benötigt. Daraus resultiert $\max_{Klemme} = 2$. Das bedeutet, es werden keine potentiellen Siebtypen mit mehr als 2 Klemmen konfiguriert.

Im zweiten Schritt werden zu jedem Instrumententyp Mengen bestimmt, deren Elemente zum einen aus der Anzahl \max_i bestehen und zum anderen aus jeder ganzzahligen natürlichen Zahl kleiner \max_i inklusive 0. Sie werden als $Menge_i$ bezeichnet. Im Beispiel besteht für $i = \text{Klemme}$ mit $\max_{Klemme} = 2$ die $Menge_{Klemme}$ aus $\{0,1,2\}$. Die Elemente der $Menge_i$ sind zu verstehen als mögliche Ausprägungen der Anzahl an Instrumenten des Typs i , die zur Generierung der Siebtypen zur Verfügung stehen.

Im nächsten Schritt wird das kartesische Produkt aller $Mengen_i$ bestimmt. Auf diese Weise werden alle möglichen Kombinationen aus Instrumententypen erstellt. Sie stellen die

⁵³⁷ Eigene Darstellung.

verschiedenen potentiellen Siebtypen s dar. Das kartesische Produkt kombiniert jedes Element jeder $Menge_i$ mit jedem Element jeder anderen $Menge_i$. Die Anzahl Kombinationen, die als kartesisches Produkt aus einer bestimmten Anzahl Mengen resultiert, berechnet sich als Produkt aus der Anzahl an Elementen je Menge. Im Beispiel wird das kartesische Produkt aus der $Menge_{Schere}$, der $Menge_{Messer}$ und der $Menge_{Klemme}$ bestimmt. Die $Menge_{Schere}$ und die $Menge_{Messer}$ haben je zwei Elemente $\{0,1\}$, die $Menge_{Klemme}$ drei Elemente $\{0,1,2\}$. Demnach resultieren $2 \cdot 2 \cdot 3 = 12$ Siebtypen. Sie sind in der Tabelle links unten in Abbildung 18 angegeben. Der nächste Schritt des Algorithmus dient ausschließlich dazu, die Bedingung zur Siebinhaltsbegrenzung aus Tabelle 16 in Kapitel 6.2.2 umzusetzen. Sie dient zur Modellierung der Qualitätsgrößen Sauberkeit und Funktionsfähigkeit. Der Schritt ist dementsprechend nur dann im Algorithmus durchzuführen, wenn eine solche Nebenbedingung im jeweiligen Anwendungsfall modelliert werden soll. Unter dem Gesichtspunkt der Rechenzeit ist es jedoch effizienter diese Bedingung vorab bei der Bestimmung der G_{is} umzusetzen anstatt in Form einer Nebenbedingung. Die durch den Algorithmus generierten Siebtypen werden hierzu auf die Anzahl insgesamt enthaltener Instrumente geprüft. Bei Überschreitung der Siebkapazität SK , wird der Siebtyp ausgeschlossen.

Im abschließenden Schritt wird der Parameter G_{is} aus den Siebtypen ausgelesen. Beispielsweise werden aus Siebtyp 11 mit der Schere-Messer-Klemme-Kombination $[1,1,2]$ abgeleitet $G_{Schere, Siebtyp\ 11} = 1$, $G_{Messer, Siebtyp\ 11} = 1$ und $G_{Klemme, Siebtyp\ 11} = 2$. Alle G_{is} , die für das Beispiel resultieren, sind in der Abbildung 18 rechts aufgeführt.

7.2 Modell

Zielfunktion

$$\min \sum_{i \in I} \left(\sum_{t \in T} EBT_{it} \cdot ken_i \right) + \sum_{i \in I} MBG_i \cdot kmn_i + ks \cdot \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} SB_{st} + ko$$

$$\cdot \sum_{i \in I} (MBG_i + \sum_{t \in T} EBT_{it}) + kk_i \cdot \sum_{i \in I} MV_i + kl \cdot \sum_{s \in S} SV_s$$

Nebenbedingungen

$$EB_{ie} + MB_{ie} \geq N_{ie} \quad \forall i \in I, e \in E \quad (1)$$

$$\sum_{s \in S} G_{is} \cdot Z_{es} \geq MB_{ie} \quad \forall i \in I, e \in E \quad (2)$$

$$\sum_{e \in E} EB_{ie} \cdot P_{et} \leq EBT_{it} \quad \forall i \in I, t \in T \quad (3)$$

$$\sum_{e \in E} Z_{es} \cdot P_{et} \leq SB_{st} \quad \forall s \in S, t \in T \quad (4)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{t \in T} G_{is} \cdot SB_{st} \leq MBG_i \quad \forall i \in I \quad (5)$$

$$SV_s \geq SB_{st} \quad \forall s \in S, t \in T \quad (6)$$

$$\sum_{s \in S} G_{is} \cdot SV_s \leq MV_i \quad \forall i \in I \quad (7)$$

$$\sum_{i \in I} G_{is} \leq SK \quad \forall s \in S \quad (8)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{s \in S} SB_{st} \cdot G_{is} \leq MK \quad \forall t \in T \quad (9)$$

$$\sum_{s \in S} SV_s \leq LK \quad (10)$$

$$EB_{ie}, EBT_{it}, MB_{ie}, MBG_i, MV_i, SB_{st}, SV_s \geq 0 \quad \forall i \in I, e \in E, \forall s \in S, t \in T \quad (11)$$

$$Z_{es} \in \{0,1\} \quad \forall e \in E, \forall s \in S \quad (12)$$

7.3 Beschreibung der Zielfunktion

Die Zielfunktion setzt sich zusammen aus verschiedenen Termen, die die verschiedenen Kostenkategorien modellieren. Für jede Kostenkategorie werden die jeweiligen Kostentreibermengen mit den dazugehörigen Kostensätzen multipliziert. Die Prozesskostensätze sind als Parameter und Konstanten definiert und in Tabelle 21 und 22 aufgeführt. Die Kostentreibermengen berechnen sich mithilfe der entsprechenden Variablen und ihr Wert wird durch das Modell bestimmt. Die Variablen sind den Tabellen 19 und 20 zu entnehmen. Die Zusammensetzung der Kosten der einzelnen Kostenkategorien zur Zielfunktion erfolgt durch Addition, denn gemäß der Zielsetzung sollen die gesamten Kosten minimiert werden.

Der erste Term der Zielfunktion modelliert die Kosten der Beschaffung von Einweginstrumenten. Als Kostentreiber wird die Anzahl bereitgestellter Einweginstrumente herangezogen. Die Variable EBT_{it} (Anzahl bereitgestellter Einweginstrumente des Typs i an einem Tag t) wird für jeden Instrumententyp über alle Tage aufsummiert. Dadurch erhält man die Anzahl bereitgestellter Einweginstrumente je Typ über den gesamten Betrachtungszeitraum. Sie wird jeweils mit dem entsprechenden Parameter ken_i (Kostensatz für die Bereitstellung eines Einweginstrumentes des Typs i) multipliziert. Das Produkt sind die Beschaffungskosten je Instrumententyp, diese werden über alle Instrumententypen zu den gesamten Kosten der Einwegbeschaffung aufsummiert.

Der zweite Term der Zielfunktion modelliert die Aufbereitungs- und Abnutzungskosten. Der gemeinsame Kostentreiber ist die Anzahl bereitgestellter Mehrweginstrumente, dessen Kostentreibermenge mithilfe der Variablen MBG_i (Anzahl Mehrweginstrumente des Typs i , die insgesamt im Betrachtungszeitraum bereitgestellt werden) berechnet wird. Der gemeinsame Kostensatz für Abnutzung und Aufbereitung je Instrumententyp wird durch den Parameter kmn_i ausgedrückt. Der Zielfunktionsterm multipliziert die MBG_i mit dem entsprechenden kmn_i und summiert die Produkte über alle Instrumententypen auf.

Der dritte Term der Zielfunktion modelliert die Transportkosten, die mit jeder Siebbereitstellung einhergehen. Die Berechnung erfolgt durch die Multiplikation des Kostensatzes, der für alle einheitlich großen Siebe den gleichen Wert ks beträgt, mit der Anzahl aller bereitgestellten Siebe. Letztere wird berechnet als Summe der Variable SB_{st} (Anzahl bereitgestellter Siebe des Typs s an Tag t) über alle Siebtypen s und alle Tage t .

Der vierte Term der Zielfunktion dient der Berechnung der perioperativen Kosten ko . Sie fallen unabhängig vom Instrumententyp oder der Nutzungsform in gleicher Höhe für jedes Instrument an. Die Kostentreibermenge ist die Anzahl aller bereitgestellten Instrumente, sowohl Einweg- als auch Mehrweginstrumente. Zur Berechnung wird die Variable EBT_{it} (Anzahl bereitgestellter

Einweginstrumente des Typs i an einem Tag t) über alle Typen i und Tage t aufsummiert sowie die Variable MBG_i (Anzahl bereitgestellter Mehrweginstrumente des Typs i) über alle Typen i . Dann werden die beiden Summen addiert und mit dem Kostensatz der OP-Vorbereitungskosten (ko) multipliziert.

Der fünfte Term der Zielfunktion dient der Berechnung der Kapitalkosten. Da angenommen wird, dass Einweginstrumente just-in-time beschafft werden, wird als Kostentreiber die Anzahl an vorhandenen Mehrweginstrumenten im Bestand je Typ (MV_i) herangezogen. Sie wird mit dem jeweiligen Kostensatz kk_i (Kapitalkosten eines Mehrweginstruments des Typs i) multipliziert, um die Höhe der Kapitalkosten je Instrumententyp zu berechnen. Die Kapitalkosten insgesamt ergeben sich durch Aufsummieren der Werte der Variablen MV_i über alle Instrumententypen.

Der sechste Term der Zielfunktion berechnet die Lagerkosten. Sie verhalten sich proportional zur Kostentreibermenge *Anzahl Siebe im Bestand*. Die Berechnung der Lagerkosten erfolgt durch Multiplikation der Kostentreibermenge mit dem Kostensatz je Sieb kl . Die gesamte Menge an Sieben ist die Summe über die Anzahl Siebexemplare je Siebtyp (SV_s). Man erhält als Ergebnis die Kosten der Lagerung für den gesamten Bestand an Sieben.

Die Zielfunktion ist die Summe aus den sechs beschriebenen Termen. Das Modell hat zum Ziel, die Summe der Kosten durch die Bestimmung der Variablen zu minimieren. Der Minimierung werden durch die Nebenbedingungen, die im nächsten Unterkapitel beschrieben werden, Grenzen gesetzt.

7.4 Beschreibung der Nebenbedingungen

In diesem Kapitel werden die einzelnen Nebenbedingungen des Modells ausführlich beschrieben. Die Beschreibung folgt dem Schema Bezeichnung, Zweck und Funktion im Modell und Erläuterung der mathematischen Formulierung. Die Beschreibung geht nach der Nummerierung der Nebenbedingungen im Modell vor.

1) Bedarfsdeckung

$$EB_{ie} + MB_{ie} \geq N_{ie} \quad \forall i \in I, e \in E.$$

Diese Nebenbedingung dient der Modellierung der Kernaufgabe der Versorgung mit sterilen chirurgischen Instrumenten: die Deckung des Bedarfs der Eingriffstypen an sterilen chirurgischen Instrumenten. Außerdem modelliert die Nebenbedingung die alternativen Nutzungsformen Einweg und Mehrweg und bildet ab, wie sie gleichwertig und gemeinsam zur

Deckung des Instrumentenbedarfs eingesetzt werden. Der Bedarf eines Eingriffs an einem Instrument des Typs i kann sowohl durch ein Einweginstrument des Typs i als auch durch ein Mehrweginstrument des Typs i gedeckt werden. Denn die Summe aus bereitgestellten Einweg- und Mehrweginstrumenten (EB_{ie} und MB_{ie}) ergibt die insgesamt bereitgestellten Instrumente zur Bedarfsdeckung. Das heißt, durch die Nebenbedingung wird das zweite Teilproblem, die Einweg-Mehrweg-Entscheidung, in das erste Teilproblem, die Sieboptimierung, integriert.

Auf der linken Seite der Ungleichung stehen die Variablen EB_{ie} und MB_{ie} . Sie bezeichnen jeweils die Anzahl der Instrumente für einen Instrumententyp i , die einem Eingriffstyp e bereitgestellt werden: im Fall von EB_{ie} in Form eines Einweginstruments und im Fall von MB_{ie} in Form eines Mehrweginstruments. Auf der rechten Seite der Ungleichung steht die Anzahl der vom Eingriffstyp e nachgefragten Instrumente des Typs i , ausgedrückt durch den zweidimensionalen Parameter N_{ie} . Rechts von der Formel ist angegeben, für welche Mengen die Nebenbedingung gelten muss: nämlich für jeden Instrumententyp i und jeden Eingriffstyp e . Das Größergleichzeichen, das die beiden Seiten der Nebenbedingung trennt, schreibt vor, dass der Wert auf der linken Seite gleich oder größer sein muss, als der Wert auf der rechten Seite. Die linke Seite modelliert die Bereitstellung der Instrumente, die rechte Seite die Nachfrage gemäß dem OP-Bedarf. Die Anzahl bereitgestellter Instrumente je Instrumententyp muss für jeden Eingriffstyp mindestens der Anzahl der nachgefragten Instrumente je Typ entsprechen. Für jeden Instrumententyp und jeden Eingriffstyp muss der Wert auf der linken Seite deshalb mindestens so groß sein, wie der Wert auf der rechten Seite der Ungleichung.

Es ist darauf hinzuweisen, dass die Ungleichung de facto als Gleichung fungiert. Denn obwohl die beiden Variablen der linken Seite laut Rechenzeichen auch größer als die rechte Seite sein dürfen, werden ihre Werte bei der Lösung des Modells nicht größer gewählt. Begründet wird das folgendermaßen: Beide Variablen der linken Seite sind indirekt in der Zielfunktion abgebildet und werden deshalb minimiert. Im Folgenden ist die mittelbare Minimierung für die beiden Variablen ausführlich beschrieben. EB_{ie} wird in der Nebenbedingung 3) zur Bestimmung von EBT_{it} herangezogen. EBT_{it} muss zur Erfüllung von Nebenbedingung 3) größer oder gleich dem Produkt aus EB_{ie} und P_{et} sein. Wenn EBT_{it} in der Zielfunktion minimiert werden soll, muss deshalb auch EB_{ie} so klein wie möglich gewählt werden. MB_{ie} wird in der Nebenbedingung 2) benutzt. Hier wird vorgeschrieben, dass MB_{ie} kleiner oder gleich dem aufsummierten Produkt aus G_{is} und Z_{es} zu sein hat. Daraus resultiert noch keine mittelbare Minimierung, da keine direkte Verbindung zur Zielfunktion besteht. Die mittelbare Minimierung findet über die Nebenbedingungen 5) und 7) durch die Zielfunktionsvariablen MBG_i , und MV_i statt. Die beiden Zielfunktionsvariablen sollen jeweils größer als ein Produkt

mit G_{is} sein. Um die beiden Variablen zu minimieren, sind für G_{is} deshalb möglichst kleine Werte zu wählen. Die beiden Summanden EB_{ie} und MB_{ie} und damit auch die Summe der linken Seite werden also so klein wie möglich gehalten aber nicht kleiner als die rechte Seite. Das Modell wird sie deshalb so wählen, dass sie genau dem Wert der rechten Seite entsprechen. In der Lösung ist die Nebenbedingung folglich als Gleichung erfüllt.

2) Siebverwendung

$$\sum_{s \in S} G_{is} \cdot Z_{es} \geq MB_{ie} \quad \forall i \in I, e \in E.$$

Die Nebenbedingung 2) modelliert die Gruppierung der Mehrweginstrumente in Siebe, da jedes Mehrweginstrument Teil einer Gruppierung ist (siehe Kapitel 2.4.2).

Die Nebenbedingung schreibt vor, dass der Parameter G_{is} (Anzahl Mehrweginstrumente des Typs i , die im Siebtyp s enthalten sind) und die Binärvariable Z_{es} (1, wenn Siebtyp s für den Eingriffstyp e bereitgestellt wird, sonst 0) miteinander multipliziert werden. Das Produkt wird über alle Siebtypen s aufsummiert. Es muss größer oder gleich der Variablen MB_{ie} (Anzahl der Mehrweginstrumente des Typs i , die dem Eingriffstyp e bereitgestellt werden und zu dessen Bedarfsdeckung dienen) sein. Alle Instrumententypen i und alle Eingriffstypen e müssen die Bedingung erfüllen.

Die Nebenbedingung erfüllt zwei Funktionen: Sie stellt zum einen sicher, dass alle Mehrweginstrumente, die bereitgestellt werden, Teil eines Siebtyps sind und zum anderen bestimmt sie, welche Instrumententypen welchen Siebtypen zugeordnet werden.

Ersteres wird folgendermaßen umgesetzt: Das Produkt aus G_{is} und Z_{es} ergibt die Anzahl an Mehrweginstrumenten des Typs i , die für den Eingriff e in Siebtyp s bereitgestellt werden. Nach Addition über alle Siebtypen, erhält man die Anzahl aller Mehrweginstrumente des Typs i , die für den Eingriff e in Sieben bereitgestellt werden. Damit dient der Rechenausdruck zur Berechnung der Werte der Variablen MB_{ie} auf der rechten Seite. Wenn MB_{ie} nicht mehr Instrumente enthalten kann, als sich aus den G_{is} ergeben, dann folgt, dass alle bereitgestellten Mehrweginstrumente in Sieben enthalten sind. Das Produkt der linken Seite ist größer als MB_{ie} , wenn in den bereitgestellten Sieben Mehrweginstrumente enthalten sind, die nicht für den Eingriffstyp benötigt werden.

Die zweite Funktion der Nebenbedingung ist die Zuordnung von Instrumententypen zu Siebtypen. Wie in 7.2.4 beschrieben, steht der Parameter G_{is} für alle theoretisch möglichen Zuordnungen von Instrumententypen zu Siebtypen. Indem bestimmte G_{is} ausgewählt werden, wird die entsprechende Anzahl an Instrumenten eines Typs dem entsprechenden Siebtyp

zugeordnet. Die Auswahl erfolgt, wenn die Binärvariable Z_{es} im Produkt aus G_{is} und Z_{es} gleich Eins ist. Das bedeutet, dass der entsprechende Siebtyp s für den Eingriffstypen e bereitgestellt wird. Er wird auf diese Weise von einem theoretisch möglichen Siebtypen zu einem tatsächlich bereitgestellten Siebtypen. Ist Z_{es} gleich Eins, wird das dazugehörige G_{is} im Produkt aus G_{is} und Z_{es} ausgewählt. Z_{es} gleich Null bedeutet, dass der Siebtyp s für den Eingriffstyp e nicht verwendet wird. Sind alle Z_{es} für einen Siebtyp gleich Null, dann wird er für keinen Eingriffstyp verwendet und ist nicht tatsächlich existent.

3) Bestimmung der Einwegbereitstellungen

$$\sum_{e \in E} EB_{ie} \cdot P_{et} \leq EBT_{it} \quad \forall i \in I, t \in T.$$

Die Nebenbedingung 3) dient der Berechnung der Anzahl an Einweginstrumenten des Typs i , die an Tag t bereitgestellt werden. Sie wird für die Bestimmung der Kosten der Einwegnutzung verwendet. Die Kosten der Einwegbeschaffung und -entsorgung sind Teil der Zielfunktion und zudem für die Einweg-Mehrweg-Entscheidung relevant, die anhand der Gegenüberstellung der Kosten der beiden Nutzungsformen getroffen wird.

Auf der linken Seite der Ungleichung stehen die Variablen EB_{ie} (Anzahl Einweginstrumente des Typ i , die Eingriffstyp e bereitgestellt werden) und der Parameter P_{et} (Anzahl Eingriffe des Eingriffstyp e an Tag t gemäß OP-Plan), die miteinander multipliziert werden und über alle Eingriffstypen aufsummiert werden. Auf der rechten Seite des Kleingleichzeichens steht die Variable EBT_{it} (Anzahl Einweginstrumente des Typs i , die an Tag t bereitgestellt werden). Die Bedingung gilt für alle Instrumententypen und Tage. Die Variable EB_{ie} bezeichnet die Anzahl an Einweginstrumenten des Typs i , die für den Eingriffstyp e bereitgestellt werden. Der Parameter P_{et} bezeichnet die Anzahl an Eingriffen vom Typ e an Tag t . Das Produkt aus den Beiden ergibt die Anzahl an Einweginstrumenten des Typs i , die an Tag t für den Eingriffstyp e bereitgestellt werden. Bildet man die Summe über alle Eingriffstypen, so erhält man die Anzahl an Einweginstrumenten des Typs i , die an Tag t für alle Eingriffstypen e zusammen bereitgestellt werden. Diese Anzahl wird mit der Variablen EBT_{it} bezeichnet.

Wie in Nebenbedingung 1) fungiert das Ungleichzeichen als Gleichheitszeichen. Die Gleichheit wird durch mittelbare Minimierung seitens des Modells herbeigeführt, weil EBT_{it} als Komponente der Zielfunktion eine unmittelbare Kostenwirkung hat und deshalb so klein wie möglich gehalten wird.

4) Bestimmung der Siebbereitstellungen

$$\sum_{e \in E} Z_{es} \cdot P_{et} \leq SB_{st} \quad \forall s \in S, t \in T.$$

Zweck dieser Nebenbedingung ist die Bestimmung der Anzahl an Sieben des Siebtyps s , die an Tag t bereitgestellt werden. Sie wird für die Bestimmung der Kostentreibermenge der maschinellen Aufbereitungskosten sowie zur Bestimmung des Siebbestands in Nebenbedingung 6) herangezogen. Beides hat Einfluss auf die Einweg-Mehrweg-Entscheidung, da die dazugehörigen Kosten nur für Mehrweginstrumente anfallen.

Die Nebenbedingung ist nach dem gleichen Schema aufgebaut wie Nebenbedingung 3). Dazu wird auf der linken Seite der Ungleichung die Variable EB_{ie} durch die Binärvariable Z_{es} ersetzt und die Nebenbedingung für alle Siebtypen und Tage statt Instrumententypen und Tage definiert. Somit wird auf der linken Seite die Binärvariable Z_{es} (1, wenn Siebtyp s für den Eingriffstyp e bereitgestellt wird, sonst 0) mit dem Parameter P_{et} (Anzahl Eingriffe des Eingriffstyp e an Tag t gemäß OP-Plan) multipliziert und das Produkt über alle Eingriffstypen aufsummiert. Auf der anderen Seite des Kleingleichzeichens steht die Variable SB_{st} (Anzahl Siebe des Siebtyps s , die an Tag t bereitgestellt werden).

Für Z_{es} mit dem Wert Eins, wird der Siebtyp s für den Eingriffstyp e bereitgestellt. Für Z_{es} mit dem Wert Null wird der Siebtyp s nicht für den Eingriff e bereitgestellt. Das Produkt aus der Variablen Z_{es} und dem Parameter P_{et} ist die Anzahl an Eingriffen des Typs e , für die der Siebtyp s an Tag t bereitgestellt wird. Die Aufsummierung über alle Eingriffstypen ergibt die Anzahl an Exemplaren des Siebtyps s , die an Tag t bereitgestellt werden. Auf der rechten Seite ist diese Anzahl durch die Variable SB_{st} ausgedrückt. Das Ungleichzeichen ist also wie in Nebenbedingung 3) als Gleichheitszeichen aufzufassen. Die Gleichheit wird durch das Modell mittelbar herbeigeführt, da SB_{st} in der Zielfunktion minimiert wird.

5) Bestimmung der Mehrwegbereitstellungen

$$\sum_{s \in S} \sum_{t \in T} G_{is} \cdot SB_{st} \leq MBG_i \quad \forall i \in I.$$

Diese Nebenbedingung bestimmt die Anzahl an Mehrweginstrumenten, die in Sieben bereitgestellt werden. Sie wird als Kostentreiber zur Berechnung der Aufbereitungs- und Abnutzungskosten herangezogen.

Sie kann nicht auf Basis der Variablen MB_{ie} berechnet werden, weil die Variable MB_{ie} nicht die Anzahl der tatsächlich bereitgestellten Mehrweginstrumente abbildet, sondern nur die Anzahl derjenigen, die zur Deckung des Bedarfs des jeweiligen Eingriffs notwendig ist. Jedoch müssen

alle Instrumente, die in einem Sieb sind, das für einen Eingriff bereitgestellt wird, unabhängig von ihrer tatsächlichen Verwendung aufbereitet werden und verursachen dabei Aufbereitungs- und Abnutzungskosten.

Die Nebenbedingung setzt sich zusammen aus einem Produkt, das über die Indizes s und t aufsummiert wird, auf der linken Seite und einer Variablen auf der rechten Seite, getrennt durch ein Kleingleichzeichen. Multipliziert werden der Parameter G_{is} (Anzahl Instrumente des Typs i , die in Siebtyp s enthalten sind) und die Variable SB_{st} (Anzahl Exemplare des Siebtyps s , die an Tag t bereitgestellt werden). Das Produkt ist die Anzahl an Mehrweginstrumenten eines Instrumententyps i , die am Tag t im Siebtyp s zur Verfügung gestellt werden. Summiert man die Anzahl für alle Siebtypen und alle Tage auf, so erhält man die Anzahl Mehrweginstrumente eines Instrumententyps i , die für alle Eingriffe an allen Tagen in allen Sieben zur Verfügung gestellt werden. Auf der anderen Seite des Kleingleichzeichens ist die Variable zu finden, die diese Anzahl bezeichnet: MBG_i (Anzahl Mehrweginstrumente des Typs i , die insgesamt bereitgestellt werden). Das Rechenzeichen fungiert in dieser Nebenbedingung als Gleichzeichen, da die Variable MBG_i auf der rechten Seite als Zielfunktionsvariable so klein wie möglich gewählt wird.

6) Bestimmung des Siebbestands

$$SV_s \geq SB_{st} \quad \forall s \in S, t \in T$$

Die Nebenbedingung bestimmt, wie viele Exemplare jedes Siebtyps im Bestand vorzuhalten sind. Der Siebbestand ist für die Berechnung der Lagerkosten und die Modellierung der Lagerrestriktion notwendig. Außerdem setzt die Nebenbedingung das Qualitätsziel *Rechtzeitigkeit* in Form der Annahme der Aufbereitungsdauer von einem Tag um. Die Höhe des Siebbestands ist so zu bestimmen, dass für jeden einzelnen Tag ausreichend Siebe vorhanden sind. Es gilt dabei die Prämisse, dass jedes Sieb nur ein Mal am Tag benutzt werden kann. Der Bestand je Siebtyp ist dann ausreichend, wenn die Anzahl Siebexemplare eines Siebtyps der maximalen Anzahl an Siebnutzungen dieses Siebtyps aus allen Tagen entspricht. Die Nebenbedingung schreibt vor, dass für jeden Siebtyp s gelten muss, dass SV_s (Anzahl an Siebexemplaren des Siebtyps s im Bestand) größer oder gleich SB_{st} (Anzahl Siebe des Siebtyps s , die an Tag T bereitgestellt werden) ist. Das Ungleichzeichen ist hierbei als Gleichheitszeichen zu verstehen, denn die Variable SV_s ist Teil der Zielfunktion und wird entsprechend minimiert. SV_s wird zur Erfüllung der Nebenbedingung den Wert der jeweils größten Anzahl Siebbereitstellungen eines Siebtyps aus allen Tagen annehmen.

Die Nebenbedingung könnte auch als Maximumfunktion formuliert sein, was vermutlich intuitiver erscheint. SV_s würde dann als größtes SB_{st} aus allen Tagen gewählt werden. Eine solche Nebenbedingung hätte jedoch zur Folge, dass das Modell nicht mehr linear ist und wird deshalb nicht umgesetzt.

7) Bestimmung des Mehrwegbestands

$$\sum_{s \in S} G_{is} \cdot SV_s \leq MV_i \quad \forall i \in I.$$

Diese Nebenbedingung dient der Bestimmung der Anzahl und Art der Mehrweginstrumente, die im Bestand des Krankenhauses benötigt werden, um die vom Modell vorgeschlagenen Siebgruppierungen vorzunehmen. Sie ist Kostentreiber für die Berechnung der Kapitalkosten in der Zielfunktion. Zudem sind die Kapitalkosten für die Einweg-Mehrweg-Entscheidung von Bedeutung, da sie nur für Mehrweginstrumente anfallen.

Die Nebenbedingung besteht auf der linken Seite aus dem Produkt aus G_{is} (Anzahl Mehrweginstrumente des Typs i , die in Siebtyp s enthalten ist) und SV_s (Anzahl Exemplare des Siebtyps s im Bestand). Es wird über alle Siebtypen s aufsummiert. Als Produkt aus G_{is} und SV_s erhält man die Anzahl an Instrumenten des Typs i , die im Siebtyp s enthalten sind. Durch Addition über alle Siebtypen s erhält man die Anzahl an Instrumenten des Typs i , die insgesamt im Bestand sind. Sie wird bezeichnet mit der Variablen MV_i (Anzahl Mehrweginstrumente des Typs i im Bestand) und steht auf der rechten Seite. Das Rechenzeichen fungiert als Gleichheitszeichen, da MV_i als Teil der Zielfunktion auf den Wert der linken Seite minimiert wird. Der Wert auf der rechten Seite entspricht deshalb dem Ergebnis des Rechenausdrucks auf der linken Seite.

8) Siebinhaltsbegrenzung

$$\sum_{i \in I} G_{is} \leq SK \quad \forall s \in S$$

Mit dieser Nebenbedingung sollen überladene Siebe verhindert werden. Sie gelten als Risikofaktor für die Qualitätsziele Sauberkeit und Funktionsfähigkeit. Eine Obergrenze für die Anzahl der Instrumente pro Sieb soll diesen Risikofaktor ausschließen.

Auf der linken Seite der Nebenbedingung findet sich die Summe über alle G_{is} (Anzahl Mehrweginstrumente des Typs i , die in Siebtyp s enthalten ist). Diese Summe darf jeweils höchstens so groß sein wie die Konstante SK (Obergrenze für die Anzahl Instrumente in einem Sieb in Anzahl Instrumenten), die auf der rechten Seite des Kleingleichzeichens zu finden ist. Wie

in 7.1.4 beschrieben wird diese Bedingung bereits bei der Bestimmung der G_{is} berücksichtigt, indem die durch den Algorithmus generierten Siebtypen die Obergrenze einhalten. Dem Modell werden also nur G_{is} vorgegeben, die die Nebenbedingung erfüllen. Der Vollständigkeit halber sowie für etwaige Weiterentwicklungen des Modells oder des Algorithmus wird diese Bedingung trotzdem im Modell und aufgeführt.

9) Maschinenrestriktion

$$\sum_{i \in I} \sum_{s \in S} SB_{st} \cdot G_{is} \leq MK \quad \forall t \in T.$$

Die Nebenbedingungen 8) und 9) stellen Restriktionen in Form von Ressourcenbeschränkungen dar. Sie schreiben vor, dass die Beanspruchung der Ressource die begrenzte Kapazität der Ressource nicht überschreiten darf. In Nebenbedingung 8) wird eine Restriktion für die Desinfektions- und Sterilisationsmaschinen formuliert und in Nebenbedingung 9) für die Lagerfläche.

Nebenbedingung 8) begrenzt die Anzahl bereitgestellter Siebe auf die Kapazität der Desinfektions- und Sterilisationsmaschinen. Auf der linken Seite der Ungleichung steht ein Summenzeichen und die Variable SB_{st} (Anzahl der bereitgestellten Siebe des Typs s an Tag t). Die Nebenbedingung gilt für jeden Tag t . Wird SB_{st} über alle Siebtypen aufsummiert, erhält man die Anzahl an Sieben, die pro Tag insgesamt bereitgestellt werden und infolgedessen mit den Desinfektions- und Sterilisationsmaschinen aufbereitet werden müssen. Auf der rechten Seite steht die Konstante MK (Maschinenkapazität in Anzahl Sieben). Das Kleingleichzeichen legt fest, dass die Kapazität nicht überschritten werden kann.

10) Lagerrestriktion

$$\sum_{s \in S} SV_s \leq LK.$$

Die Nebenbedingung modelliert die zweite Ressourcenbeschränkung aus Tabelle 18: eine begrenzte Lagerfläche. Die Anzahl an Sieben im Bestand, darf die zur Verfügung stehende Lagerkapazität nicht überschreiten. Die Lagerkapazität wird in Sieben vorgegeben.

Auf der linken Seite des Kleingleichzeichens wird die Variable SV_s (Anzahl Siebe des Siebtyps s , die im Bestand vorhanden sind) über alle Siebtypen s aufsummiert. Die Summe aller Siebtypen stellt die gesamte Anzahl Siebe im Bestand dar. Dieser Wert muss kleiner sein als der Wert der Konstanten LK (Lagerkapazität in Anzahl Sieben).

11) Nichtnegativitätsbedingung

$$EB_{ie}, EBT_{it}, MB_{ie}, MBG_i, MV_i, SB_{st}, SV_s \geq 0 \quad \forall i \in I, e \in E, \forall s \in S, t \in T.$$

Die Nebenbedingung modelliert die Nichtnegativitätsbedingung. Sie verhindert, dass das Modell mathematisch korrekt gelöst wird, aber dabei in der Realität nicht mögliche, da negative, Größen bestimmt werden. Das Modell würde ohne die Nichtnegativitätsbedingung negative Werte anstreben, um die Zielfunktion, in der die Variablen enthalten sind oder in die sie mittelbar einfließen, zu minimieren. Negative Anzahlen sind jedoch unrealistisch und müssen deshalb verboten werden. Die Nebenbedingung legt deshalb für die Variablen EB_{ie} (Anzahl Einweginstrumente des Typ i , die Eingriffstyp e bereitgestellt werden), EBT_{it} (Anzahl Einweginstrumente des Typ i , die an Tag t bereitgestellt werden), MB_{ie} (Anzahl der Mehrweginstrumente des Typs i , die dem Eingriffstyp e bereitgestellt werden und zu dessen Bedarfsdeckung dienen), MBG_i (Anzahl Mehrweginstrumente des Typ i , die insgesamt bereitgestellt werden), MV_i (Anzahl Mehrweginstrumente des Typ i , die im Bestand sind), SB_{st} (Anzahl Siebe des Siebtyps s , die an Tag t bereitgestellt werden), SV_s (Anzahl Siebexemplare des Siebtyps s , die im Bestand sind) fest, dass die Variablen keine Werte kleiner als 0 annehmen dürfen.

12) Binärvariable

$$Z_{es} \in \{0,1\} \quad \forall e \in E, \forall s \in S.$$

Die Nebenbedingung definiert die Variable Z_{es} als Binärvariable. Dazu wird ihr Wertebereich auf lediglich zwei Möglichkeiten beschränkt. Z_{es} kann ausschließlich die Werte 1 oder 0 annehmen. Diese Eigenschaft dient der mathematischen Modellierung. Die Nebenbedingung drückt das folgendermaßen aus: Z_{es} kann nur Werte annehmen, die ein Element der Menge rechts des Elementzeichens ist. Diese Menge enthält nur die Elemente 1 und 0.

Der Vollständigkeit halber soll erwähnt werden, dass keine Nebenbedingung zur Sicherstellung der Ganzzahligkeit notwendig ist.⁵³⁸ Theoretisch wäre sie notwendig, um auszuschließen, dass beispielsweise Instrumente nur zu bestimmten Anteilen in Siebe eingeordnet werden oder Eingriffe gestückelt werden. Praktisch ist die Ganzzahligkeit aber durch die mathematischen Eigenschaften des Modells gegeben und macht eine entsprechende Nebenbedingung überflüssig.⁵³⁹ Vereinfacht kann dies so erklärt werden, dass wenn die Problemstellung ausschließlich ganzzahlige Inputs hat, auch die Lösung ganzzahlig sein wird.

⁵³⁸ Vgl. Nickel et al. (2014), S. 104.

⁵³⁹ Vgl. Nickel et al. (2014), S. 104-107.

7.5 Klassifizierung und Lösungsverfahren

In diesem Kapitel werden das EMSOP und das Modell dazu, wie es in 7.2 konzipiert ist, nach unterschiedlichen Gesichtspunkten klassifiziert. Außerdem werden Lösungsverfahren für Optimierungsprobleme vorgestellt und ihre Anwendbarkeit in Abhängigkeit von den zuvor vorgenommenen Klassifizierungen dargestellt.

Das zum EMSOP entworfene Modell ist der Klasse der gemischt ganzzahligen mathematischen Optimierungsprobleme zuzuordnen. Gemischt ganzzahlige Optimierungsprobleme sind eine Form des linearen Optimierungsproblems, das wiederum ein Spezialfall des mathematischen Optimierungsproblems ist, das dadurch gekennzeichnet ist, dass sowohl die Zielfunktion als auch die Nebenbedingungen durch lineare Funktionen dargestellt werden⁵⁴⁰. Gemischt ganzzahlige Optimierungsprobleme benutzen weder ausschließlich kontinuierlich noch ausschließlich ganzzahlige Variablen, sondern beides. Das Modell zum EMSOP benutzt kontinuierliche Variablen für die Entscheidungsvariablen und eine ganzzahlige Variable in Form der Binärvariablen. Deshalb wird es als gemischt ganzzahliges Optimierungsproblem klassifiziert.

Eine weitere Einordnung des EMSOPs kann in die Klasse der kombinatorischen Optimierungsprobleme erfolgen. Diese Klasse von Optimierungsproblemen ist dadurch charakterisiert, dass die Lösung sich als Kombination aus Teilmengen des Inputs ergibt.⁵⁴¹ In kombinatorischen Optimierungsproblemen wird sozusagen das Ziel verfolgt, die Elemente des Inputs optimal zu kombinieren. Das EMSOP kann als kombinatorisches Optimierungsproblem klassifiziert werden, weil mit der Vorgabe der Siebtypen und dem Parameter G_{is} , wie sie in Kapitel 7.1.4 beschrieben wurde, eine Inputmenge vorgegeben wird, aus der die optimale Kombination von Instrumenten und Instrumentengruppierungen ausgewählt wird. Auch das Sieboptimierungsproblem ist ein kombinatorisches Optimierungsproblem.⁵⁴² Kombinatorische Optimierungsprobleme können auch als besondere Form des (gemischt) ganzzahligen Optimierungsproblems betrachtet werden.

Im nächsten Abschnitt werden allgemeine Verfahren zur Lösung von Optimierungsproblemen vorgestellt. Der mathematischen Optimierung stehen grundsätzlich drei Typen von Lösungsverfahren zur Verfügung: optimale oder exakte Verfahren, Approximationsverfahren

⁵⁴⁰ Vgl. auch im Weiteren Briskorn (2020), S. 44.

⁵⁴¹ Vgl. auch im Weiteren Briskorn (2020), S. 176.

⁵⁴² Vgl. Dobson (2015), S. 226.

und heuristische Verfahren.⁵⁴³ Sie unterscheiden sich hinsichtlich Lösungsqualität und Rechenaufwand. Dies ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

| Variable | Lösungsqualität | Rechenaufwand |
|-------------------------|---|--|
| exakte Verfahren | optimale Lösung für jede Problem Instanz garantiert | in der Regel relativ viel Aufwand |
| Approximationsverfahren | potenziell suboptimale Lösung, die bestimmtes Verhältnis zur optimalen Lösung garantiert | insbesondere bei großen Instanzen und Problemen relativ viel Aufwand |
| Heuristik | Lösung potenziell beliebig schlecht, da keine Gütegarantie. Aber in der Regel sehr gute oder sogar optimale Lösungen. | geringster Aufwand |

Tab. 23: Typen von Lösungsverfahren der mathematischen Optimierung.⁵⁴⁴

In der ersten Zeile sind die exakten Verfahren zu finden. Sie garantieren eine optimale Lösung, aber die Lösung geht mit einem relativ hohen Rechenaufwand einher. In der dritten Zeile sind heuristische Verfahren zu finden. Bei der Verwendung von Heuristiken gibt es keine Optimalitätsgarantie. Die Lösungen können deshalb auch beliebig weit von der optimalen Lösung abweichen. Der Rechenaufwand ist vergleichsweise gering, weshalb hier auch Probleme mit hohem Rechenbedarf in akzeptabler Zeit gelöst werden können. Die Approximationsverfahren, die in der zweiten Zeile zu finden sind, kann man betrachten als Heuristiken, für die die Abweichung von der optimalen Lösung beschränkt ist. Sie lösen wie die Heuristiken nicht garantiert optimal, sie garantieren aber zumindest, dass die Lösungen innerhalb eines bestimmten Korridors um die optimale Lösung liegt. Ihr Rechenaufwand ist geringer als der von exakten Verfahren aber aufgrund des Einbezugs der optimalen Lösung dennoch deutlich höher als bei den Heuristiken ohne Approximation.

Wenn möglich, sind exakte Verfahren natürlich aufgrund der Optimalitätsgarantie die erste Wahl.⁵⁴⁵ Jedoch können die Größe der Instanz, die Modellklasse und die Komplexität des Problems die Anwendung eines exakten Verfahrens verhindern. Denn bei großen Problem Instanzen, nicht kontinuierlich linearen Modellen und komplexen Problemen, geraten exakte und auch Approximationsverfahren aufgrund des hohen Rechenaufwands an ihre Grenzen.⁵⁴⁶ Dann ist auf Heuristiken auszuweichen.

Die drei Kontraindikationen für exakte Verfahren, die Größe der Instanz, die Modellklasse und die Komplexität des Problems, sollen im Folgenden hinsichtlich des EMSOPs untersucht

⁵⁴³ Vgl. auch im Weiteren Briskorn (2020), S. 10-11.

⁵⁴⁴ Eigene Darstellung.

⁵⁴⁵ Vgl. Briskorn (2020), S. 10-11.

⁵⁴⁶ Vgl. Nickel et al. (2014), S. 189.

werden. Die Größe der Instanz hängt davon ab, worauf das EMSOP angewendet wird, deshalb kann an dieser Stelle noch keine Aussage dazu gemacht werden. Die Modellklasse des EMSOP ist im vorherigen Abschnitt bestimmt worden. Es wurde als gemischt-ganzzahliges kombinatorisches Optimierungsproblem klassifiziert. Gemischt-ganzzahlige und ganzzahlige Probleme sind wesentlich aufwendiger zu lösen als kontinuierlich lineare Probleme. Als exakte Verfahren stehen beispielsweise das Branch & Bound-Verfahren und das Schnittebenenverfahren zur Verfügung.⁵⁴⁷ Beide Verfahren bedeuten im Vergleich zum Simplex-Algorithmus, dem exakten Standardverfahren für lineare Optimierungsprobleme, deutlich mehr Rechenaufwand. Für größere Probleminstanzen sind deshalb Heuristiken zu empfehlen.⁵⁴⁸ Die dritte Kontraindikation ist die Komplexität des Problems. Optimierungsprobleme lassen sich anhand des Rechenaufwands in die Komplexitätsklassen P , NP und NP -vollständig einteilen.⁵⁴⁹ Ein Optimierungsproblem der Klasse P ist mit einem polynomialen Algorithmus lösbar und kann deshalb als wenig komplex bezeichnet werden. Die Komplexitätsklasse NP umfasst Optimierungsprobleme nicht polynomial lösbare Entscheidungsprobleme. Das heißt der Rechenaufwand dieser Optimierungsprobleme wächst sehr schnell, weswegen für sie kein effizienter Lösungsalgorithmus existiert. Die schwersten Probleme der Klasse NP werden der Klasse NP -vollständig zugeordnet und als NP -schwer bezeichnet. Das EMSOP ist als NP -schweres Optimierungsproblem zu klassifizieren. Die Einordnung erfolgt auf Basis der Annahme, dass das EMSOP hinsichtlich der Komplexität mindestens dem Sieboptimierungsproblem entspricht. Für das Sieboptimierungsproblem als ein Teilproblem des EMSOP wurde die NP -Schwere von van de Klundert ausführlich nachgewiesen und von Reymondon ebenfalls festgestellt.⁵⁵⁰ Aus dieser Komplexitätsklassifizierung des EMSOPs folgt, dass exakte Verfahren nur für kleine Instanzen anwendbar sind und für größere Instanzen Heuristiken zu verwenden sind.

Zusammenfassend kann also zu den möglichen Lösungsverfahren für das EMSOP und seine mathematische Modellierung konstatiert werden, dass sowohl aufgrund der Klassifizierung als kombinatorisches gemischt-ganzzahliges Optimierungsproblem als auch aufgrund der Klassifizierung als NP -schwer nur für kleinere Instanzen exakte Verfahren Anwendung finden können und für größere Instanzen heuristische Verfahren verwendet werden müssen.

⁵⁴⁷ Vgl. auch im Weiteren Nickel et al. (2014), S. 15 und 174.

⁵⁴⁸ Vgl. Briskorn (2020), S. 11; Nickel et al. (2014), S. 192.

⁵⁴⁹ Vgl. auch im Weiteren Nickel et al. (2014), S. 190.

⁵⁵⁰ Vgl. van de Klundert (2008), S. 32-33; Reymondon et al. (2008), S. 330-331.

8 Fallstudie zur Umsetzung und Vorteilhaftigkeit des EMSOPs

In diesem Kapitel soll anhand eines Fallbeispiels zum einen die Anwendung des EMSOP erprobt und zum anderen die Vorteilhaftigkeit der simultanen Optimierung, die durch das EMSOP stattfindet, gegenüber der sukzessiven Lösung der Teilprobleme gezeigt werden. In Kapitel 5 wurde das zusätzliche Optimierungspotential der simultanen Optimierung gegenüber sukzessiven Vorgehensweisen theoretisch begründet. In diesem Kapitel soll diese zusätzliche Optimierungspotential anhand eines Fallbeispiels sichtbar werden. Im ersten Teilkapitel werden das Untersuchungsdesign und die Vorgehensweise der Fallstudie beschrieben. Im zweiten Teilkapitel werden die Inputdaten erarbeitet. Im dritten Teilkapitel werden die Durchführung und die Ergebnisse für die beiden Vergleichsfälle dargestellt und im vierten Teilkapitel werden die Ergebnisse diskutiert.

8.1 Untersuchungsdesign und Vorgehensweise

Die formale Abbildung des EMSOPs durch das mathematische Modell in Kapitel 7.2 wurde im Vorfeld mit Hilfe umfangreichen Testungen auf seine mathematische Korrektheit geprüft. In diesem Kapitel soll es auf ein Fallbeispiel angewendet werden, um seine praktische Anwendbarkeit zu untersuchen. Ziel ist es zum einen die Umsetzung Modells darzustellen. Zum anderen soll eine deskriptive Analyse der Ergebnisse sowie ein Vergleich mit einem nicht-simultanen Lösungsansatz vorgenommen werden. Das Modell findet Anwendung auf ein Fallbeispiel, das einen Ausschnitt eines realen Problems abbildet. Das reale Problem wird auf das Fallbeispiel reduziert, weil aufgrund der in 7.1.4 beschriebenen schnell wachsenden Problemgröße, ein reales Problem zu groß wäre, um es trotz leistungsfähiger Rechner in akzeptabler Zeit optimal zu lösen. Für die hier vorgesehenen Zwecke stellt die Betrachtung einer kleineren Instanz jedoch keine Einschränkung dar und der Nutzen des EMSOPs kann vom Fallbeispiel ausgehend auf größere Instanzen skaliert werden.

Die Fallstudie untersucht den Nutzen der simultanen Optimierung der Einweg-Mehrweg-Entscheidung und der Siebgruppierungsentscheidung, die das EMSOP ermöglicht. Dazu werden die Ergebnisse des EMSOP den Ergebnissen bei nicht simultaner Entscheidung gegenübergestellt. Das Fallbeispiel wird zu diesem Zweck mit zwei unterschiedlichen Lösungsansätzen bearbeitet. Der erste Lösungsansatz ist, es als EMSOP zu lösen, der zweite Lösungsansatz besteht darin, zunächst die Einweg-Mehrweg-Entscheidung zu treffen und im Anschluss eine Sieboptimierung durchzuführen. Der zweite Ansatz dient als Vergleichsfall zur Beurteilung des EMSOPs. Er ist als sukzessiver Ansatz einzuordnen, da die Ergebnisse der ersten Entscheidung für die zweite Entscheidung benutzt werden. Zuerst wird die Einweg-

Mehrweg-Entscheidung getroffen und danach eine Sieboptimierung für diejenigen Instrumente durchgeführt, die gemäß den Ergebnissen der Einweg-Mehrweg-Entscheidung in Form eines Mehrweginstruments bereitgestellt werden sollen.

Die Vorgehensweise des ersten Lösungsansatzes ergibt sich aus Kapitel 7. Die Vorgehensweise des zweiten Lösungsansatzes kann in fünf Teilschritte unterteilt werden, wobei die ersten vier Teilschritte dem Teilproblem der Einweg-Mehrweg-Entscheidung dienen, und der fünfte Schritt dem Teilproblem der Sieboptimierung:

1. Zuordnung von einem Siebtyp pro Eingriffstyp
2. Kosten der Mehrwegbereitstellung berechnen
3. Einweg-Mehrweg-Entscheidung treffen
4. Instrumentenbedarf an Mehrweginstrumenten vorgeben
5. Sieboptimierung durchführen

Die Einweg-Mehrweg-Entscheidung wird anhand der Kosten getroffen. Für jeden Instrumentenbedarf werden die Kosten, die bei der Bereitstellung in Form eines Einweginstruments anfallen, mit den Kosten, die bei der Bereitstellung in Form eines Mehrweginstruments anfallen, verglichen und diejenige Nutzungsform gewählt, die die geringeren Kosten aufweist. Die Einweg-Mehrweg-Entscheidung wird für jeden einzelnen Instrumentenbedarf und nicht für einen Instrumententyp insgesamt getroffen, weil der gleiche Instrumententyp in unterschiedlichen Siebkonstellationen unterschiedlich hohe Kosten verursacht. Je nachdem, von wie vielen Sieben der Bedarf eines Eingriffstyps gedeckt wird und wie viele andere Instrumente in dem für den Eingriffstyp vorgesehenen Siebtypen enthalten sind, resultieren für den gleichen Instrumententyp in unterschiedlichen Eingriffstypen unterschiedlich hohe Kosten. Die Einweg-Mehrweg-Entscheidung wird also für eine Instrumententyp-Eingriffstyp-Kombination getroffen. Daraus folgt auch, dass ein bestimmter Instrumententyp in einem Eingriffstyp als Einweginstrument und in einem anderen Eingriffstyp als Mehrweginstrument bereitgestellt werden kann.

Als Kalkulationsobjekt für die Kosten einer Instrumententyp-Eingriffstyp-Kombination bietet sich „eine Bereitstellung“ an. Sie wird gewählt, weil für die Bereitstellung von Einweginstrumenten lediglich eine Kostenkategorie, nämlich die Kosten der Beschaffung und Entsorgung eines Einweginstruments des Typs i (ken_i), herangezogen wird und diese bereits auf eine Bereitstellung bezogen ist. Es ist also für die Kosten der Einweginstrumente keine weitere Kalkulation notwendig. Die Kosten für die Bereitstellung von Mehrweginstrumenten hingegen setzen sich zusammen aus mehreren Kostenkategorien mit unterschiedlichen Kostentreibern. Deshalb müssen zum Zweck des Kostenvergleichs die Kosten, die nicht von

vornherein pro Bereitstellung definiert sind, verteilt und auf das Kalkulationsobjekt *eine Bereitstellung* verrechnet werden.

- Im Folgenden wird die Berechnung der Kosten einer Bereitstellung eines Mehrweginstruments für eine Instrumententyp-Eingriffstyp-Kombination beschrieben. In Anlehnung an die im EMSOP-Modell enthaltenen Kostenkategorien, werden in der isolierten Einweg-Mehrweg-Entscheidung berücksichtigt:
- die Kosten der Aufbereitung und Abnutzung (fallen je Bereitstellung des Instrumententyps i an und werden mit k_{mn_i} berechnet),
- die Kapitalkosten (fallen je Instrumententyp i im Bestand an und werden mit kk_i berechnet),
- die Kosten der Siebnutzung (fallen je Siebbereitstellung an und werden mit ks berechnet),
- die perioperativen Kosten (fallen je Instrumentenbereitstellung an und werden mit ko berechnet) und
- die Kosten der Lagerung eines Siebs (fallen je Sieb im Bestand an und werden mit kl berechnet).

Die Kosten der Aufbereitung und Abnutzung eines Mehrweginstruments sind bereits auf eine Bereitstellung bezogen und bedürfen keiner Verrechnung, ebenso wenig die perioperativen Kosten. Die Kosten der Siebnutzung können relativ einfach auf die im Sieb enthaltenen Instrumente verrechnet werden, wenn man die Annahme zugrunde legt, dass diese Gemeinkosten gleichermaßen auf alle enthaltenen Instrumente verteilt werden. Die Kapitalkosten beziehen sich auf die Instrumente im Bestand. Zur Verrechnung auf eine Bereitstellung werden die gesamten Kapitalkosten jedes Instrumententyps auf alle Bereitstellungen dieses Instrumententyps verteilt. Diese Vereinfachung ist notwendig, weil die Betrachtung auf Typenebene, die in Kapitel 6 eingeführt wurde, keine Verfolgung der Nutzungshäufigkeit einzelner Instrumente erlaubt. Die Lagerungskosten werden mit dem Parameter kl berechnet, der sich auf die Anzahl an Sieben im Bestand bezieht. Zur Verrechnung auf ein bereitgestelltes Instrument, werden sie zunächst auf eine Siebnutzung verrechnet und dann auf alle enthaltenen bereitgestellten Instrumente.

Zu beachten ist, dass als Kalkulationsobjekt nicht jedes bereitgestellte Instrument in Frage kommt, sondern nur diejenigen Instrumente, deren Bereitstellung in der betrachteten Instrumententyp-Eingriffstyp-Kombination einen Instrumentenbedarf erfüllen. Instrumente, die im Fall eines Nutzungsgrads unter 100 % bereitgestellt, aber nicht benötigt werden, verursachen Kosten, die wiederum zusammen mit den Kosten der Siebnutzung verrechnet

werden müssen. Es handelt sich um die Kosten der Aufbereitung und Abnutzung sowie die perioperativen Kosten von bereitgestellten, aber keinem Instrumentenbedarf dienenden Instrumenten. Sie werden auf alle im Sieb enthaltenen und einem Instrumentenbedarf dienenden Instrumente gleichermaßen verteilt.

Aus der Beschreibung zur Berechnung der Kosten wird ersichtlich, dass die Gruppierung der Instrumente in Siebe einen wesentlichen Einfluss hat. Da die Sieboptimierung jedoch im Fall des sukzessiven Lösungsansatzes erst im zweiten Schritt stattfindet und deshalb höchstwahrscheinlich bei der Berechnung der Kosten keine optimalen Siebgruppierungen vorliegen, müssen die Kosten der Mehrwegnutzung auf Basis einer Annahme über die Siebgruppierung getroffen werden. Es wird angenommen, dass für jeden Eingriffstyp ein Siebtyp vorgesehen ist, der den gesamten Bedarf an Instrumenten in Form von Mehrweginstrumenten enthält. Auf Basis dieser Siebgruppierungen werden die Kosten der Nutzung für jede Mehrweginstrumentenbereitstellung nach der oben beschriebenen Berechnungsweise bestimmt.

Sind die Kosten der Mehrwegbereitstellung für jede Instrumententyp-Eingriffstyp-Kombination bestimmt, werden sie den Kosten der Bereitstellung des substituierbaren Einweginstruments gegenübergestellt. Der erste Schritt des sukzessiven Ansatzes endet mit der Festlegung der jeweils kostengünstigeren Nutzungsform für jede Instrumententyp-Eingriffstyp-Kombination.

Nach dem ersten Teil der Einweg-Mehrweg-Entscheidung steht fest, welche Instrumentenbedarfe in Form von Mehrweginstrumenten bedient werden. Aus diesen Mehrwegbedarfen wird ein fiktiver Instrumentenbedarf (MW_Nie) generiert. Er ist der Input für die Sieboptimierung, die den zweiten Teil des sukzessiven Ansatzes darstellt. Die Sieboptimierung wird mit Hilfe des Modells zum EMSOP aus Kapitel 7.2 durchgeführt. Es muss dazu jedoch so modifiziert werden, dass es ausschließlich Mehrweginstrumente zur Bedarfsdeckung zulässt. Dies gelingt, indem die Kosten der Einwegnutzung prohibitiv hoch vorgegeben werden. Das Modell wird in der Optimierungssoftware GAMS implementiert und mit CPLEX, einem Solver für die mathematische Programmierung, gelöst.

8.2 Input-Daten

Die Inputdaten werden aus anonym zur Verfügung gestellten originalen Praxisdaten der Frauenklinik des Klinikums Stuttgart und aus der Literatur gewonnen. Die Praxisdaten liegen in Form von Instrumentenlisten für ausgewählte häufige Eingriffe der Frauenklinik vor. Ein

beispielhafter Ausschnitt ist in Abbildung 19 gezeigt. In Anhang 1 ist eine vollständige Instrumentenliste zu finden und in Anhang 2 ein Beispiel für die zur Verfügung gestellten Rohdaten.

| | Soll | Artikelnr. | Bezeichnung in Kurzform |
|----|------|------------|--|
| 1 | 1 | JK442 | Containerwanne 1/1 Höhe 130mm (AESCULAP) |
| 2 | 1 | JK489 | Containerdeckel 1/1 silber (AESCULAP) |
| 3 | | | - |
| 4 | | | Siebkorb unten |
| 5 | 1 | JH212R | Siebkorb große Perforation 1/1 Höhe 50mm (AESCULAP) |
| 6 | | | - |
| 7 | | | Von rechts oben nach unten |
| 8 | 1 | EL702R | Scheidenspekula, 180x40mm, nach BREISKY (AESCULAP) |
| 9 | 1 | EL695R | Scheidenspekulum n. Breisky, 130 x 30 mm (AESCULAP) |
| 10 | 1 | EL694R | Scheidenspekulum n. Breisky, 130 x 25 mm (AESCULAP) |
| 11 | 1 | EL693R | Scheidenspekulum n. Breisky, 130 x 20 mm (AESCULAP) |
| 12 | 1 | EL704R | Scheidenspekulum n. Breisky, 100 x 25 mm (AESCULAP) |
| 13 | | | - |
| 14 | 1 | EL746R | Griff allein z.m. Spekulum n. Scherback (AESCULAP) |
| 15 | 1 | EL747R | Gewicht allein z.m. Spekulum n. Scherback (AESCULAP) |
| 16 | | | - |
| 17 | | | Leicht ineinanderstecken |
| 18 | 2 | BD537R | Pinzette, chir., mittelbreit Standars 1 x 2 Zähne, 145 mm (AESCULAP) |
| 19 | 2 | BD561R | Pinzette, chir., 1 x 2 Zaehne, 200 mm (AESCULAP) |
| 20 | 2 | FR415R | Pinzette, atra., Maul 2, 8 mm breit, 200 mm (AESCULAP) |

Abb. 19: Ausschnitt einer Instrumentenliste.⁵⁵¹

Als Input für das EMSOP sowie für den sukzessiven Ansatz werden zunächst die Mengen der Eingriffstypen e , der Siebtypen s , der Instrumententypen i und der Tage t benötigt.

- Die Eingriffstypen e werden direkt aus den Praxisdaten gewonnen. Es wurden die Bedarfslisten der 10 häufigsten Eingriffe der Frauenklinik zur Verfügung gestellt. Es handelt sich um den Eingriff Sectio mit unterschiedlichem Instrumentenbedarf für ChirurgInnenteam A und B (*SectioA*, *SectioB*), um den Eingriff Vaginal mit unterschiedlichem Instrumentenbedarf für ChirurgInnenteam A und B (*VaginalA*, *VaginalB*), um die Abnabelung, um den Eingriff Abrasio, um den Eingriff LSKSem, um den Eingriff Konisation mit unterschiedlichem Instrumentenbedarf für ChirurgInnenteam A und B (*KonisationA*, *KonisationB*) sowie um den Eingriff EpiNaht mit unterschiedlichem Instrumentenbedarf für ChirurgInnenteam A und B (*EpiNahtA*, *EpiNahtB*).
- Die Siebtypen s werden mit Hilfe des in Kapitel 7.1.4 beschriebenen Algorithmus ermittelt. Da der Algorithmus auf dem Parameter N_{ie} basiert, wird die Ermittlung der Siebtypen im Anschluss an die Inputdaten für N_{ie} beschrieben.
- Die Instrumententypen i ergeben sich aus den zur Verfügung gestellten Bedarfslisten, die für jeden Eingriff den Bedarf an Instrumenten angeben. In Kapitel 7.1.4 wurde beschrieben, dass die Anzahl der durch den Algorithmus zur Bestimmung des

⁵⁵¹ Eigene Darstellung.

Parameters G_{is} generierten potentiellen Siebtypen mit der Anzahl an Instrumententypen exponentiell wächst. Aus diesem Grund beschränkt sich das Fallbeispiel auf 11 Instrumententypen. Die Beschränkung beeinträchtigt die Aussagekraft des Fallbeispiels nicht, da die wesentlichen Effekte auf praxisrelevante Größen skaliert werden können.

- Als Planungszeitraum wird eine Woche mit fünf Operationstagen angenommen. Die Menge der Tage t besteht demnach aus den Elementen 1 bis 5.

Des Weiteren müssen verschiedene Parameter vorgegeben werden.

- Der Kostensatz der Aufbereitung und Abnutzung eines Mehrweginstruments des Typs i (k_{mi}) wird aus der Studie von Stockert und Langerman übernommen.⁵⁵² Die Autoren geben eine Kostenspanne in Abhängigkeit von der Komplexität des aufzubereitenden Instruments an. Um den Kostenunterschieden aufgrund der unterschiedlichen Komplexität der Instrumente aus den Praxisdaten Rechnung zu tragen, werden fünf Komplexitätsklassen in Anlehnung an Kapitel 2.2 definiert. In Klasse 1 sind einfache Instrumente, die nicht in direkten Kontakt mit Gewebe kommen, z. B. Schalen oder Siebe. In Klasse 2 sind einteilige Instrumente, in Klasse 3 sind mehrteilige Instrumente mit maximal einem Gelenk oder Hohlraum und in Klasse 4 sind mehrteilige Instrumente mit mehreren Gelenken oder Hohlräumen. In Klasse 5 sind sehr komplexe elektronische Instrumente. Die bei Stockert und Langerman angegebene Kostenspanne wird mangels genauerer Verteilungsangaben linear zwischen den beiden Randwerten aufgeteilt. Es resultieren fünf Kostenkategorien mit 0,35, 0,39, 0,43, 0,47 und 0,51 Euro je Nutzung und Instrument.
- Der Kostensatz für die perioperativen Kosten eines Instruments (ko) wird in keiner Studie erhoben, weshalb zu deren Berechnung die Berechnungsweise für die Aufbereitungskosten nach Stockert und Langerman herangezogen wird. Es resultieren 0,30 Euro je Bereitstellung und Instrument.
- Der Kostensatz der Nutzung eines Siebs (ks) und der Kostensatz der Lagerung eines Siebs (kl) werden aus der Studie von Krohn et al. entnommen. Sie schätzen die Kosten der Bereitstellung eines Siebs mit Hilfe von Simulationen auf 3,24 Euro pro Siebbereitstellung und die Kosten der Lagerung auf 1,20 Euro je Sieb.⁵⁵³
- Der Kostensatz der Beschaffung und Entsorgung eines Einweginstruments des Typs i (ken_i) wird durch eine Internetrecherche gewonnen. Für die Instrumente in den Praxisdaten werden die Kosten von Einwegalternativen in den Online-Shops bekannter

⁵⁵² Vgl. auch im Weiteren Stocker/Langerman (2014), S. 653.

⁵⁵³ Vgl. auch im Weiteren Krohn et al. (2019), S. 12 und 16.

Anbieter für medizinischen Bedarf recherchiert. Es werden, wenn möglich, die Kosten jeweils fünf verschiedener Einwegalternativen oder Anbieter herangezogen und der Mittelwert als ken_i angesetzt.

- Dem Kostensatz der Kapitalkosten eines Mehrweginstruments des Typs i (kk_i) liegt die Annahme eines Kalkulationszinssatzes von 0,5 % zu Grunde.
- Die Lagerkapazität (LK) und die Maschinenkapazität (MK) werden für das Fallbeispiel als ausreichend groß angenommen, da nur ein kleiner Ausschnitt des Leistungsprogramms der Frauenklinik betrachtet wird.
- Die Anzahl nachgefragter Instrumente des Typs i für Eingriffstyp e (N_{ie}) ist in den Bedarfslisten der Frauenklinik angegeben.
- Die Anzahl Eingriffe des Eingriffstyp e an Tag t gemäß OP-Plan. (P_{et}) wird auf Basis einer Expertenaussage zu einem typischen Wochenplan der Frauenklinik erstellt.
- Die Anzahl Mehrweginstrumente des Typs i in Siebtyp s (G_{is}) wird für alle potentiellen Siebtypen unter Anwendung des Algorithmus aus Kapitel 7.1.4 generiert.

Die nachstehende Tabelle fasst die Input-Daten für die Daten des Fallbeispiels zusammen.

| Parameter | |
|-----------|---------------------------------|
| kmn_i | Stockert/Langerman |
| ken_i | Internetrecherche |
| kk_i | Kapitalkostensatz von 0,5 % |
| ks | Krohn et al. |
| ko | Stockert/Langerman |
| kl | Krohn et al. |
| N_{ie} | Praxisdaten Frauenklinik |
| P_{et} | Expertenbefragung |
| G_{is} | Algorithmus siehe Kapitel 7.1.4 |
| LK | ausreichend |
| MK | ausreichend |

Tab. 24: Quellen der Inputdaten.⁵⁵⁴

8.3 Durchführung und Ergebnisse

In diesem Kapitel werden zunächst Durchführung und Ergebnisse des EMSOPs und im Anschluss Durchführung und Ergebnisse des sukzessiven Ansatzes beschrieben. Zur Lösung des Fallbeispiels als EMSOP wird das Modell aus Kapitel 7.2 verwendet und für das Fallbeispiel von CPLEX gelöst. Zur Vorbereitung ist der in Kapitel 7.1.4 beschriebene

⁵⁵⁴ Eigene Darstellung.

Algorithmus zur Bestimmung der Siebtypen und Werte des Parameters G_{is} durchzuführen. Er generiert die als Input benötigten Siebtypen und Werte von G_{is} . Zur Durchführung wird die Software Java verwendet. Der Java-Code ist in Anhang 3 zu finden. Ergebnis der Durchführung des Algorithmus durch Java ist eine Textdatei mit allen Siebtypen und G_{is} . Ein Ausschnitt der Datei ist in Anhang 4 zu finden. Es werden 23.328 Siebtypen und 256.608 G_{is} generiert. Das Modell und alle Input-Daten werden in die Optimierungssoftware GAMS übertragen. Dazu wird eine modifizierte Modellversion verwendet, die in Anhang 5 zu finden ist. Der Grund dafür ist, dass das in Kapitel 7.2 beschriebene Modell aus Darstellungsgründen nicht so weit vereinfacht ist, wie es möglich wäre. Die Version in Kapitel 7.2 ist aus der vorangegangenen Herleitung besser nachzuvollziehen und zu beschreiben. Für die Implementierung wird die alternative Modellversion in Anhang 5 verwendet, weil sie weniger Entscheidungsvariablen und Nebenbedingungen vorgibt und damit weniger Rechenaufwand verursacht. Das EMSOP wird für das Fallbeispiel mit dem Solver CPLEX gelöst. In Abbildung 20 ist das Ergebnisprotokoll wiedergegeben. Aus dem Bericht geht hervor, dass eine optimale Lösung für das Fallbeispiel gefunden wurde und der Zielfunktionswert der optimalen Lösung 702,24 Euro beträgt.

```

          S O L V E      S U M M A R Y

MODEL   BasisModell      OBJECTIVE  Objective
TYPE    MIP              DIRECTION  MINIMIZE
SOLVER  CPLEX            FROM LINE  280077

**** SOLVER STATUS      1 Normal Completion
**** MODEL STATUS       1 Optimal
**** OBJECTIVE VALUE          702.2400

RESOURCE USAGE, LIMIT      25.047      1000.000
ITERATION COUNT, LIMIT     15461      2000000000

IBM ILOG CPLEX 24.9.2 r64480 Released Nov 14, 2017 WEI x86 64bit/MS Windows
--- GAMS/Cplex licensed for continuous and discrete problems.
Cplex 12.7.1.0

Space for names approximately 18.49 Mb
Use option 'names no' to turn use of names off
MIP status(101): integer optimal solution
Cplex Time: 23.31sec (det. 16631.76 ticks)
Fixing integer variables, and solving final LP...
Fixed MIP status(1): optimal
Cplex Time: 0.75sec (det. 290.49 ticks)
Proven optimal solution.

MIP Solution:          702.240000      (15461 iterations, 0 nodes)
Final Solve:           702.240000      (0 iterations)

Best possible:         702.240000
Absolute gap:          0.000000
Relative gap:          0.000000

```

Abb. 20: Ergebnisprotokoll der Software Gams für das Fallbeispiel gelöst als EMSOP.⁵⁵⁵

⁵⁵⁵ Eigene Darstellung.

In den nächsten Abschnitten werden die Durchführung und die Ergebnisse des sukzessiven Ansatzes beschrieben. Sie sind unterteilt in die fünf Teilschritte aus Kapitel 8.1.:

1. Zuordnung von einem Siebtyp pro Eingriffstyp

Der erste Schritt ist die Umsetzung der Annahme zur Gruppierung der Instrumente, die zur Berechnung der Kosten der Mehrwegbereitstellung im nächsten Schritt dient. Den zehn betrachteten Eingriffstypen werden zehn Siebtypen zugeordnet, die genau den Bedarf der Eingriffstypen enthalten. Sie werden als Siebtypen 1–10 bezeichnet.

2. Kosten der Mehrwegbereitstellung berechnen

Die nachstehende Tabelle 25 zeigt einen Ausschnitt aus der Berechnung der Kosten der Mehrweginstrumente, die in Siebtyp 1 dem Eingriffstyp *EpiNahtA* bereitgestellt werden. Die Berechnung erfolgt in Excel und die gesamten Ergebnisse sind in Anhang 6 zu finden. Die Kosten der Mehrwegbereitstellung werden, wie in Kapitel 8.1 beschrieben, berechnet. Sie setzen sich zusammen aus den Kosten der Aufbereitung und Abnutzung, den Kapitalkosten und den Kosten der Siebnutzung. Die perioperativen Kosten müssen in unserem Fallbeispiel aufgrund der angenommenen Zuordnung von einem Siebtyp je Eingriffstyp nicht berücksichtigt werden. Unter der getroffenen Annahme der Zuordnung von einem Siebtyp je Eingriffstyp resultiert ein Nutzungsgrad von 100 %. Wäre das nicht der Fall, so müssten die Bereitstellungskosten der Mehrweginstrumente, die nicht benötigt aber bereitgestellt werden, auf die tatsächlich benötigten Instrumente verrechnet werden. Weil aber keine nicht benötigten Instrumente bereitgestellt werden, ist keine Verrechnung notwendig. Und weil die perioperativen Kosten per Annahme für ein Einweg- und ein Mehrweginstrument in gleicher Höhe pro Bereitstellung anfallen, sind sie für die Einweg-Mehrweg-Entscheidung nicht relevant.

Für jeden Instrumententyp eines Siebtyps werden die Kosten für eine Bereitstellung berechnet. In Tabelle 25 ist ein Ausschnitt der Berechnung, die für alle Instrumententyp-Eingriffstyp-Kombinationen erfolgt, dargestellt. In der ersten Spalte ist der Siebtyp angegeben, in der zweiten Spalte der Instrumententyp und in der dritten Spalte die Anzahl an Instrumenten des Instrumententyps, die im Siebtyp enthalten sind. In der vierten Spalte werden die Kosten der Aufbereitung und Abnutzung eines Mehrweginstruments (kmn_i) mit der Anzahl an Instrumenten im Siebtyp multipliziert, um die Bereitstellungskosten für den Instrumententyp insgesamt im Siebtyp zu bestimmen. Die Spalte ks gibt an, wie die Siebgemeinkosten in Höhe von 3,24 Euro je Siebbereitstellung auf die enthaltenen Instrumente verteilt werden. Die Siebbereitstellungskosten werden durch die Anzahl enthaltener Instrumente dividiert. In der sechsten Spalte sind die Kapitalkosten zu finden,

die als Inputparameter vorgegeben sind. Die letzte Spalte „Kosten MW Bereitstellung“ gibt für alle Instrumententyp-Eingriffstyp-Kombinationen die Kosten pro Bereitstellung des Mehrweginstruments i10 bis i20 in Siebtyp 1 an. Die Kosten ergeben sich als Summe aus den Bereitstellungskosten des Instrumententyps, den anteiligen Siebbereitstellungskosten und den Kapitalkosten.

| Siebtyp | Instrumenten- typ | Anzahl enthaltene Instrumente | kmn_i für gesamten Instrumententyp | anteilige Siebbereit- stellungskosten | Kapitalkosten | Kosten der Bereitstellung Mehrweg |
|---------|----------------------|-------------------------------------|--|---|---------------|---|
| 1 | i10 | 1 | 0,43 | 0,81 | 0,15 | 1,39 |
| 1 | i11 | 1 | 0,43 | 0,81 | 0,13 | 1,37 |
| 1 | i12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | i13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | i14 | 1 | 0,43 | 0,81 | 0,04 | 1,28 |
| 1 | i15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | i16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | i17 | 1 | 0,39 | 0,81 | 0,06 | 1,26 |
| 1 | i18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | i19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | i20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tab. 25: Ausschnitt zur Berechnung der Kosten der Mehrwegbereitstellung in Excel.⁵⁵⁶

3. Einweg-Mehrweg-Entscheidung treffen

Die Kosten der Bereitstellung in Form des Mehrweginstruments werden den Kosten der Bereitstellung des Instrumententyps in Form eines Einweginstruments gegenübergestellt, die durch den Wert ken_i gegeben sind. Zu jeder Instrumententyp-Eingriffstyp-Kombination wird die Einweg-Mehrweg-Entscheidung separat und isoliert getroffen. Wenn die Kosten der Einwegbereitstellung geringer sind, wird die Einweg-Mehrweg-Entscheidung zu Gunsten des Einweginstruments getroffen, andernfalls zu Gunsten des Mehrweginstruments. Tabelle 26 zeigt die Auswertung für Siebtyp 1. In der ersten Spalte sind die Kosten der Bereitstellung in Form von Mehrweg, in der zweiten Spalte die Kosten der Bereitstellung in Form von Einweg angegeben. In der dritten Spalte wird die Differenz berechnet und in der vierten Spalte ist die Entscheidung für Einweg oder Mehrweg angegeben. Die Instrumententypen i11 und i14 werden als Einweginstrumente zu geringeren Kosten bereitgestellt, weswegen die Einweg-Mehrweg-Entscheidung für diese beiden Instrumententypen für den Eingriffstyp *EpiNahtA* die Einwegnutzung festlegt. In Anhang 6 ist die gesamte Auswertung zu finden.

⁵⁵⁶ Eigene Darstellung.

| Kosten der Bereitstellung Mehrweg | Kosten der Bereitstellung Einweg | Differenz Mehrweg - Einweg | Einweg-Mehrweg-Entscheidung |
|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 1,39 | 1,43 | -0,04 | Mehrweg |
| 1,37 | 1,03 | 0,34 | Einweg |
| 0 | 0 | 0 | |
| 0 | 0 | 0 | |
| 1,28 | 1,27 | 0,01 | Einweg |
| 0 | 0 | 0 | |
| 0 | 0 | 0 | |
| 1,26 | 1,46 | -0,20 | Mehrweg |
| 0 | 0 | 0 | |
| 0 | 0 | 0 | |
| 0 | 0 | 0 | |

Tab. 26: Ausschnitt zur Gegenüberstellung von Einweg- und Mehrwegkosten in Excel.⁵⁵⁷

4. Instrumentenbedarf an Mehrweginstrumenten vorgeben

Aus denjenigen Instrumententypen, bei denen im dritten Schritt für die Bereitstellung als Mehrweg entschieden wurde, wird eine Bedarfsmatrix erstellt. Grundlage ist die Bedarfsmatrix für die Zuordnung von einem Siebtyp pro Eingriffstyp aus dem ersten Schritt. Sie wird modifiziert, indem die Instrumentenbedarfe, die laut Einweg-Mehrweg-Entscheidung als Einweginstrument bereitgestellt werden, mit Null ersetzt werden. Es resultiert eine Bedarfsmatrix, die nur den Bedarf an Mehrweginstrumenten enthält. Sie ist in der folgenden Tabelle dargestellt. Die grau hinterlegten Felder weichen von der Bedarfsmatrix vor der Einweg-Mehrweg-Entscheidung ab.

| Eingriffstyp | Instrumententyp | | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------------|----------|-----------|---------|----------|---------|-------|-------|---------|---------|---|
| | EpiNahtA | EpiNahtB | Anabelung | VaginaA | VaginalB | LSKSemm | KoniA | KoniB | SectioB | SectioA | |
| Siebtyp | 1 | 2 | 3 | 11 | | 6 | 8 | | 10 | | |
| Instrumententyp | i10 | 1 | 1 | 0 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 |
| | i11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | i12 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| | i13 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| | i14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| | i15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | i16 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | i17 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| | i18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| | i19 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| | i20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Tab. 27: Bedarfsmatrix (N_{ie}) nach der Einweg-Mehrweg-Entscheidung.⁵⁵⁸

⁵⁵⁷ Eigene Darstellung.

⁵⁵⁸ Eigene Darstellung.

5. Sieboptimierung durchführen

Der letzte Schritt des sukzessiven Ansatzes ist die Durchführung einer Sieboptimierung auf Basis der Bedarfsmatrix, die aus dem vierten Schritt als Ergebnis der Einweg-Mehrweg-Entscheidung resultiert. Diese Bedarfsmatrix enthält die Daten für den Input-Parameter N_{ie} , die sich von denen, die bei der simultanen Lösung vorgegeben wurden, unterscheiden. Bei der Anwendung des mathematischen Modells wird vorgegangen wie bei der Lösung des Fallbeispiels als EMSOP. Jedoch werden die Einwegalternativen durch prohibitiv hohe Kosten ausgeschlossen. Das heißt, für die Parameter zu den Kosten der Einwegalternativen werden so hohe Werte vorgegeben, dass die Wahl von Einweginstrumenten niemals kostengünstiger als das entsprechende Mehrweginstrument sein kann. Ansonsten unterscheiden sich die Input-Daten für diese separate Sieboptimierung nicht von denen des EMSOPs. In Abbildung 21 ist das Ergebnisprotokoll für die Sieboptimierung zu finden. Es gibt an, dass eine optimale Lösung für die Gruppierung der Mehrweginstrumente gefunden wurde und der Zielfunktionswert der optimalen Lösung 598,30 Euro beträgt.

```

                S O L V E      S U M M A R Y

MODEL  BasisModell          OBJECTIVE  Objective
TYPE   MIP                  DIRECTION  MINIMIZE
SOLVER CPLEX                FROM LINE  280077

**** SOLVER STATUS      1 Normal Completion
**** MODEL STATUS      1 Optimal
**** OBJECTIVE VALUE           598.3000

RESOURCE USAGE, LIMIT      48.984      1000.000
ITERATION COUNT, LIMIT    21339      2000000000

IBM ILOG CPLEX 24.9.2 r64480 Released Nov 14, 2017 WEI x86 64bit/MS Windows
--- GAMS/Cplex licensed for continuous and discrete problems.
Cplex 12.7.1.0

Space for names approximately 18.49 Mb
Use option 'names no' to turn use of names off
MIP status(101): integer optimal solution
Cplex Time: 47.66sec (det. 35350.93 ticks)
Fixing integer variables, and solving final LP...
Fixed MIP status(1): optimal
Cplex Time: 0.53sec (det. 290.49 ticks)
Proven optimal solution.

MIP Solution:           598.300000      (21339 iterations, 0 nodes)
Final Solve:           598.300000      (0 iterations)

Best possible:         598.300000
Absolute gap:          0.000000
Relative gap:          0.000000

```

Abb. 21: Ergebnisprotokoll der Software Gams für die Sieboptimierung des Fallbeispiels nach der Einweg-Mehrweg-Entscheidung.⁵⁵⁹

⁵⁵⁹ Eigene Darstellung.

Die Gesamtkosten des sukzessiven Ansatzes werden durch Addition des Zielfunktionswerts der Sieboptimierung und der Kosten der Einwegbereitstellung berechnet. Der Zielfunktionswert beträgt 598,30 Euro, die Kosten der Einwegbereitstellung betragen 170,33 Euro. Sie sind in Anhang 6 zu finden und werden als Summe der Kosten aller bereitgestellten Einweginstrumente im Betrachtungszeitraum berechnet. Als Gesamtkosten der Bereitstellung bei Anwendung des sukzessiven Ansatzes resultieren 768,63 Euro.

8.4 Vergleich und Diskussion der Ergebnisse

In diesem Teilkapitel werden die Ergebnisse bei Optimierung des Fallbeispiels durch das EMSOP und mit dem sukzessiven Ansatz verglichen.

Tabelle 28 stellt ausgewählte Daten der beiden Ansätze gegenüber und dient als Grundlage für die darauf folgenden Erläuterungen. In der ersten Spalte sind die Vergleichskriterien zu finden, in der zweiten und dritten die dazugehörigen Werte, zuerst für die Lösung des Fallbeispiels mit dem EMSOP, dann für die Lösung mit dem sukzessiven Ansatz und in der vierten Spalte ist die prozentuale Abweichung des sukzessiven Ansatzes vom EMSOP angegeben.

| | EMSOP | Sukzessiver Ansatz | Gap |
|-----------------------------------|-------------|--------------------|--------|
| Gesamtkosten | 702,24 Euro | 768,63 Euro | +10 % |
| Siebbestand | 23 | 28 | +22 % |
| Instrumentenbestand | 142 | 129 | -9 % |
| Instrumente pro Sieb (Mittelwert) | 6,17 | 4,61 | -25 % |
| Siebbereitstellungen | 74 | 88 | +19 % |
| Mehrwegbereitstellungen | 438 | 357 | -19 % |
| Einwegbereitstellungen | 62 | 141 | +135 % |
| Verhältnis Einweg-Mehrweg-Nutzung | 12 %:88 % | 28 %:72 % | |
| Verhältnis Einweg-Mehrweg-Kosten | 11 %:89 % | 22 %:78 % | |
| Instrumentenbereitstellungen | 500 | 498 | |
| Kosten pro Bereitstellung | 1,41 | 1,54 | +9 % |
| Kosten pro EW-Bereitstellung | 1,30 | 1,20 | -8 % |
| Kosten pro MW-Bereitstellung | 1,42 | 1,68 | +16 % |

Tab. 28: Gegenüberstellung der Ergebnisse zur Lösung als EMSOP und zur Lösung mit einem sukzessiven Ansatz.⁵⁶⁰

Als erstes Kriterium werden die Gesamtkosten der Bereitstellung verglichen. Bei Anwendung des EMSOPs betragen sie 702,24 Euro, bei Anwendung des sukzessiven Ansatzes betragen sie 768,63 Euro. Die Differenz der Kosten beträgt 66,39 Euro, was 9,5 % der Gesamtkosten des

⁵⁶⁰ Eigene Darstellung.

EMSOP-Ansatzes entspricht. Das heißt der simultane Optimierungsansatz des EMSOPs erzielt zusätzliche Kosteneinsparungen von etwa 10 %.

Die geringeren Kosten des EMSOP-Ansatzes können unter anderem mit dem geringeren Siebbestand begründet werden. Er kommt mit 23 im Vergleich zu 28 Sieben im Bestand aus. Weniger Siebe verursachen entsprechend weniger Lagerkosten. Im Gegensatz dazu steht der 9 % geringere Instrumentenbestand des sukzessiven Ansatzes, der mit entsprechend geringeren Kapitalkosten einhergeht. Setzt man die Anzahl Instrumente und Siebe im Bestand ins Verhältnis, zeigt sich, dass beim EMSOP größere Siebe resultieren als beim sukzessiven Ansatz. Dies spricht wiederum für einen ökonomischen Vorteil des EMSOPs.

Hinsichtlich der Einweg-Mehrweg-Entscheidung unterscheiden sich die Lösungen deutlich. Bei der Lösung des Fallbeispiels als EMSOP werden in vier Eingriffstypen Einweginstrumente benutzt, bei sukzessiver Optimierung in sechs Eingriffstypen. Auffällig ist, dass im EMSOP-Fall ein Eingriffstyp (EpiNahtA) ausschließlich durch Einweginstrumente versorgt wird, ohne dass ein Mehrwegsieb zum Einsatz kommt. Die Anzahl der Einwegbereitstellungen im Betrachtungszeitraum insgesamt beträgt für das EMSOP 62 im Vergleich zu 141 für den sukzessiven Ansatz. Das heißt, es werden beim sukzessiven Ansatz 135 % mehr Instrumentenbedarfe durch Einweginstrumente gedeckt. Gleichzeitig werden 19 % weniger Mehrweginstrumente bereitgestellt. Besonders sichtbar wird der Unterschied der Lösungsansätze hinsichtlich der Einweg-Mehrweg-Entscheidung am Verhältnis der Einweg-Mehrweg-Nutzung. Es setzt die Anzahl der Einweg- und Mehrwegbereitstellungen ins Verhältnis. Es beträgt 12 % zu 88 % für das EMSOP und 28 % zu 72 % für den sukzessiven Ansatz. In Kapitel 5.2.3 wurde aus verschiedenen Studien für die laparoskopische Cholezystektomie darauf geschlossen, dass die Verwendung von Mehrweginstrumenten aus ökonomischer Sicht im Allgemeinen vorteilhafter ist. Wenn sich diese Tendenz auf das Fallbeispiel übertragen lässt, kann das unterschiedliche Verhältnis der Nutzungsformen bei den beiden Lösungsansätzen eine Erklärung für den Unterschied der Gesamtkosten sein. Da das Verhältnis der Einweg-Mehrweg-Nutzung lediglich auf die Anzahl der Bereitstellungen bezogen ist und nicht mit den Kosten je Instrumententyp gewichtet, wird zusätzlich das Verhältnis der Einweg- zu den Mehrwegkosten herangezogen. Es beträgt beim EMSOP 11 % zu 89 % und beim sukzessiven Ansatz 22 % zu 78 %. Wenn man dieses Verhältnis mit dem für die Einweg-Mehrweg-Nutzung vergleicht, ist zu vermuten, dass beim EMSOP die Kosten je Einwegbereitstellung höher sind als beim sukzessiven Ansatz und die Vermutung, dass die höheren Gesamtkosten auf den höheren Anteil Einwegbereitstellungen zurückzuführen ist, verworfen werden muss.

Um den Kostenunterschied näher zu untersuchen, sind in Tabelle 28 weitere Kostenkennzahlen zu finden: die Anzahl Instrumentenbereitstellungen insgesamt, die durchschnittlichen Kosten pro Bereitstellung, die durchschnittlichen Kosten pro Einweg- respektive Mehrwegbereitstellung. Insgesamt werden im Planungszeitraum ungefähr gleich viele Instrumente bereitgestellt, 500 beim EMSOP und 498 beim sukzessiven Ansatz. Jede Versorgung eines Instrumentenbedarfs verursacht beim EMSOP durchschnittlich Kosten in Höhe von 1,41 Euro und beim sukzessiven Ansatz 1,54 Euro. Dieses Ergebnis ist angesichts der Gesamtkosten und der gleichen Anzahl Instrumentenbedarfe logisch. Interessanter ist es deshalb, die durchschnittlichen Kosten pro Bereitstellung jeweils für Einweg und Mehrweg zu berechnen. Sie betragen für das EMSOP 1,30 Euro und 1,42 Euro, für den sukzessiven Ansatz 1,20 Euro und 1,68 Euro. Daraus kann man schließen, dass beim EMSOP eher teurere Einweginstrumente zum Einsatz kommen und beim sukzessiven Ansatz eher günstigere Einweginstrumente. Das könnte auf den ersten Teil des sukzessiven Ansatzes zurückzuführen sein, in dem die Einweg-Mehrweg-Entscheidung ausschließlich auf Basis eines direkten isolierten Kostenvergleichs der beiden Nutzungsformen für jeden Instrumententyp erfolgt. Auch das Modell des EMSOP nimmt einen Kostenvergleich vor, jedoch gehen durch die simultane Optimierung noch weitere Kriterien in die Einweg-Mehrweg-Entscheidung ein, sodass geringe Kosten eines Einweginstruments weniger ins Gewicht fallen. Die Kosten pro Mehrwegbereitstellung sind beim EMSOP geringer als beim sukzessiven Ansatz. Das kann zum Teil mit der geringeren Anzahl Sieben, die bereitgestellt werden und der höheren Anzahl Instrumenten pro Sieb erklärt werden. Die insgesamt geringeren Siebgemeinkosten verteilen sich aufgrund dessen auf mehr Mehrwegbereitstellungen. Man kann dem EMSOP auf Basis dieser Kennzahlen eine bessere, im Sinne von kostengünstigere, Gruppierung der Mehrweginstrumente attestieren. Sie gelingt dadurch, dass das EMSOP die Möglichkeit hat, Einweginstrumente einzusetzen und somit auf einen größeren Optimierungsraum zuzugreifen. Bei der Sieboptimierung, die als zweiter Schritt des sukzessiven Ansatzes durchgeführt wird, nachdem die Einweg-Mehrweg-Entscheidung schon festgelegt ist, stehen weniger Gruppierungsmöglichkeiten zur Verfügung. Möglicherweise resultiert aus dem ersten Schritt der isolierten Einweg-Mehrweg-Entscheidung bereits eine unvorteilhafte Vorgabe für die Sieboptimierung im Anschluss, was ebenfalls höhere Kosten zur Folge hat und den Erfolg der anschließenden Sieboptimierung beschränkt.

Als Nächstes sollen die Lösungen anhand von einer Matrix, die für jeden Eingriffstyp den zugeordneten Siebtyp mit den enthaltenen Instrumententypen enthält, verglichen werden, um zu zeigen, wie sich die Lösungen im Detail unterscheiden. Die Auswertung der detaillierten

Lösungsberichte ergibt die Tabellen 29 und 30. In der ersten Zeile sind die Eingriffstypen angegeben, die das Fallbeispiel betrachtet. In der Zeile darunter ist angegeben, welche Siebtypen den Eingriffstypen zugeordnet werden. Die Matrix darunter gibt an, welche Instrumententypen in den Siebtypen enthalten sind. Sie enthält ein „EW“, wenn für den Instrumentenbedarf an dieser Stelle ein Einweginstrument bereitgestellt wird.

Für das EMSOP ergibt sich die Tabelle 29. Die Eingriffstypen VaginalA und VaginalB, KonisationA und KonisationB sowie SectioA und SectioB werden jeweils durch den gleichen Siebtyp versorgt, wohingegen die verbleibenden Eingriffstypen jeweils durch einen spezifischen Siebtyp versorgt werden. In den Eingriffstypen VaginalA, VaginalB und KonisationB werden die im jeweiligen Sieb bereitgestellten Instrumente um Einweginstrumente ergänzt. Der Bedarf des Eingriffstyps EpiNahtA wird ausschließlich in Form von Einweginstrumenten bereitgestellt. Die optimale Lösung sieht sieben unterschiedliche Siebtypen vor.

| Eingriffstyp | EpiNahtA | EpiNahtB | Anabelung | VaginalA | VaginalB | LSKSemm | KoniA | KoniB | SectioB | SectioA | |
|-----------------|----------|----------|-----------|----------|----------|---------|-------|-------|---------|---------|---|
| | 1 | 2 | 3 | 16 | 6 | 8 | 10 | | | | |
| Instrumententyp | i10 | EW | 1 | 0 | 1+ | 1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| | i11 | EW | 1 | 0 | 0 | EW | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | i12 | | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | EW | 1 | 1 |
| | i13 | | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | i14 | EW | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | i15 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | i16 | | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | i17 | EW | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| | i18 | | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| | i19 | | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| | i20 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Tab. 29: Ergebnisse zur Lösung des Fallbeispiels als EMSOP.⁵⁶¹

Die Auswertung des detaillierten Lösungsberichts für den sukzessiven Ansatz ist in Tabelle 30 dargestellt. Die Eingriffstypen VaginalA und VaginalB sowie SectioA und SectioB werden jeweils durch den gleichen Siebtyp versorgt, wohingegen die verbleibenden Eingriffstypen jeweils durch einen spezifischen Siebtyp nach dem Prinzip ein Siebtyp pro Eingriffstyp versorgt werden. Für die Eingriffstypen EpiNahtA, EpiNahtB, Abnabelung und LSKSemm erfolgt die

⁵⁶¹ Eigene Darstellung.

Bereitstellung sowohl durch Mehrweginstrumente eines Siebs als auch durch Einweginstrumente.

| Eingriffstyp | EpiNahtA | EpiNahtB | Anabelung | VaginaIA | VaginaIB | LSKSemm | KoniA | KoniB | SectioB | SectioA | |
|-----------------|----------|----------|-----------|----------|----------|---------|-------|-------|---------|---------|---|
| | 11 | 13 | 12 | 14 | | 15 | 7 | 8 | 10 | | |
| Instrumententyp | i10 | 1 | 1 | | 2 | 2 | | 1 | 1 | 2 | 2 |
| | i11 | EW | EW | | 1 | 1 | EW | | 0 | 1 | 1 |
| | i12 | | | EW | 1 | 1 | | 1 | 0 | 1 | 1 |
| | i13 | | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | | 1 | 1 | 1 |
| | i14 | EW | EW | EW | | | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | i15 | | | | | | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | i16 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | i17 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | | 1 | 1 | 2 | 2 |
| | i18 | | | | 1 | 1 | | 0 | 0 | 2 | 2 |
| | i19 | | | | 2 | 2 | | 1 | 1 | 2 | 2 |
| | i20 | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Tab. 30: Ergebnisse zur Lösung der Sieboptimierung nach der Einweg-Mehrweg-Entscheidung.⁵⁶²

Die Siebtypen, die von den beiden Optimierungsansätzen vorgeschlagen werden, unterscheiden sich deutlich. Überschneidungen gibt es lediglich bei den Siebtypen 8 und 10. Wobei für den Siebtyp 10 auch die Eingriffstypen, für die der Siebtyp vorgesehen ist, identisch sind. Siebtyp 8 hingegen wird beim EMSOP für zwei Eingriffe, beim sukzessiven Ansatz nur für einen Eingriffstyp verwendet. Ein weiterer auffälliger Unterschied besteht in der Anzahl an Siebtypen, die mehreren Eingriffstypen zugeordnet sind. Beim EMSOP ist das bei drei Siebtypen der Fall, beim sukzessiven Ansatz bei 2 Eingriffstypen. Die jeweils zwei Eingriffstypen, denen bei beiden Ansätzen der gleiche Siebtyp bereitgestellt wird, sind VaginaIA und VaginaIB sowie SectioA und SectioB. Das EMSOP ermöglicht, aufgrund der Ergänzung durch Einweginstrumente, dass KonisationA und KonisationB vom gleichen Siebtyp versorgt werden und der Siebtyp 7 überflüssig ist. Daraus resultieren weniger unterschiedliche Siebtypen beim EMSOP. Eine Überschneidung hinsichtlich der Einwegverwendung liegt beim Eingriffstyp EpiNahtA vor. Beim EMSOP werden alle Instrumentenbedarfe des Eingriffstyps mit Einweginstrumenten gedeckt, beim sukzessiven Ansatz die Instrumententypen i11 und i14.

Der Vergleich der Matrizen zeigt, dass für die beiden Ansätze deutlich unterschiedliche Siebtypen und Einwegnutzungen resultieren. Aus diesen Unterschieden folgen die in den vorherigen Abschnitten analysierten Kostenunterschiede, die letztendlich die geringeren

⁵⁶² Eigene Darstellung.

Gesamtkosten des EMSOPs begründen. Im Hinblick auf das Fallbeispiel konnte das in Kapitel 5.3 theoretisch begründete zusätzliche Optimierungspotential der simultanen Optimierung gegenüber einer sukzessiven Vorgehensweise damit auch praktisch nachgewiesen werden. Es wurde ein Kostenvorteil in Höhe von 66,39 Euro pro Woche berechnet. Um die ökonomische Bedeutung der simultanen Optimierung der Einweg-Mehrweg-Entscheidung und der Sieboptimierung mit Hilfe des EMSOPs deutlich zu machen, soll das bewusst klein gewählte Fallbeispiel auf die tatsächlichen Dimensionen der Praxiseinrichtung übertragen werden. Im Folgenden wird beschrieben, wie diese Hochrechnung vorgenommen werden kann:

In der Frauenklinik werden in drei Sälen an fünf Tagen bis zu 200 Eingriffe durchgeführt, es gibt ca. 40 unterschiedliche Arten von Eingriffen, es werden ca. 500 verschiedene Arten von Mehrweginstrumenten verwendet und der Bedarf eines Eingriffs liegt bei durchschnittlich ca. 60 Instrumenten. Das Fallbeispiel betrachtet 10 unterschiedliche Eingriffstypen, 11 Instrumententypen und geht von einem Bedarf von durchschnittlich 8,3 Instrumenten in 88 Eingriffen an fünf Tagen aus. Eine ebenso simple wie zurückhaltende Hochskalierung, die die überproportionale Kostensteigerung mit Zunahme der Instrumenten- und Eingriffstypen außer Acht lässt, geht folgendermaßen vor: eine Multiplikation des für das Fallbeispiel berechneten Einsparpotentials in Höhe von 66,39 Euro pro Woche mit dem Faktor Zwei wird vorgenommen aufgrund der ca. doppelt so großen Anzahl an Eingriffen pro Tag, eine Multiplikation mit dem Faktor 6 wird vorgenommen aufgrund der durchschnittlich ca. 6-fachen Menge an benötigten Instrumenten je Eingriffstyp. Daraus ergibt sich für die Frauenklinik insgesamt ein Einsparpotential durch das EMSOP in Höhe von knapp 800 Euro pro Woche und mehr als 40.000 Euro pro Jahr.

Versucht man nun zusätzlich den Effekt der größeren Anzahl an unterschiedlichen Typen von Eingriffen und Instrumenten in der Hochrechnung abzubilden, stellt sich die Frage, wie sich die Kosten zur Anzahl unterschiedlicher Typen verhalten. Dazu wird der Effekt unterschiedlich vieler Eingriffstypen und Instrumententypen anhand von Variationen auf Basis des Fallbeispiels untersucht. Die Variation unterschiedlich vieler Eingriffstypen ergibt eine durchschnittliche Veränderung des Zielfunktionswerts um 1,5 % je zusätzlichem Eingriffstyp. Sie wird für die Hochrechnung von 10 auf ca. 40 unterschiedliche Eingriffstypen verwendet. Dieselbe Vorgehensweise wird für die Hochrechnung der Anzahl unterschiedlicher Instrumententypen von 11 auf 500 verwendet. Der Effekt pro zusätzlichen Instrumententyp kann auf schätzungsweise 0,05 % beziffert werden. Pro Woche ergibt sich aus diesen Annahmen eine Hochrechnung für den Kostenvorteil des EMSOPs vom Fallbeispiel auf die Frauenklinik von etwas mehr als 1.500 Euro pro Woche. Auf ein Jahr mit 52 Wochen gerechnet,

wären auf Basis dieser Annahmen für die Frauenklinik durch die simultane Optimierung Kosteneinsparungen in Höhe von knapp 80.000 Euro im Vergleich zur sukzessiven Optimierung möglich.

Selbstverständlich besitzen diese Effektschätzungen keine Allgemeingültigkeit und für eine fundierte Aussage insbesondere zum Zusammenhang zwischen Eingriffs- bzw. Instrumentenvielfalt und Kosten sind weitergehende Untersuchungen bspw. Sensitivitätsanalysen notwendig.

Es soll außerdem darauf hingewiesen werden, dass die Ergebnisse der Fallstudie und folglich auch die des Vergleichs mit dem sukzessiven Ansatz sowie letztendlich die Vorteilhaftigkeit des EMSOPs insgesamt wesentlich von den Input-Daten abhängt. So hängt beispielsweise die Höhe des Zielfunktionswerts von der Höhe der Kostensätze ab, die Einweg-Mehrweg-Entscheidung vom Verhältnis der Einweg- zu den Mehrwegkostensätzen sowie die Sieboptimierung vom Verhältnis der Aufbereitungs- zu den Lager- und Siebkostensätzen.

9 Zusammenfassung

Die Arbeit wurde mit einer Einführung zur Bedeutung der Sterilgutversorgung als funktionalem Bereich eines Krankenhauses begonnen. Ihre ökonomische Bedeutung wird häufig unterschätzt oder aufgrund des deutlichen Fokus von Wissenschaft und Praxis auf den OP-Bereich übersehen. In Kapitel 1 wurde zudem das Ziel der Arbeit formuliert und beschrieben, wie zu dessen Erarbeitung vorgegangen wird. Das Ziel besteht darin, einen mathematischen Optimierungsansatz zu entwickeln, der die Einweg-Mehrweg-Entscheidung und das Sieboptimierungsproblem kombiniert und gemeinsam löst, um die Interdependenzen zwischen den Entscheidungen zu berücksichtigen.

In Kapitel 2 wird in das Themengebiet der Versorgung mit sterilen chirurgischen Instrumenten eingeführt. Zu diesem Zweck werden der Prozess der Sterilgutversorgung und der Begriff des chirurgischen Instruments definiert. Der Sterilgutversorgungsprozess ist aus Sicht des OP-Prozesses ein vor- und nachgelagerter Hilfsprozess, dessen Aufgabe es ist, den OP-Prozess mit chirurgischen Instrumenten zu versorgen. Er besteht aus den Teilprozessen Beschaffung und Entsorgung, Aufbereitung von Mehrweginstrumenten, bedarfsgerechte Bereitstellung sowie Transport und Lagerung. Ein chirurgisches Instrument ist ein spezifisches, meist zur manuellen mechanischen Anwendung während eines chirurgischen Eingriffs in einem sterilen Umfeld vorgesehenes Instrument. Von den verschiedenen vorgestellten Möglichkeiten zur Kategorisierung von Instrumenten hat die Unterscheidung in Einweg- und Mehrweginstrumente besondere Relevanz für die Fragestellung der Arbeit. Sie wurde deshalb in einem separaten Kapitel behandelt und bei der Beschreibung der Versorgungsprozesse entsprechend aufgegriffen. Neben der Vorstellung der beiden unterschiedlichen Versorgungsprozesse für Einweg- und Mehrweginstrumente wird außerdem auf die Besonderheit der Verwendung von Sieben im Zuge der Mehrwegversorgung und deren Nutzen hingewiesen. Im letzten Teilkapitel wurden weitere Möglichkeiten der Gestaltung des Versorgungsprozesses vorgestellt und als Zwischenformen in die Einweg-Mehrweg-Systematik eingeordnet.

Das dritte Kapitel ist in einen ersten Teil zu den Zielen eines Krankenhauses und einen zweiten Teil zu den Zielen der Sterilgutversorgung unterteilt. Entsprechend der Prozessstruktur gilt auch für die Zielsystemstruktur, dass die Ziele der untergeordneten Einheit *Sterilgutversorgung* den Zielen der übergeordneten Einheit *Krankenhaus* zuarbeiten. Im ersten Teil wurden die Ziele aus KGH und SGB *Qualität* und *Wirtschaftlichkeit* als Oberziele eines Krankenhauses identifiziert. Die Zielinhalte und Beziehungen zwischen den beiden Zielen wurden anhand gesetzlicher und anderer institutioneller Vorgaben erschlossen. Im zweiten Teil wurde definiert,

wie Qualität und Wirtschaftlichkeit in Form von Zielen für die Sterilgutversorgung umzusetzen sind. Als oberstes Qualitätsziel wurde die einwandfreie Bereitstellung formuliert. Unter „einwandfrei“ versteht man in diesem Zusammenhang die Erfüllung der anerkannten Kriterien zur fachgerechten Erbringung einer Leistung gemäß der gemeinsamen Empfehlung der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention beim Robert Koch-Institut und des Bundesinstituts für Arzneimittel und Medizinprodukte. Daraus leiten sich die Ziele *Rechtzeitigkeit*, *Reaktionsfähigkeit*, *Bedarfsdeckung*, *Sauberkeit*, *Funktionsfähigkeit* und *Begrenzung der Anzahl Instrumente pro Sieb* ab. Oberstes Wirtschaftlichkeitsziel ist die Minimierung der Kosten. Besagte Kosten ergeben sich aus den Teilschritten der Versorgungsprozesse und umfassen Transportkosten, Abnutzungskosten, Aufbereitungskosten, perioperative Kosten, Entsorgungskosten, Beschaffungskosten, Lagerungskosten, Kapitalkosten und Folgekosten. Zum Zweck der Bestimmung eines Zielsystems, das die Qualitäts- und Wirtschaftlichkeitsziele der Sterilgutversorgung zusammenführt, wurden die Beziehungen zwischen den Zielen bestimmt. Das Zielsystem, das später als Grundlage für die Modellentwicklung dient, wurde grafisch dargestellt.

Kapitel 4 diente dazu, mit der Diskrepanz zwischen den in Kapitel 3 definierten Zielen und dem Stand der Zielerreichung Optimierungsbedarf für den Sterilgutversorgungsprozess zu begründen. Der Stand der Zielerreichung wurde anhand der Kennzahlen *Zwischenfälle im OP-Ablauf* und *Nutzungsgrad* beurteilt. Zu den beiden Kennzahlen wurden Ergebnisse von verschiedenen Studien, die durch eine systematische Literaturrecherche nach PRISMA-Standard identifiziert wurden, angeführt. Bezüglich der Zwischenfälle im OP-Ablauf ergibt die Literaturlauswertung, dass einer mangelhaften Sterilgutversorgung 10 % der Zwischenfälle im OP-Ablauf sowie der größte Anteil der nicht-medizinischen Verspätungen zugeschrieben werden und dass 17 % der Siebe Mängel aufweisen. Bezüglich des Nutzungsgrads ergibt die Literaturlauswertung, dass der Anteil der Instrumente eines Siebs, die tatsächlich zur Verwendung kommen, zwischen 10 % und 96 % liegt und im Umkehrschluss, dass bis zu 90 % der Mehrwegaufbereitungen ohne vorherige Verwendung stattfinden. Aus der Auswertung der Kennzahlen wurde eine Diskrepanz zwischen Zielen und Zielerreichung bei der Versorgung mit sterilen chirurgischen Instrumenten vermutet. Die Analyse des Optimierungsbedarfs wurde fortgesetzt, indem in der Literatur thematisierte Defizite des Sterilgutversorgungsprozesses beschrieben und Problemfelder identifiziert wurden. Im dritten Unterkapitel wurde der Optimierungsbedarf anhand der Erkenntnisse des Kapitels begründet. Zum Abschluss des Kapitels wurde eine systematische Literaturrecherche zu Optimierungsansätzen, die auf den Sterilgutversorgungsprozess Anwendung finden, gegeben.

In Kapitel 5 wurde schließlich das EMSOP entwickelt. Es stellt eine Kombination aus dem Sieboptimierungsproblem und der Einweg-Mehrweg-Entscheidung dar. Zunächst wurden die beiden Teilprobleme eingeführt. Gegenstand des Sieboptimierungsproblems ist es, die nachgefragten Instrumente eines Instrumententyps so zu gruppieren, dass der Bedarf zu minimalen Kosten gedeckt wird. Der Lösungsansatz ist die Modellierung in einem mathematischen Modell, das eine optimale Lösung durch Abwägen der zahlreichen Ziele und Gruppierungsmöglichkeiten vornimmt. Ein systematischer Literaturüberblick führt Veröffentlichungen auf, die sich bisher mit der Fragestellung der Gruppierung von Mehrweginstrumenten mithilfe mathematischer Modelle beschäftigt haben. Das zweite Teilproblem ist die Entscheidung, ob für einen Instrumentenbedarf ein Einweg- oder ein Mehrweginstrument bereitgestellt wird. Wenn beide Alternativen am Markt zur Verfügung stehen und keine wesentlichen Qualitätsunterschiede bestehen, kann zwischen Einweg und Mehrweg gewählt werden. Entscheidungskriterium sind dann die Kosten. Dabei sind jedoch nicht nur die Anschaffungskosten gegenüberzustellen, sondern möglichst alle relevanten Kostenkategorien einzubeziehen. Eine systematische Literaturrecherche wertete die Ergebnisse verschiedener Studien zum Vergleich von Einweg- und Mehrwegverwendung aus.

Im dritten Teil des fünften Kapitels wurde das EMSOP erarbeitet. Es handelt sich nach bestem Wissen der Verfasserin um eine neuartige Problemstellung, die in der Literatur bisher noch nicht erforscht ist, in der Praxis aber von hoher Relevanz ist. Das EMSOP kombiniert die beiden Teilprobleme zu einer Entscheidung. Die Entscheidung, wie die Mehrweginstrumente in Siebe gruppiert werden und die Entscheidung, ob ein Instrumentenbedarf in Form eines Mehrweg- oder eines Einweginstrumentes gedeckt wird, werden simultan getroffen. Die simultane Optimierung ist ökonomisch vorteilhaft, weil Interdependenzen zwischen den beiden Entscheidungen bestehen: bestimmte Parameter für die Sieboptimierung werden durch die Einweg-Mehrweg-Entscheidung beeinflusst und Kriterien für die Einweg-Mehrweg-Entscheidung werden durch die Gruppierung der Siebe bestimmt. Bleiben die wechselseitigen Abhängigkeiten bei der Optimierung unberücksichtigt oder werden durch Annahmen ersetzt, bleibt Optimierungspotential ungenutzt. Darüber hinaus kann zusätzliches Optimierungspotential aus Synergien durch die simultane Optimierung erschlossen werden.

Die Zusammenführung der beiden Entscheidungen, für welche Instrumentenbedarfe in welchen Eingriffstypen ein Einweg- und für welche ein Mehrweginstrument bereitgestellt wird und wie die bereitzustellenden Mehrweginstrumente in Siebe gruppiert werden, wurde als EMSOP definiert.

Im sechsten Kapitel wurde das mathematische Modell zur Umsetzung des EMSOPs entworfen. Der Entwurf beinhaltete die Festlegung, welche Inhalte, in welcher Form und wie modelliert werden. Die Inhalte bestehen zum einen aus den Zielen der Sterilgutversorgung und zum anderen aus Annahmen und Ressourcenbeschränkungen. Die Kostenberechnung basiert auf dem Prinzip der Prozesskostenrechnung. Zu diesem Zweck wurden Kostentreiber für die Kostenkategorien definiert. Es wurden verschiedene Annahmen zum Input des Modells getroffen. Eine der Annahmen schreibt vor, dass der Bedarf für Instrumententypen und Eingriffstypen angegeben wird und deshalb keine Unterscheidung einzelner Instrumente und Eingriffe möglich ist. Eine weitere Annahme setzt chirurgische Präferenzen um, indem die Eingriffstypen chirurgenspezifisch definiert werden. Des Weiteren wurde zu Gunsten von Gewöhnungseffekten festgelegt, dass die Zuordnung von Siebtypen zu Eingriffstypen und die Nutzungsform je Siebtyp unabhängig vom Tag und einzelnen Eingriffen sind. Die Ressourcenbeschränkungen waren das Ergebnis von Überlegungen zur Verfügbarkeit der Ressourcen in Bezug auf den Betrachtungszeitraum. Als im mittelfristigen Betrachtungszeitraum begrenzte Ressourcen wurden die Desinfektions- und Sterilisationsmaschinen der AEMP und die Lagerfläche identifiziert. Eine weitere Annahme, die für den Bestand an Instrumenten und Sieben sowie für die Lagerbeschränkung relevant ist, legt die Aufbereitungsdauer der Siebe und Instrumente auf maximal einen Tag fest.

Die Frage, in welcher Form die Inhalte im Modell abzubilden sind, wurde mit der Einteilung in Zielfunktion und Nebenbedingung beantwortet. Zu minimierende Größen werden in der Zielfunktion abgebildet, beschränkende Größen und Annahmen in den Nebenbedingungen. Nachdem festgelegt wurde, welche Inhalte in die Zielfunktion und welche in die Nebenbedingung gehören, wurde beschrieben, wie die resultierenden Zielfunktionen und Nebenbedingungen modelliert werden und im Zuge dessen die Modellkomponenten bestimmt. Das siebte Kapitel begann mit der Definition der Mengen und Indizes, der Entscheidungsvariablen sowie der Parameter und Konstanten, die für das Modell benötigt werden. Ein Unterkapitel widmete sich der Besonderheit und den daraus resultierenden Herausforderungen bei der Bestimmung der Siebtypen und der Werte des Parameters G_{is} . Es wurde ein Algorithmus zur Bestimmung der Siebtypen und G_{is} entwickelt, der das exponentielle Wachstum der Kombinationsmöglichkeiten bei der Abbildung aller möglichen Siebtypen bewältigen kann. Das Kapitel führte als nächstes das mathematische Modell, das für das EMSOP aufgestellt wurde, ein. Es wurde im Anschluss ausführlich für die Zielfunktion und jede Nebenbedingung beschrieben und erklärt.

In Kapitel 8 wurde das EMSOP auf ein Fallbeispiel angewendet und die Ergebnisse analysiert. Zur Beurteilung der Ergebnisse des EMSOPs wurde ein alternativer Optimierungsansatz als Vergleich herangezogen. Der Referenzansatz sah eine sukzessive Optimierung vor, bei der zunächst eine isolierte Einweg-Mehrweg-Entscheidung getroffen wurde und auf Basis der Ergebnisse eine Sieboptimierung für die Mehrweginstrumente durchgeführt wurde. Die Daten der Fallstudie stammen aus der Frauenklinik des Klinikums Stuttgart, aus der Literatur und aus Internetrecherchen. Das EMSOP für das Fallbeispiel wurde mit der Optimierungssoftware GAMS optimal gelöst. Der sukzessive Ansatz wurde in Excel und ebenfalls mit GAMS gelöst. Die Ergebnisse wurden gegenübergestellt und im Detail analysiert. Sie zeigten, dass sich die Gesamtkosten, die Siebgruppierungen, die Einweg-Mehrweg-Aufteilung und die Kostenstruktur deutlich unterscheiden. Für das Fallbeispiel konnte die ökonomische Vorteilhaftigkeit des EMSOPs gegenüber dem sukzessiven Referenzansatz anhand der um 10 % geringeren Gesamtkosten gezeigt werden. Das Potential des simultan optimierenden EMSOPs wurde durch eine Hochrechnung des Effekts für das Fallbeispiel, dem nur ein kleiner Ausschnitt des Leistungsumfangs der Frauenklinik zugrunde liegt, für die gesamte Frauenklinik auf knapp 80.000 Euro geschätzt.

10 Abschließende Betrachtung und Ausblick

Dieser abschließende Teil der Arbeit wird erstens weiteren Forschungsbedarf aufzeigen, der an die Konzeption des EMSOPs anknüpft. Zweitens wird im Hinblick auf die praktische Umsetzung des EMSOPs auf die Kosten-Nutzen-Abwägung und die Anwendungsvoraussetzungen eingegangen. Drittens wird ein Blick in die Zukunft der Sterilgutversorgung und ihrer Entwicklungsmöglichkeiten gewagt.

Die wohl offensichtlichste Fortführung der Arbeit besteht darin, eine Heuristik zu entwickeln, die es ermöglicht praxisrelevante Problemgrößen des EMSOPs zu lösen, weil Lösungsversuche mit exakten Verfahren an Grenzen der Rechenleistung gängiger Optimierungssoftware stoßen. Eine Weiterentwicklung des Modells für das EMSOP wäre es, neben der Verwendung von klassischen Einweg- und Mehrweginstrumenten, weitere Varianten der Bereitstellung chirurgischer Instrumente, beispielsweise die externe Aufbereitung, Pay-Per-Use oder Peel-Packing (siehe Kapitel 2.4), in das EMSOP zu integrieren. Ihre Berücksichtigung kann die Entscheidungsmöglichkeiten des EMSOPs erweitern und weiteres Optimierungspotential eröffnen.

Eine alternative Modellumsetzung für das EMSOP wäre die Formulierung der Zielfunktion als Mehrzielfunktion. Auf diese Weise könnten nicht monetarisierbare Kriterien, wie Umweltauswirkungen oder Qualitätskriterien abgebildet werden. Die Lösung von Mehrzielentscheidungsproblemen erfordert jedoch grundlegend andere Lösungsverfahren.⁵⁶³

Im Hinblick auf die praktische Anwendung des EMSOPs sollen die beschriebenen Einsparpotentiale nicht darüber hinwegtäuschen, dass eine Optimierung der Sterilgutversorgung und die Umsetzung des EMSOPs mit Kosten, Arbeits- und nicht zuletzt Überzeugungsaufwand einhergehen. Vor allem in Anbetracht der Tatsache, dass es mit einer einmaligen Durchführung dieses Optimierungsansatzes in der Regel nicht getan ist. Zum einen, weil der Gesetzgeber in seiner Zielformulierung eine kontinuierliche Verbesserung durch regelmäßige Ergebniskontrolle vorschreibt (siehe Kapitel 3) und zum anderen weil Studien gezeigt haben, dass umfassende Prozessoptimierungen wie das EMSOP regelmäßig fortgeführt werden müssen, um langfristig die gewünschten Resultate zu erzielen.⁵⁶⁴ Yoon et al. empfehlen für Änderungen an den Siebgruppierungen einen Rhythmus von drei bis fünf Jahren.⁵⁶⁵ Ihre Empfehlung begründen sie mit dem ressourcenintensiven Optimierungsprozess und mit der von

⁵⁶³ Vgl. Nickel et al. (2014), S. 77-78.

⁵⁶⁴ Vgl. Yoon et al. (2019), S. 72.

⁵⁶⁵ Vgl. auch im Weiteren Yoon et al. (2019), S. 71-72.

ihnen beobachtete Gewöhnungsphase des Personals von ca. einem Jahr, in dem die Kosten der Aufbereitung kurzfristig ansteigen.⁵⁶⁶

Insbesondere für Anwender in der Praxis ist es sicherlich von Interesse, die Kosten der Optimierungsmaßnahme beziffern zu können, um Kosten und Nutzen der Optimierung mit dem EMSOP gegeneinander abwägen zu können. Dazu wäre es außerdem sinnvoll, die in dieser Arbeit anhand des Fallbeispiels dargestellten Einsparpotentiale für weitere Anwendungsfälle unterschiedlicher Größe und Eigenschaften zu berechnen, um robuste Aussagen zum Nutzen des EMSOPs machen zu können.

Sowohl für die Implementierung und Evaluation des EMSOPs in seiner jetzigen Form als auch für die Integration der vorgeschlagenen Erweiterungen, ist die Datenverfügbarkeit von grundlegender Bedeutung.⁵⁶⁷ Digitale Technologien, wie Barcodes und RFID, können in der Sterilgutversorgung die Datenerfassung und Nachverfolgung von Instrumenten und Sieben ermöglichen und zu mehr Transparenz im Sterilgutversorgungsprozess beitragen. Vernetzte Systeme und automatisch generierte Prozessketten können zusätzlich Fehler entlang des Sterilgutversorgungsprozesses reduzieren und Personalressourcen für die Kernaufgaben freisetzen.⁵⁶⁸ Die infrastrukturellen Voraussetzungen für derlei digitale Lösungen in Form von leistungsfähiger WLAN- und Bluetooth-Abdeckung, ausreichender Serverleistung sowie geeigneter Hardware- und Softwarelösungen sollten im Zuge der Digitalisierungsbemühungen bereitgestellt werden.

Ein Blick in die Zukunft der Sterilgutversorgung eröffnet neue Möglichkeiten, die Eingang in das EMSOP finden könnten. Eine Idee zur Weiterentwicklung der Sterilgutversorgung ist der Einsatz der 3D-Drucktechnologie. Die Technologie findet bereits im chirurgischen Bereich Anwendung, bisher aber in erster Linie für präoperative Modelle, Führungsschablonen und Implantate.⁵⁶⁹ Mit dem bereits eingesetzten Auslaufen vieler Patente für 3D-Drucker wird die Entwicklung von Geräten auch für die Herstellung chirurgischer Instrumente zunehmen und sie für die breite Anwendung finanziell zugänglich machen.⁵⁷⁰ Für die Versorgung mit sterilen chirurgischen Instrumenten kann die 3D-Drucktechnologie die Möglichkeit eröffnen, Instrumente bei Bedarf zu drucken. Nicht nur Bestandsreduktionen und weitere Siebkonfigurationsmöglichkeiten würden eröffnet, sondern der gesamte Versorgungsprozess könnte umgestaltet werden. Noch ist die Technik jedoch nicht weit genug ausgereift, denn der

⁵⁶⁶ Vgl. Yoon et al. (2019), S. 71.

⁵⁶⁷ Vgl. auch im Weiteren Ahmadi et al. (2018), S. 148.

⁵⁶⁸ Vgl. auch im Weiteren Oswald/Goedereis (2019), S. 63.

⁵⁶⁹ Vgl. Shilo (2018), S. 3.

⁵⁷⁰ Vgl. Fan et al. (2020), S. 1.

Druck eines Instruments nimmt noch recht viel Zeit in Anspruch (beispielsweise 90 Minuten für einen einfachen Wundhaken) und erfordert im Anschluss weitere Bearbeitungsschritte, um die Oberfläche zu glätten und das Instrument in einen sterilen Zustand zu versetzen.⁵⁷¹ Eine Vision für ausgereifte 3D-Druckverfahren sieht patientenspezifische Instrumente vor, die vor oder sogar während des Eingriffs auf die Bedürfnisse des chirurgischen Falls zugeschnitten werden.⁵⁷² Dieser Ansatz ist besonders vor dem Hintergrund der Verschiebung von offenen zu minimal-invasiven Eingriffen von Interesse, denn diese stellen besondere Herausforderungen an chirurgische Instrumente.⁵⁷³ Die Manövrierbarkeit ist in minimal-invasiven Eingriffen wegen des begrenzten Platzes und der begrenzten direkten Einwirkungsmöglichkeiten der ChirurgInnen eingeschränkt. Die Instrumente müssen ein Stück weit die Hände der ChirurgInnen ersetzen und sind nicht nur entsprechend komplexer gestaltet, sondern sollten auch eine gewisse Flexibilität bieten. Hier können modulare Systeme, die sowohl aus Mehrweg-, Einweg- als auch frisch 3D-gedruckten Komponenten bestehen, eine Lösung bieten.

⁵⁷¹ Vgl. Rankin et al. (2014), S. 194; Muro-Frarguas (2020), S. 2.

⁵⁷² Vgl. Shilo et al. (2018), S. 4.

⁵⁷³ Vgl. Culmone et al. (2020), S. 1-2.

Literaturverzeichnis

- Adler, S., M. Scherrer, K. D. Rückauer und F. D. Daschner (2005): Comparison of economic and environmental impacts between disposable and reusable instruments used for laparoscopic cholecystectomy, *Surgical Endoscopy*, 19 (2), S. 268-272.
- Ahmadi, E., D. T. Masel, A. Y. Metcalf und K. Schuller (2018): Inventory management of surgical supplies and sterile instruments in hospitals – a literature review, *Health Systems*, 8 (2), S. 134-151.
- Ahmadi, E., D. T. Masel, D. Schwerha und S. Hostetler (2019): A bi-objective optimization approach for configuring surgical trays with ergonomic risk consideration, *IISE Transactions on Healthcare Systems Engineering*, 9 (4), S. 327-341.
- Alfred, M., K. Catchpole, E. Huffer, L. Fredendall und K. M. Taaffe (2020): Work systems analysis of sterile processing: assembly, *BMJ Quality & Safety*, online veröffentlicht, DOI: 10.1136/bmjqs-2019-010740.
- Allen, J. W. und H. C. Polk (2002): A study of added costs of laparoscopic cholecystectomy based on surgery preference cards, *American Surgeon*, 68 (5), S. 474-476.
- Allweyer, T. (2005): *Geschäftsprozessmanagement: Strategie, Entwurf, Implementierung, Controlling*, Herdecke/Bochum.
- Andersson, A. E., I. Bergh, J. Karlsson, B. I. Eriksson und K. Nilsson (2012): Traffic flow in the operating room: An explorative and descriptive study on air quality during orthopedic trauma implant surgery, *American Journal of Infection Control*, 40 (8), S. 750-755.
- Apelgren, K. N., M. L. Blank, C. A. Slomski und N. S. Hadjis (1994): Reusable instruments are more cost-effective than disposable instruments for laparoscopic cholecystectomy, *Surgical Endoscopy*, 8 (1), S. 32-34.
- Aptel, O., M. Pomberg und H. Pourjalali (2009): Improving Activities of Logistics Departments in Hospitals: A Comparison of French and U.S. Hospitals, *Journal of Applied Management Accounting Research*, 7 (2), S. 1-20.
- Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (Hrsg.) (2019): *Empfehlungen von Fachgesellschaften zur Qualitätssicherung*, zuletzt abgerufen am 22.10.2020 unter <https://www.awmf.org/service/gesamtarchiv/qualitaetssicherung.html>.
- Attard, A., G. F. Tawy, M. Simons, P. Riches, P. Rowe und L. C. Biant (2019): Health costs and efficiencies of patient-specific and single-use instrumentation in total knee arthroplasty: a randomised controlled trial, *BMJ Open Quality*, 8 (2), S. e000493.

- Au, J. und L. Rudmik (2013): Cost of outpatient endoscopic sinus surgery from the perspective of the Canadian government: a time-driven activity-based costing approach, *International Forum of Allergy & Rhinology*, 3, S. 748-754.
- Augurzky, Boris (2018): Zwischen Shareholder Value und roten Zahlen – Die wirtschaftliche Situation der Krankenhäuser, in: Janssen/Augurzky (Hrsg.): *Krankenhauslandschaft in Deutschland. Zukunftsperspektiven – Entwicklungstendenzen – Handlungsstrategien*, (S. 64-75), Stuttgart.
- Ärzteblatt (2016): Uniklinik Mannheim sieht sich nach Hygieneskandal wieder auf gutem Weg, abgerufen am 17.8.2020 unter <https://www.aerzteblatt.de/nachrichten/71817/Uniklinik-Mannheim-sieht-sich-nach-Hygieneskandal-wieder-auf-gutem-Weg>.
- Baines R., G. Colquhoun, N. Jones und R. Bateman (2001): The benefits of using customised procedure packs, *British Journal of Perioperative Nursing*, 11 (1), S. 34-39.
- Barua, A. und D. J. O'Regan (2017): Every Little Helps, *Journal of Cardiology & Cardiovascular Therapy*, 4 (3), S. 1-3.
- Bea, F. X. (2009): Entscheidungen des Unternehmens, in: Bea, F. X., B. Friedl und M. Schweitzer (Hrsg.): *Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Band 1: Grundfragen*, 10. Auflage (S. 333-437), Stuttgart.
- Bender, H.-J., C. Denz und A. Baumgart (2015): Perioperative Organisation – Optimierung der Abläufe, in: Diemer, M., C. Taube, J. Ansorg, J. Heberer und W. von Eiff (Hrsg.): *Handbuch OP-Management*, (S. 503-572), Berlin.
- van Beuzekorn, M., F. Boer, S. Akerboom und P. Hudson (2012): Patient safety in the operating room: an intervention study on latent risk factors, *BMC Surgery*, online veröffentlicht, DOI: 10.1186/1471-2482-12-10.
- Beyer, K. und C.-D. Heidecke (2015): Evidenzbasierung von Instrumenten zur Verbesserung der Patientensicherheit in der Chirurgie, *Zeitschrift für Evidenz, Fortbildung und Qualität im Gesundheitswesen*, 109 (3), S. 230-234.
- Bijvank, M. und I. F. A. Vis (2012): Inventory control for point-of-use locations in hospitals, *The Journal of the Operational Research Society*, 63 (4), S. 497-510.
- Bleyl, J. U. und A. R. Heller (2008): Standard operating procedures und OP-Management zur Steigerung der Patientensicherheit und der Effizienz von Prozessabläufen, *Wiener Medizinische Wochenschrift*, 158 (21-22), S. 595-602.
- Blum K. und M. Offermanns (2009): Anspruch und Realität von Budgetverhandlungen zur Umsetzung medizintechnischer Innovationen. Gutachten des Deutschen

- Krankenhausinstituts (DKI) im Auftrag des Bundesverbandes Medizintechnologie (BVMed). Düsseldorf.
- Bracklo, M. H. (2013): Managementtrends bei der Aufbereitung von chirurgischen Instrumenten, in: Debatin, J. F., A. Ekkernkamp, B. Schulte und A. Tecklenburg (Hrsg.): Krankenhausmanagement – Strategien, Konzepte, Methoden, 2. Aufl. (S. 730-734), Berlin.
- Brandt, K. (2015): Uniklinik Mannheim – Verdreckte Skalpelle könnten Zehntausende gefährdet haben, abgerufen am 22.10.2020 unter https://www.zeit.de/wissen/gesundheit/2015-05/uniklinik-mannheim-hygiene-op-besteck?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F.
- Brandt, K. (2019): Aus Hygieneskandal an Uniklinik Mannheim wird Justizskandal, abgerufen am 26.1.2021 unter <https://www.morgenpost.de/vermishtes/article216411629/Aus-Hygieneskandal-an-Uniklinik-Mannheim-wird-Justizskandal.html>.
- Braun, J., J. Robbers und H.-J. Lakomek (2016): Qualität in der Medizin in Deutschland – eine Bestandsaufnahme, Zeitschrift für Rheumatologie, 75 (1), S. 97-102.
- Briskorn, D. (2020): Operations Research – Eine (möglichst) natürlchsprachige und detaillierte Einführung in Modelle und Verfahren, Berlin.
- Brugger-Gebhardt, S. (2016): Die DIN EN ISO 9001:2015 verstehen. Die Norm sicher interpretieren und sinnvoll umsetzen, 2. Auflage, Wiesbaden.
- Buchanan, J. M. (2008): Opportunity cost, in: Durlauf, S. N. und L. E. Blume (Hrsg.): The New Palgrave Dictionary of Economics, 2. Auflage (S. 4710-4713), New York.
- Bugbee W. D., D. J. Kolessar, J. S. Davidson, A. J. Gibbon, J. P. Lesko und K. D. Cosgrove: (2021): Single Use Instruments for Implanting a Contemporary Total Knee Arthroplasty System Are Accurate, Efficient, and Safe, Journal of Arthroplasty, 36 (1), S. 135-139.
- Busse, R. und A. Geissler (2015): Herausforderungen und Ziele für Krankenhäuser. Ein Überblick, in: Diemer, M., C. Taube, J. Ansorg, J. Heberer und W. von Eiff (Hrsg.): Handbuch OP-Management, (S. 41-47), Berlin.
- Campion, N., C. L. Thiel, J. DeBlois, N. C. Woods, A. E. Landis und M. M. Bilec (2012): Life cycle assessment perspectives on delivering an infant in the US, Science of the Total Environment, 425, S. 191-198.
- Capra, R., S. A. Bini, D. E. Bowden, K. Etter, M. Callahan, R. T. Smith und T. P. Vail (2019): Implementing a perioperative efficiency initiative for orthopedic surgery

- instrumentation at an academic center: A comparative before-and-after study, *Medicine (Baltimore)*, 98 (7), S. 1-7.
- Cardoen, B., J. Beliën und M. Vanhoucke (2015): On the design of custom packs: grouping of medical disposable items for surgeries, *International Journal of Production Research*, 53 (24), S. 7343-7359.
- Carter, A., N. Hermann, C. Hugo, V. Schmidt und M. Tschoerner (2016): Reinigung und Desinfektion von Medizinprodukten, in: Wismer, G. und T. Zanette (Hrsg.): *Handbuch Sterilisation – von der Reinigung bis zur Bereitstellung von Medizinprodukten*, 6. Auflage (S. 200-257), Wiesbaden.
- Chasseigne, V., G. Leguelinel-Blache, T. L. Nguyen, R. de Tayrac, M. Prudhomme und J. M. Kinowski, P. Costae (2018): Assessing the costs of disposable and reusable supplies wasted during surgeries, *International Journal of Surgery*, 53, S. 18-23.
- Chiang, A. and K. Wainwright (2005): *Fundamentals of Mathematical Economics*, 4. Aufl., New York/London.
- Chin, C.J., L. J. Sowerby, A. John-Baptiste und B. W. Rotenberg (2014): Reducing otolaryngology surgical inefficiency via assessment of tray redundancy, *Journal of Otolaryngology – Head Neck Surgery*, 43 (1), Artikelnr. 46.
- Cichos, K. H., P. L. Linsky, B. Wei, D. J. Minnich, und R. J. Cerfolio (2017): Cost Savings of Standardization of Thoracic Surgical Instruments: The Process of Lean, *The Annals of Thoracic Surgery*, 104 (6), S. 1889-1895.
- Cooper, J. B., R. S. Newbower, C. D. Long und B. McPeck (2002): Preventable anesthesia mishaps: a study of human factors, *Quality and Safety in Healthcare*, 11 (3), S. 277-282.
- Crosby, L., E. Lortie, B. Rotenberg und L. Sowerby (2020): Surgical Instrument Optimization to Reduce Instrument Processing and Operating Room Setup Time, *Otolaryngology – Head and Neck Surgery*, 162 (2), S. 215-219.
- Culmone, C., P. W. J. Henselmans, R. I. B. van Starckenburg und P. Breedveld (2020): Exploring non-assembly 3D printing for novel compliant surgical devices, *PLoS One*, 15 (5), online veröffentlicht, DOI: 10.1371/journal.pone.0232952.
- Dacosta-Claro, I. (2002): The performance of material management in health care organizations, *International Journal of Health Planning and Management*, 17 (1), S. 69-85.
- DeMare, A. M., N. C. Luehmann, S. Kawak, E. E. Abbott, J. Long, B. Akay, P. Brahmamdam, A. A. Iacco und N. M. Novotny (2020): Cost-Effective Approach to

- the Laparoscopic Appendectomy: Balancing Disposable Instrument Cost With Operative Time, *American Surgeon*, 86 (6), S. 715-720.
- Demoulin, L., K. Kesteloot und F. Penninckx (1996): A cost comparison of disposable vs reusable instruments in laparoscopic cholecystectomy. *Surgical Endoscopy*, 10 (5), S. 520-525.
- Dennhöfer, E. (2016): Dampfsterilisation, in: Wismer, G. und T. Zanette (Hrsg.): *Handbuch Sterilisation – von der Reinigung bis zur Bereitstellung von Medizinprodukten*, 6. Auflage (S. 294-321), Wiesbaden.
- Diamant, A., J. Milner, F. Queresby und B. Xu (2018): Inventory management of reusable surgical supplies, *Health Care Management Science*, 21 (3), S. 439-459.
- DIN e. V. (Hrsg.) (2015): *DIN EN ISO 9000:2015-11, Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe*, Berlin.
- DIN e. V. (Hrsg.) (2018): *DIN EN ISO 17664:2018-04, Aufbereitung von Produkten für die Gesundheitsfürsorge – Vom Medizinprodukt-Hersteller bereitzustellende Informationen für die Aufbereitung von Medizinprodukten*, Berlin.
- Dobson, G., A. Seidmann, V. Tilson und A. Froix (2015): Configuring surgical instrument trays to reduce costs, *IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering*, 5 (4), S. 225-237.
- Dollevoet, T., J. T. van Essen und K. M. Glorie (2018): Solution methods for the tray optimization problem, *European Journal of Operational Research*, 271 (3), S. 1070-1084.
- Donabedian, A. (1966): Evaluating the quality of medical care, *Milbank Memorial Fund Quarterly*, 44 (3), S. 166–203.
- Driessen, S. R. C., E. M. Sandberg, S. P. Rodrigues, E. W. van Zwet und F. W. Jansen (2017): Identification of risk factors in minimally invasive surgery: a prospective multicenter study *Surgical Endoscopy*, 31 (6), S. 2467-2473.
- Dudenredaktion (o. J.): „Chirurgie“ auf Duden online zuletzt abgerufen am 17.08.2019 unter <https://www.duden.de/node/713429/revisions/1380643/view>.
- Dyas, A. R., K. M. Lovell, C. J. Balentine, T. N. Wang, J. R. Porterfield Jr., H. Chen, B. M. und Lindeman (2018): Reducing cost and improving operating room efficiency: examination of surgical instrument processing, *Journal of Surgical Research*, 229, S. 15-19.
- Eichhorn, P. und J. Merk (2016): *Das Prinzip der Wirtschaftlichkeit – Basiswissen der Betriebswirtschaftslehre*, 4. Auflage, Wiesbaden.

- von Eiff, M. C., W. von Eiff, A. Roth und M. Ghanem (2019): Process optimization in total knee arthroplasty procedures: Impact of size-specific instrument sets on costs and revenue. *Orthopade*, 48 (11), S. 963-968.
- von Eiff, W. (2006): Beschaffungsmanagement für OP-Produkte: Die Kosten des Risikos als Entscheidungsgrundlage, in: Ansorg, J., M. Diemer, A. Schleppers, J. Heberer und W. von Eiff (Hrsg.): *OP-Management*, (S. 451-465), Berlin.
- von Eiff, W. (2009a): Beschaffungsmanagement für OP-Produkte: Die Kosten des Risikos als Entscheidungsgrundlage, in: Ansorg, J., M. Diemer, J. Heberer, E. Tsekos und W. von Eiff (Hrsg.): *OP-Management*, 2. Aufl. (S. 653-666), Berlin.
- von Eiff, W. (2009b): IT-gestützte Versorgungssysteme zur Optimierung der Logistik für OP und Intensivstation, in: Ansorg, J., M. Diemer, J. Heberer, E. Tsekos und W. von Eiff (Hrsg.): *OP-Management*, 2. Aufl. (S. 667-679), Berlin.
- von Eiff, W. (2011): Wiederaufbereitung von Einweginstrumenten – Die Wirtschaftlichkeit des Klinikbetriebs erhöhen, *Health&Care Management*, 2 (12), S. 36-40.
- von Eiff, W. (2015): Prozesse, Methoden und Instrumente des klinischen Risikomanagements, in: Diemer, M., C. Taube, J. Ansorg, J. Heberer und W. von Eiff (Hrsg.): *Handbuch OP-Management*, (S. 661-678), Berlin.
- Eilrich, J. (2019): Digitalisierungsrückstand deutscher Krankenhäuser: Bilanz und Ursachen, *das Krankenhaus*, 6, S. 456-458.
- Engelhard, W. (2008): “§12”, in: Schlegel, R. und K. Engelmann (Hrsg.): *Juris Praxiskommentar zu SGB V – Gesetzliche Krankenversicherung*, (S. 192-221), Saarbrücken.
- Ernst C., A. Szczesny, N. Soderstrom, F. Siegmund und A. Schleppers (2012): Success of commonly used operating room management tools in reducing tardiness of first case of the day starts: evidence from German hospitals, *Anesthesia & Analgesia*, 115 (3), S. 671-677.
- Ewert, R., und A. Wagenhofer (2014): *Interne Unternehmensrechnung*, Berlin/Heidelberg.
- Fan D., Y. Li, X. Wang, T. Zhu, Q. Wang, H. Cai, W. Li, Y. Tian und Z. Liu Z (2020): Progressive 3D Printing Technology and Its Application in Medical Materials, *Frontiers in Pharmacology*, 11, Art. 122.
- Farrelly, J.S., C. Clemons, S. Witkins, W. Hall, E. R. Christison-Lagay, D. E. Ozgediz, R. A. Cowles, D. H. Stitelman und M. G. Caty (2017): Surgical tray optimization as a simple means to decrease perioperative costs, *Journal of Surgical Research*, 220, S. 320-326.

- Farrokhi, F. R., M. Gunther, B. Williams und C. C. Blackmore (2015): Application of Lean Methodology for Improved Quality and Efficiency in Operating Room Instrument Availability, *Journal for Healthcare Quality*, 37 (5), S. 277-286.
- Feibert, D. C., B. Andersen und P. Jacobsen (2019): Benchmarking healthcare logistics processes – a comparative case study of Danish and US hospitals, *Total Quality Management & Business Excellence*, 30 (1-2), S. 108-134.
- Felber, A. und J. Müller (2004): Sicherheit im Umgang mit Medizinprodukten, *Gynäkologe*, 37, S. 45-50.
- Fengler, T. W., H. Pahlke, S. Bisson und E. Krass (2000): The clinical suitability of laparoscopic instrumentation – A prospective clinical study of function and hygiene, *Surgical Endoscopy*, 14, S. 388-394.
- Fleischer W. (2012): OP-Organisation – Erste Hilfe für das Herzstück, *Deutsches Ärzteblatt*, 109 (50), S. A-2555-A-2556.
- Fogliatto, F. S., M. J. Anzanello, L. M. Tonetto, D. S. S. Schneider und A. M. Muller Magalhães (2020): Lean-healthcare approach to reduce costs in a sterilization plant based on surgical tray rationalization, *Production Planning & Control*, 31 (6), S. 483-495.
- Frese-Meier, C. (2015): ZSVA – Aufgaben, Organisation, Schnittstellen, in: Diemer, M., C. Taube, J. Ansorg, J. Heberer und W. von Eiff (Hrsg.): *Handbuch OP-Management*, S. 793-806, Berlin.
- Frodl, Andreas (2012): *Logistik und Qualitätsmanagement im Gesundheitsbetrieb: Betriebswirtschaft für das Gesundheitswesen*, Wiesbaden.
- Gabler Wirtschaftslexikon (o. J.): Stichwort Fristigkeit. Springer Gabler. Online-Dokument, abgerufen am 30.12.2019, unter <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/fristigkeit-33240/version-256767>.
- Gaßner, M. und M. Reich-Malter (2006): Die Haftung bei fehlerhaften Medizinprodukten und Arzneimitteln -- Recht und Rechtsprechung, *Medizinrecht*, 3, S. 147-152.
- Gidumal, S., M. Gray, S. Oh, M. Hirsch, J. Rouso und J. Rosenberg (2021): Utilization fraction of rhinoplasty instrument sets: Model for efficient use of surgical instruments, *American Journal of Otolaryngology*, 42 (1), Artikelnr. 102764.
- Giovanettoni, L. und G. Kirmse (2016): Instrumentenkunde und -pflege, in: Wismer, G. und T. Zanette (Hrsg.): *Handbuch Sterilisation – von der Reinigung bis zur Bereitstellung von Medizinprodukten*, 6. Auflage (S. 48-90), Wiesbaden.

- Goldberg, T.D., J. A. Maltry, M. Ahuja, J. A. Inzana (2019): Logistical and Economic Advantages of Sterile-Packed, Single-Use Instruments for Total Knee Arthroplasty, *Journal of Arthroplasty*, 34 (9), S. 1876-1883.
- Gottmann, J. (2016): *Produktionscontrolling: Wertströme und Kosten optimieren*, Wiesbaden.
- Grimes, K. L., C. Scott und C. R. McHenry (2018): Cost variation and opportunities for cost reduction for laparoscopic cholecystectomy, *Surgery*, 163 (3), S. 617-621.
- Grüning, S. (2006): Schnittstelle OP/ZSVA (Aufbereitungskreislauf des OP-Instrumentariums), in: Ansorg, J., M. Diemer, A. Schleppers, J. Heberer und W. von Eiff (Hrsg.): *OP-Management*, (S. 434-440), Berlin.
- Guédon, A. C. P., L. S. G. L. Wauben, A. C. van der Eijk, A. S. N. Vernooij, F. C. Meeuwssen, M. van der Elst, V. Hoeijmans, J. Dankelman und J. J. van den Dobbelsteen (2016): Where are my instruments? Hazards in delivery of surgical instruments, *Surgical Endoscopy*, 30 (7), S. 2728-2735.
- von dem Hagen, T. (2016): Formaldehyd-Sterilisation, in: Wismer, G. und T. Zanette (Hrsg.): *Handbuch Sterilisation – von der Reinigung bis zur Bereitstellung von Medizinprodukten*, 6. Auflage (S. 343-368), Wiesbaden.
- Harders, M., M. A. Malangoni, S. Weight und T. Sidhu (2006): Improving operating room efficiency through process redesign, *Surgery*, 140 (4), S. 509-514.
- Harvey, L., P. Slocum, J. Heft, M. van Meter, B. Lovett und R. Adam (2017a): Gynecologic surgery instrument trays: Leveraging surgeon knowledge to improve supply chain efficiency, *Journal of Gynecologic Surgery*, 33(5), S. 180-183.
- Harvey, L., K. Smith und H. Curlin (2017b): Physician Engagement in Improving Operative Supply Chain Efficiency Through Review of Surgeon Preference Cards, *Journal of Minimally Invasive Gynecology*, 24 (7), S. 1116-1120.
- Hirner, A und K. Weise (2004): *Chirurgie – Schnitt für Schnitt*, Stuttgart.
- Hubert, B. (2016): *Grundlagen des operativen und strategischen Controllings*, Wiesbaden.
- Hugo, C., F. Weinig und M. Wepf (2016): “Qualitätsmanagement”, in: Wismer, G. und T. Zanette (Hrsg.): *Handbuch Sterilisation – von der Reinigung bis zur Bereitstellung von Medizinprodukten*, 6. Auflage (S. 425-444), Wiesbaden.
- Ischinger, T. A., G. Neubauer, R. Ujlaky, H. Schätzl und M. Bock (2002): Wiederverwendung von medizinischen Einwegprodukten nach qualitätsgesicherter Wiederaufbereitung: ein Modell zur Kostendämpfung?, *Zeitschrift für Kardiologie*, 91 (11), S. 889-898.

- Ibbotson, S., T. Dettmer, S. Kara und C. Herrmann (2013): Eco-efficiency of disposable and reusable surgical instruments – a scissors case, *The international journal of life cycle assessment*, 18 (5), S. 1137-1148.
- Jäkel, C. (2008): Rechtliche Rahmenbedingungen für die Aufbereitung von Medizinprodukten, *Hygiene & Medizin*, 33, S. 296-298.
- Jäkel, C. (2016): Rechtliche Grundlagen der Aufbereitung von Medizinprodukten in Deutschland, in: Wismer, G. und T. Zanette (Hrsg.): *Handbuch Sterilisation*, 6. Auflage (S. 398-405), Wiesbaden.
- Jerosch J., W. Attmanspacher (2000): Operationsinstrumente – Standardsiebe, in: Jerosch J., W. Attmanspacher (Hrsg.): *Standardoperationen in Orthopädie und Unfallchirurgie*, (S. 82-86), Heidelberg.
- Jeuken, P. (2009): Siebdokumentation, in: Ansorg, J., M. Diemer, J. Heberer, E. Tsekos und W. von Eiff (Hrsg.): *Handbuch OP-Management*, 2. Auflage (S. 637-639), Berlin.
- John-Baptiste, A., L. J. Sowerby, C. J. Chin, J. Martin und B. W. Rotenberg (2016): Comparing surgical trays with redundant instruments with trays with reduced instruments: a cost analysis, *CMAJ Open*, 4 (3), S. E404-E408.
- Jung, H. (2006): *Allgemeine Betriebswirtschaftslehre*, 10. Auflage, München.
- van de Klundert, J., P. Muls und M. Schadd (2008): Optimizing sterilization logistics in hospitals, *Health Care Management Science*, 11, S. 23-33.
- van der Kooij, S. und K. Glorie (2015): Creating a benchmark for the tray optimization problem, *Research Paper*, Vrije Universiteit, Amsterdam.
- Kern, B.-R. und M. Reuter (2014): Haftung für Hygienemängel – unter besonderer Berücksichtigung der aktuellen Rechtsprechung und des Patientenrechtegesetzes, *Medizinrecht*, 32, S. 785-791.
- Koyle, M. A., N. AlQarni, R. Odeh, H. Butt, M.M. Alkahtani, L. Konstant und G. R. Baker (2018): Reduction and standardization of surgical instruments in pediatric inguinal hernia repair, *Journal of pediatric urology*, 14 (1), S. 20-24.
- Kriegel, J. (2012): *Krankenhauslogistik: Innovative Strategien für die Ressourcenaufbereitung und Prozessoptimierung im Krankenhauswesen*, Wiesbaden.
- KRINKO und BfArM (2012): Anforderungen an die Hygiene bei der Aufbereitung von Medizinprodukten – Empfehlung der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) beim Robert Koch-Institut (RKI) und des Bundesinstitutes für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM), *Bundesgesundheitsblatt*, 55, S. 1244-1310.

- Krohn, M., T. Mickley und Prof. Dr. S. Fleßa (2017): Sterilgutversorgung – Das sollten Sie zu den Kosten und Prozessen wissen, *Klinik Management aktuell*, 22 (11), S. 86-87.
- Krohn, M., J. Fengler, T. Mickley und S. Flessa (2019): Analysis of processes and costs of alternative packaging options of sterile goods in hospitals – a case study in two German hospitals, *Health Economics Review*, 9 (1), S. 1-17.
- Laustsen, G. (2007): Reduce – Recycle – Reuse: Guidelines for Promoting Perioperative Waste Management, *Association of perioperative Registered Nurses Journal*, 85 (4), S. 717-728.
- Lee, D. J., J. Ding und T. J. Guzzo (2019): Improving Operating Room Efficiency, *Current Urology Reports*, 20 (6), S. 28.1-28.8.
- Lidwell, O. M., E. J. L. Lowbury, W. Whyte, R. Blowers, S. J. Stanley und D. Lowell (1983): Airborne contamination of wounds in joint replacement operations: the relationship to sepsis rates, *Journal of Hospital Infection*, 4 (2), S. 111-131.
- Lim, C.H., M. G. Choi, W. C. Kim, J. S. Kim, Y. K. Cho, J. M. Park, I. S. Lee, S. W. Kim, K. Y. Choi und I. S. Chung (2012): Performance and cost of disposable biopsy forceps in upper gastrointestinal endoscopy: comparison with reusable biopsy forceps, *Clinical Endoscopy*, 45 (1), S. 62-66.
- Lücker, V. (2008): Rechtliche Grundlagen zur Hygiene, *Arthroskopie*, 21, 74-79.
- Luther, B. (2014): *Techniken der offenen Gefäßchirurgie: Standards, Taktiken, Tricks*, Berlin/Heidelberg.
- Machline, C. (2008). A new kind of operations inventory: The pre-assembled kit, *Journal of Operations and Supply Chain Management*, 1 (1), S. 24-28.
- Manatakis, D. K. und N. Georgopoulos (2014): Reducing the Cost of Laparoscopy: Reusable versus Disposable Laparoscopic Instruments, *Minimally Invasive Surgery*, online veröffentlicht, DOI: 10.1155/2014/408171.
- Malone, E., J. Baldwin, J. Richman, R. Lancaster, H. Krontiras und C. Parker (2019): The Impact of Breast Lumpectomy Tray Utilization on Cost Savings, *Journal of Surgical Research*, 233, S. 32-35.
- McGain, F., D. Story, T. Lim und S. McAlister (2017). Financial and environmental costs of reusable and single-use anaesthetic equipment, *British Journal of Anaesthesia*, 118 (6), S. 862-869.
- van Meter, M. M. und R. A. Adam (2016): Costs associated with instrument sterilization in gynecologic surgery, *American Journal of Obstetrics*, 215 (5), S. 652.e1-652.e5.

- Mewis, D. (2018): Die Sterilisierung von Medizinprodukten, *Im OP*, 2018 (8): 252-254.
- Mhlaba, J. M., E. W. Stockert, M. Coronel und A. J. Langerman (2015): Surgical instrumentation: the true cost of instrument trays and a potential strategy for optimization, *Journal of Hospital Administration*, 4 (6), S. 82-88.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J. und Altman, D. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement, *Annals of Internal Medicine*, 151(4), S. 264-269.
- Moons, K., G. Waeyenbergh und L. Pintelon (2018): Measuring the logistics performance of internal hospital supply chains – a literature study, *Omega*, 83, S. 205-217.
- Muro-Fraguas, I., A. Sainz-García, M. López, B. Rojo-Bezares, R. Múgica-Vidal, E. Sainz-García, P. Toledano, Y. Sáenz, A. González-Marcos und F. Alba-Elías, (2020). Antibiofilm coatings through atmospheric pressure plasma for 3D printed surgical instruments, *Surface & Coatings Technology*, 399, Artikelnr. 126163.
- Muscarella, L.F. (2001): Biopsy forceps: disposable or reusable?, *Gastroenterology Nursing*, 24, S. 64-68.
- Nast, K. und K. A.Swords (2019): Decreasing operating room costs via reduction of surgical instruments, *Journal of Pediatric Urology*, 15 (2), S. 153.e1-153.e6.
- Nickel, Stefan, Stein, Oliver und Karl-Heinz Waldmann (2014): *Operations Research*, 2. Aufl., Berlin/Heidelberg.
- Nino, V., D. Claudio, L. Valladares, und S. Harris (2020): An Enhanced Kaizen Event in a Sterile Processing Department of a Rural Hospital: A Case Study, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17 (23), Artikelnr. 8748.
- OECD (2019): *Health at a Glance 2019: OECD Indicators*, OECD Publishing, Paris.
- Oswald, J. und K. Goedereis (2019): Voraussetzungen und Potenziale des digitalen Krankenhauses, in: Klauber J, Geraedts M, Friedrich J, Wasem J (Hrsg.): *Krankenhaus-Report 2019. Schwerpunkt: Das digitale Krankenhaus*. Springer, Berlin, S. 49-66.
- Panahi, P., M. Stroh, D. S. Casper, J. Parvizi und M.S. Austin (2012): Operating Room Traffic is a Major Concern During Total Joint Arthroplasty, *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 470 (10), S. 2690-2694.
- Park, K. und C. Dickerson (2009): Can efficient supply management in the operating room save millions? *Current Opinion Anaesthesiology*, 22 (2), S. 242-248.

- Petzold, T., F. Walther und J. Schmitt (2018): Wie ist Qualität im deutschen Gesundheitssystem definiert? Eine systematische Analyse deutscher Gesetzestexte und Richtlinien, *Gesundheitsökonomie & Qualitätsmanagement*, 23 (4), S. 194-204.
- Poulin, E. (2003): Benchmarking the hospital logistics process – A potential cure for the ailing health care sector, *CMA Management*, 77 (1), S. 21-23.
- Prat, F., J. F. Spieler, S. Paci, C. Pallier, J. Fritsch, A. D. Choury, G. Pelletier, S. Raspaud, P. Nordmann und C. Buffet (2004): Reliability, cost-effectiveness, and safety of reuse of ancillary devices for ERCP, *Gastrointestinal Endoscopy*, 60 (2), S. 246-52.
- Rankin, T.M., N. A. Giovinco, D. J. Cucher, G. Watts, B. Hurwitz und D. G. Armstrong (2014): Three-dimensional printing surgical instruments: are we there yet?, *Surgical Research*, 189 (2), S. 193-197.
- Redaktionsnetzwerk Deutschland (2020): Tonnenweise Einweg-Edelstahl aus Krankenhäusern landet im Müll, abgerufen am 3.11.2020 unter <https://www.rnd.de/gesundheit/einweg-statt-mehrweg-edelstahl-mull-in-deutschen-kliniken-und-arzt-praxen-2R44J3KWMI KSOTRX6MPBIHLB5M.html>.
- Reichmann, T., M. Kibler und U. Baumöl (2017): Controlling mit Kennzahlen: Die systemgestützte Controlling-Konzeption, 9. Auflage, München.
- Reinecke, André (2015a): Instrumentenmanagement, in: Diemer, M., C. Taube, J. Ansorg, J. Heberer und W. von Eiff (Hrsg.): *Handbuch OP-Management*, S. 769-772, Berlin.
- Reinecke, André (2015b): Instrumentenmanagement, in: Diemer, M., C. Taube, J. Ansorg, J. Heberer und W. von Eiff (Hrsg.): *Handbuch OP-Management*, S. 779-782, Berlin.
- Reymondon, F., B. Pellet, und E. Marcon (2008): Optimization of hospital sterilization costs proposing new grouping choices of medical devices into packages, *International Journal of Production Economics*, 112 (1), S. 326-335.
- Riedl, S. (2002): Modernes Operationsmanagement im Workflow Operation – Aufgabenspektrum und Herausforderungen der Zukunft, *Chirurg*, 73, S. 105-110.
- Robert Koch-Institut (2015): *RKI-Fachwörterbuch Infektionsschutz und Infektions-epidemiologie*, Berlin.
- Rodrigues, S. P., ter Kuile, M., Dankelman, J. und Jansen, F. W. (2012): Patient safety risk factors in minimally invasive surgery: a validation study. *Gynecological Surgery*, 9 (3), S. 265-270.
- Rosenblatt, W. H. und D. G. Silverman (1994): Cost-effective Use of Operating Room Supplies Based on the REMEDY – Database of Recovered Unused Materials, *Journal of Clinical Anesthesia*, 6 (5), S. 400-404.

- Ross, A. D. und V. Jayaraman (2009): Strategic Purchases of Bundled Products in a Health Care Supply Chain Environment, *Decision Science*, 40 (2), S. 269-293.
- Salzbrunn, R. (2016): Ethylenoxid-Sterilisation, in: Wismer, G. und T. Zanette (Hrsg.): *Handbuch Sterilisation – von der Reinigung bis zur Bereitstellung von Medizinprodukten*, 6. Auflage (S. 369-386), Wiesbaden.
- dos Santos, B. M., F. S. Fogliatto, C. M. Zani und F. A. P. Peres (2020): Approaches to the rationalization of surgical instrument trays: Scoping review and research agenda, *Verabversion online veröffentlicht*, DOI: 10.21203/rs.3.rs-131587/v1.
- Schaer, G. N., O. R. Koeehli und U. Hailer (1995): Single-use versus reusable laparoscopic surgical instruments: A comparative cost analysis, *American Journal of Obstetrics & Gynecology*, 173 (6): 1812-1815.
- Schmeck J, S. B. Schmeck, W. Kohnen, C. Werner, M. Schäfer und H. Gervais (2008): Bedeutung der Materiallogistik im Schnittstellenmanagement der Operationsabteilungen, *Anaesthesist*, 57 (8), S. 805-811.
- Schmidt-Rettig, B. (2008): Leistungsstrukturen, in Schmidt-Rettig, B. und Eichhorn, S., Stuttgart, S. 217-250.
- Schilling, B., C. Wolf, P. Wagner und I. Mock (2016): Verpackung, in: Wismer, G. und T. Zanette (Hrsg.): *Handbuch Sterilisation*, 6. Auflage (S. 398-405), Wiesbaden.
- Schüpfer, Guido (2006): Allgemeine Materialwirtschaft und Logistik für OP-Manager, in: Ansorg, J., M. Diemer, A. Schleppers, J. Heberer und W. von Eiff (Hrsg.): *OP-Management*, (S. 428-432), Berlin.
- Schwartz, F. W., E. M. Bitzer H. Dörning und U. Walter (2006): Evaluation und Qualitätssicherung im Gesundheitswesen, in: Hurrelmann K, U. Laaser und O. Razum (Hrsg.): *Handbuch Gesundheitswissenschaften*, 4. Aufl. (S. 1169-1200), Weinheim.
- Schwarz, N., M. Windisch und H. Ruppig (2005): Aufbereitung von chirurgischen Instrumenten und Implantaten. *OP-Journal*, 21 (1), S. 4-9.
- Schweitzer, M. (2011): Planung und Steuerung, in: Bea, F. X. und M. Schweitzer (Hrsg.): *Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Band 2: Führung*, 10. Auflage (S. 38-177), Stuttgart.
- Sherman, J. D., L. A. Raibley und M. J. Eckelman (2018): Life Cycle Assessment and Costing Methods for Device Procurement: Comparing Reusable and Single – Use Disposable Laryngoscopes, *Anesthesia & Analgesia*, 127 (2), S. 434-443.

- Shilo D., O. Emodi, O. Blanc, D. Noy und A. Rachmiel (2018): Printing the Future - Updates in 3D Printing for Surgical Applications, Rambam Maimonides Medical Journal, 9 (3), online veröffentlicht, DOI: 10.5041/RMMJ.10343.
- Siu, J., A. G. Hill und A. D. MacCormick (2017): Systematic review of reusable versus disposable laparoscopic instruments: costs and safety, ANZ Journal of Surgery, 87 (1-2), S. 28-33.
- Slater M., M.I. Booth und TC B Dehn (2009): Cost-effective laparoscopic cholecystectomy, Annals of the Royal College of Surgeons of England, 91 (8), S. 670-672.
- Smith, A. (2020): Framework for Establishing Asset Visibility and Traceability of Medical Devices, Dissertation, Massachusetts Institute of Technology.
- Smits, T., G. Schüpfer und R. Babst (2005): OP-Organisation und OP-Koordination. OP-Journal, 21 (1), S. 10-14.
- Souza-Offtermatt, G., K.-H. Staubach, P. Sterk, A. Udolph, J. Nolde und M. J. Melullis (2004): Intensivkurs Chirurgie, München.
- Stähly, P. (1980) Integrierte Planung, in: Henn, R., Schips, B., Stähly, P. (Hrsg.): Quantitative Wirtschafts- und Unternehmensforschung, (S. 550-559), Berlin/Heidelberg.
- Statistisches Bundesamt. (Destatis) (2021): Gesundheitsausgabenrechnung, Code 23611, Daten von 1992 bis 2018, abgerufen am 1.2.2021 von <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=previous&levelindex=0&step=0&title=Statistik+%28Tabellen%29&levelid=1592154038047&acceptscookies=false#abreadcrumb>.
- Statistisches Bundesamt. (Destatis) (2020): Pressemitteilung Nr. 164 vom 12. Mai 2020, abgerufen am 13.6.2020 von https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/05/PD20_164_23611.html.
- Stiller, E. (2013): Vertragsmodelle-Am richtigen Ende gespart, abgerufen am 30.11.2020 von <https://www.kma-online.de/aktuelles/management/detail/am-richtigen-ende-gespart-a-26945>.
- Stockert, E. W. und A. Langerman (2014): Assessing the magnitude and costs of intraoperative inefficiencies attributable to surgical instrument trays, Journal of the American College of Surgeons, 219 (4), S. 646-655.
- Thiede, B. und A. Kramer (2013): Evaluation of reprocessing medical devices in 14 German regional hospitals and at 27 medical practitioners offices within the European context - consequences for European harmonization, GMS Hygiene and Infection Control, 8 (2), online veröffentlicht, DOI: 10.3205/dgkh000220.

- Thommen, J.-P., A.-K. Achleitner, D. U. Gilbert, D. Hachmeister und G. Kaiser (2017): Allgemeine Betriebswirtschaftslehre – Umfassende Einführung aus managementorientierter Sicht, 8. Auflage, Wiesbaden.
- Tibesku, C. O., P. Hofer, W. Portegies, C. J. M. Ruys, P. Fennema (2013) Benefits of using customized instrumentation in total knee arthroplasty: results from an activity-based costing model, *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 133 (3), S. 405-411.
- Tischer, C. (2006): Kunden- und Prozessorientierung, in: Ansorg, J., M. Diemer, A. Schleppers, J. Heberer und W. von Eiff (Hrsg.): *OP-Management*, (S. 246-258), Berlin.
- Vasios, N., M. Verroiotou, G. Komninos, S. Arapoglou und G. Fragandreas (2013): Study of the cost of mainly reusable equipment for laparoscopic cholecystectomy, *Hellenic Journal of Surgery*, 85 (2), S. 101-104.
- Vera A. und L. Kuntz (2007): Prozessorientierte Organisation und Effizienz im Krankenhaus. *FfbB, Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, 59 (2), S. 173-197.
- Verdaasdonk, E. G. G., L. P. S. Stassen, M. van der Elst, T. M. Karsten und J. Dankelman (2007): Problems with technical equipment during laparoscopic surgery - An observational study, *Surgical Endoscopy*, 21 (2), S. 275-279.
- Volland, J., A. Fügener, J. Schoenfelder und J. O. Brunner (2017): Material logistics in hospitals: A literature review, *Omega*, 69 (18), S. 82-101.
- de Vries, J. (2011): The shaping of inventory systems in health services: A stakeholder analysis, 133 (1), S. 69-69.
- Waesche, R. M., J. Hinz, F. Bleeker, B. Sliwa, A. Popov, C. E. Schmidt und M. Bauer (2015): Mythos OP-Minute – Leitfaden zur Kalkulation von DRG-Erlösen pro OP-Minute, *Anaesthesist*, 65, S. 137-147.
- Wannemuehler, T. J., A. N. Elghouche, M. S. Kokoska, C. R. Deig und B. H. Matt (2015): Impact of Lean on surgical instrument reduction: Less is more, *The Laryngoscope*, 125 (12), S. 2810-2815.
- Weber, W., R. Kabst und M. Baum (2014): Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, 9. Auflage, Wiesbaden.
- Weerakkody, R. A., N. J. Cheshire, C. Riga, R. Lear, M. S. Hamady, K. Moorthy, A. W. Darzi, C. Vincent und C. D. Bicknell (2013): Surgical technology and operating-room safety failures: a systematic review of quantitative studies, *BMJ Quality & Safety*, 22 (9), S. 710-718.

- Weiss, A., H. M. Hollandsworth, A. Alseidi, L. Scovel, C. French, E. L. Derrick und D. Klaristenfeld (2016): Environmentalism in surgical practice, *Current Problems in Surgery*, 53 (4), S. 165–205.
- Wienke, A., L. Hübner und G. Gahn (2020): Facharztstandard und Leitlinien im Arzt haftungsrecht, *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Neurologie* 3, S. 565-567.
- Witte, C. (2016): Wasserstoffperoxid-Plasmasterilisation, in: Wismer, G. und T. Zanette (Hrsg.): *Handbuch Sterilisation – von der Reinigung bis zur Bereitstellung von Medizinprodukten*, 6. Auflage (S. 322-342), Wiesbaden.
- Whyte, W., R. Hodgson und J. Tinkler (1982): The importance of airborne bacterial contamination of wounds, *Journal of Hospital Infection*, 3 (2), S. 123-135.
- Wöhe, G. und U. Döring (2008): *Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre*, München.
- Wolter, J. (2012): Finanzierungslösungen für kleinteiligere Investitionsgüter, abgerufen am 30.11.2020 von <https://www.management-krankenhaus.de/topstories/medizin-technik/finanzierungsloesungen-fuer-kleinteiligereninvestitionsgueter>.
- Wong, J., K. J. Khu, Z. Kaderali, und M. Bernstein (2010): Delays in the operating room: signs of an imperfect system, *Canadian Journal of Surgery*, 53 (3), S. 189-195.
- Wubben, I., J. G. van Manen, B. J. van den Akker, S. R. Vaartjes und W. H. van Harten (2010): Equipment-related incidents in the operating room: analysis of occurrence, underlying causes and consequences for the clinical process, *Quality and Safety in Health Care*, online veröffentlicht, DOI: 10.1136/qshc.2009.037515.
- Yoon, S., C. C. Zygourakis, J. Seaman, M. Zhu, A. K. Ahmed, T. Kliot, S. Antrum und A. N. Goldberg (2019). Implementation and Impact of a Hospital-Wide Instrument Set Review: Early Experiences at a Multisite Tertiary Care Academic Institution, *American Journal of Medical Quality*, 34 (1), S. 67-73.
- Yung, E., M. Gagner, A. Pomp, G. Dakin, L. Milone und G. Strain (2010): Cost Comparison of Reusable and Single-Use Ultrasonic Shears for Laparoscopic Bariatric Surgery, *Obesity Surgery*, 20 (4), S. 512-518.
- Zaiss E. (2018): Wenn die Aufbereitung auswandert, *Im OP*, 08 (06), S. 242-249.
- Zanette, T. (2016): Grundsätzliches zur Sterilisation, in: Wismer, G. und T. Zanette (Hrsg.): *Handbuch Sterilisation-von der Reinigung bis zur Bereitstellung von Medizinprodukten*, 6. Auflage (S. 292-293), Wiesbaden.
- Zapp, W. (2008): Prozessorganisation, in Schmidt-Rettig, B. und Eichhorn, S., Stuttgart, S. 251-279.

Anhang 1: Auszug Praxisdaten

| Soll | Artikelnr. | Bezeichnung in Kurzform |
|------|----------------|--|
| 1 | 1 JK442 | Containerwanne 1/1 Höhe 130mm (AESCULAP) |
| 2 | 1 JK489 | Containerdeckel 1/1 silber (AESCULAP) |
| 3 | | - |
| 4 | | Siebkorb unten |
| 5 | 1 JH212R | Siebkorb große Perforation 1/1 Höhe 50mm (AESCULAP) |
| 6 | | - |
| 7 | | Von rechts oben nach unten |
| 8 | 1 EL702R | Scheidenspekula, 180x40mm, nach BREISKY (AESCULAP) |
| 9 | 1 EL695R | Scheidenspekulum n. Breisky, 130 x 3 0 mm (AESCULAP) |
| 10 | 1 EL694R | Scheidenspekulum n. Breisky, 130 x 25 mm (AESCULAP) |
| 11 | 1 EL693R | Scheidenspekulum n. Breisky, 130 x 20 mm (AESCULAP) |
| 12 | 1 EL704R | Scheidenspekulum n. Breisky, 100 x 25 mm (AESCULAP) |
| 13 | | - |
| 14 | 1 EL746R | Griff allein z.m. Spekulum n. Scherback (AESCULAP) |
| 15 | 1 EL747R | Gewicht allein z.m. Spekulum n. Scherback (AESCULAP) |
| 16 | | - |
| 17 | | Leicht ineinanderstecken |
| 18 | 2 BD537R | Pinzette, chir., mittelbreit Standars 1 x 2 Zähne, 145 mm (AESCULAP) |
| 19 | 2 BD561R | Pinzette, chir., 1 x 2 Zaehne, 200 mm (AESCULAP) |
| 20 | 2 FR415R | Pinzette, atra., Maul 2, 8 mm breit, 200 mm (AESCULAP) |
| 21 | | - |
| 22 | | Von links oben nach unten |
| 23 | 1 EL457R | Scheidenhalter n. Kristeller, 115 x 26 mm (AESCULAP) |
| 24 | 1 EL447R | Scheidenspekulum n. Kristeller, 110 x 3 0 mm (AESCULAP) |
| 25 | 1 EL743R | Blatt z.m. Spekulum n. Scherback, 85 x 40 mm (AESCULAP) |
| 26 | 1 EL742R | Blatt z.m. Spekulum n. Scherback, 85 x 35 mm (AESCULAP) |
| 27 | | - |
| 28 | 1 80-900-21 | Pinzette, Anat.isol. o. Buchse, 21cm (KLS-MARTIN) |
| 29 | 1 80-984-20-04 | Non-Stick Red, stumpf (KLS-MARTIN) |
| 30 | 1 20190-045 | HF-Handgriff schwarz ERBE (ERBE) |
| 31 | 1 20192-127 | HF-Kabel, monopolar, 4 m (für VIA, ICC, ACC - Standard) Erbe (ERBE) |
| 32 | 1 20196-057 | HF-Kabel bipolar ERBE (ERBE) |
| 33 | 1 21191-001 | Messerelektrode, schmal (ERBE) |
| 34 | 1 21191-025 | Kugelelektrode groß (ERBE) |
| 35 | | - |
| 36 | 5 BF464R | Klemmschild (Interlock) |
| 37 | | - |
| 38 | | Oberer Siebkorb |
| 39 | | - |
| 40 | | Von links nach rechts |
| 41 | 5 BF058R | Kornzange n. Maier, m. Sperre, ger., 265 mm (AESCULAP) |
| 42 | 3 EO110R | Hakenzange n. Schroeder, 250 mm (AESCULAP) |
| 43 | 2 BH470R | Arterienklemme n. Pean, ger., 240 mm (AESCULAP) |
| 44 | 2 BJ531R | atraumatische Hysterektomieklammer n. Heany, geb., 220 mm (AESCULAP) |
| 45 | 2 BJ532R | Hysterektomieklammer, 216mm, atraumatisch, nach HEANY (AESCULAP) |
| 46 | 2 BJ022R | Praeparierklemme n. Overholt-Geissendoerfer, Fig.2 (AESCULAP) |
| 47 | | - |
| 48 | 1 BM102R | Durogrip-Nadelhalter n. Wertheim, 300 mm (AESCULAP) |
| 49 | 1 BM101R | Nadelhalter n. Wertheim, 240 mm (AESCULAP) |
| 50 | 2 BM067R | Nadelhalter n. Hegar-Mayo, 205 mm Durogrip (AESCULAP) |
| 51 | 1 BC265R | Durotip-Praeparierschere Metzzenbaum, geb., 200 mm (AESCULAP) |
| 52 | 1 BC290R | Durotip-Uterusschere n. Sims, geb. stumpf/stumpf, 200 mm (AESCULAP) |
| 53 | | - |
| 54 | 1 BC741R | Uterusschere n. Sims, geb., stumpf/stumpf, 200 mm (AESCULAP) |
| 55 | 1 BC231R | Durotip chir. Schere, geb. stumpf/stumpf, 145 mm (AESCULAP) |
| 56 | 1 BC284W | Durotip-Schere m. Wellenschliff, geb., 165 mm (AESCULAP) |
| 57 | 8 BH614R | Klemme Kocher, gerade, 140 mm (AESCULAP) |
| 58 | 4 BH615R | Arterienklemme n. Kocher, geb., 1 x 2 Zaehne, 140 mm (AESCULAP) |
| 59 | 6 EA010R | Darmfasszange, 155mm, 5x6 Zähne, nach BOYS-ALLIS (AESCULAP) |
| 60 | | - |
| 61 | | Oben rechts im Sieb |
| 62 | 1 EL748R | Blatt zum Spekula, 80x45-70mm, nach SCHERBACK (AESCULAP) |
| 63 | 1 EL745R | Blatt z.m. Spekulum n. Scherback, 70 x 45-70 mm (AESCULAP) |
| 64 | | - |
| 65 | | Obenauf die Instrumente nebeneinander |
| 66 | 2 JG506R | Nierenschale, 250 mm (AESCULAP) |
| 67 | | - |
| 68 | 5 BF464R | Klemmschild (Interlock) |
| 69 | | ENDE |
| 70 | | Set erstellt am: 08.11.2013 von: AD |
| 71 | | Set geändert am: 04.05.2015 von: MS |
| 72 | | Freigabe von ZSVA Leitungspersonal am: |

Anhang 2: Beispiel Rohdaten

Benutzername: ZSVA-KH- [REDACTED]

MCD
MEDICAL LINE

K-KRS-010, S/N=06) - Version 02.05.2019 (KH06)

| Pos. | B | M | Ist | Soll | Artikelnr. | Text |
|------|---|---|-----|------|------------|---|
| 1 | | | 1 | 1 | JK441 | Containerwanne 1/1 Höhe 85mm (AESCULAP) |
| 2 | | | 1 | 1 | JK489 | Containerdeckel 1/1 silber (AESCULAP) |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | 1 | 1 | JF212R | Siebkorb, perforiert, 485x253x56mm (AESCULAP) |
| 5 | | | | | | |
| 6 | | | | | | |
| 7 | | | | | | Von rechts unten nach oben |
| 8 | | | 6 | 6 | BF058R | Kornzange n. Maier, m. Sperre, ger., 265 mm (AESCULAP) |
| 9 | | | 2 | 2 | BH470R | Arterienklemme n. Pean, ger., 240 mm (AESCULAP) |
| 10 | | | 2 | 2 | EA082R | Atraumata-Fasszange n. Collin, 230 mm (AESCULAP) |
| 11 | | | 2 | 2 | BH446R | Arterienklemme n. Rochester-Pean, ger., 200 mm (AESCULAP) |
| 12 | | | | | | |
| 13 | | | 2 | 2 | BJ021R | Praeparierklemme n. Overholt-Geissendoerfer, Fig.1 (AESCULAP) |
| 14 | | | | | | |
| 15 | | | 4 | 4 | BH614R | Klemme Kocher, gerade, 140 mm (AESCULAP) |
| 16 | | | | | | |
| 17 | | | 2 | 2 | BM067R | Nadelhalter n. Hegar-Mayo, 205 mm Durogrip (AESCULAP) |
| 18 | | | 1 | 1 | BM065R | Nadelhalter n. Hegar-Mayo, 150 mm, Durogrip (AESCULAP) |
| 19 | | | | | | |
| 20 | | | 1 | 1 | BC265R | Durotip-Praeparierschere Metzenbaum, geb., 200 mm (AESCULAP) |
| 21 | | | 1 | 1 | BC591R | Praeparierschere n. LEXER, schmal, geb., 165 mm (AESCULAP) |
| 22 | | | 1 | 1 | ET150R | Nabelschnurschere n. Schumacher, 155 mm (AESCULAP) |
| 23 | | | | | | |
| 24 | | | 1 | 1 | BT032R | Wu.haken n. Roux, doppelt, mittel, 165 mm (AESCULAP) |
| 25 | | | 1 | 1 | BT033R | Wundhaken Roux, gross, 165 mm (AESCULAP) |
| 26 | | | | | | |
| 27 | | | 2 | 2 | BD561R | Pinzette, chir., 1 x 2 Zaehne, 200 mm (AESCULAP) |
| 28 | | | 2 | 2 | FB415R | Pinzette atra. Maul 2, 8 mm (AESCULAP) |

Anhang 3: JAVA-Code des Algorithmus zur Bestimmung der Siebtypen und des Parameters G_{is}

```

package inputsiebe;
import java.util.*;

class CartesianIteratorTest {

    public static void main (String[] args) {
        List <Object> i10 = Arrays.asList (new Object [] {0, 1, 2});
        List <Object> i11 = Arrays.asList (new Object [] {0, 1});
        List <Object> i12 = Arrays.asList (new Object [] {0, 1});
        (...)
        List <List <Object>> l1o = new ArrayList <List <Object>> ();
        l1o.add (i10);
        l1o.add (i11);
        l1o.add (i12);
        (...)
        CartesianIterable <Object> ci = new CartesianIterable <Object> (l1o);
        for (List <Object> lo: ci){
            show (lo);
            System.out.println("G(" + "\" + "i10" + "\" + ", " + "\" + lo.hashCode() + "\" + ") = " + lo.get(0));
            System.out.println("G(" + "\" + "i11" + "\" + ", " + "\" + lo.hashCode() + "\" + ") = " + lo.get(1));
            System.out.println("G(" + "\" + "i12" + "\" + ", " + "\" + lo.hashCode() + "\" + ") = " + lo.get(2));
            System.out.println("G(" + "\" + "i13" + "\" + ", " + "\" + lo.hashCode() + "\" + ") = " + lo.get(3));
            System.out.println("G(" + "\" + "i14" + "\" + ", " + "\" + lo.hashCode() + "\" + ") = " + lo.get(4));
            System.out.println("G(" + "\" + "i15" + "\" + ", " + "\" + lo.hashCode() + "\" + ") = " + lo.get(5));
            System.out.println("G(" + "\" + "i16" + "\" + ", " + "\" + lo.hashCode() + "\" + ") = " + lo.get(6));
            System.out.println("G(" + "\" + "i17" + "\" + ", " + "\" + lo.hashCode() + "\" + ") = " + lo.get(7));
            System.out.println("G(" + "\" + "i18" + "\" + ", " + "\" + lo.hashCode() + "\" + ") = " + lo.get(8));
            System.out.println("G(" + "\" + "i19" + "\" + ", " + "\" + lo.hashCode() + "\" + ") = " + lo.get(9));
            System.out.println("G(" + "\" + "i20" + "\" + ", " + "\" + lo.hashCode() + "\" + ") = " + lo.get(10));
        }

        for (List <Object> lo: ci){
            show (lo);
            System.out.println(lo.hashCode());
        }

        public static void show (List <Object> lo) {
            for (Object o: lo){
            }
        }
    }
}

class CartesianIterator <T> implements Iterator <List <T>> {

    private final List <List <T>> lilio;
    private int current = 0;
    private final long last;

    public CartesianIterator (final List <List <T>> l1o) {
        lilio = l1o;
        long product = 1L;
        for (List <T> lio: lilio)
            product *= lio.size ();
        last = product;
    }

    public boolean hasNext () {
        return current != last;
    }

    public List <T> next () {
        ++current;
        return get (current - 1, lilio);
    }

    public void remove () {
        ++current;
    }

    private List<T> get (final int n, final List <List <T>> lili) {
        switch (lili.size ())
        {
            case 0: return new ArrayList <T> (); // no break past return;
            default: {
                List <T> inner = lili.get (0);
                List <T> lo = new ArrayList <T> ();
                lo.add (inner.get (n % inner.size ()));
                lo.addAll (get (n / inner.size (), lili.subList (1, lili.size ( ))));
                return lo;
            }
        }
    }
}

class CartesianIterable <T> implements Iterable <List <T>> {

    private List <List <T>> lilio;

    public CartesianIterable (List <List <T>> l1o) {
        lilio = l1o;
    }

    public Iterator <List <T>> iterator () {
        return new CartesianIterator <T> (lilio);
    }
}

```

Anhang 4: JAVA Output für den Algorithmus zur Bestimmung der Siebtypen und des Parameters G_{is}

```
G(i15 , 759531133) = 2
G(i16 , 759531133) = 1
G(i17 , 759531133) = 2
G(i18 , 759531133) = 2
G(i19 , 759531133) = 2
G(i20 , 759531133) = 1
G(i10 , -1037420226) = 2
G(i11 , -1037420226) = 1
G(i12 , -1037420226) = 1
G(i13 , -1037420226) = 2
G(i14 , -1037420226) = 1
G(i15 , -1037420226) = 2
G(i16 , -1037420226) = 1
G(i17 , -1037420226) = 2
G(i18 , -1037420226) = 2
G(i19 , -1037420226) = 2
G(i20 , -1037420226) = 1
129082719
-1667868640
830147297
-67430786
-1864382145
633633792
-1678371744
819644193
-977307166
-1874885249
623130688
-1173820671
1871893054
74941695
-1722009664
1675379549
-121571810
-1918523169
64438591
```


Anhang 5: Modellvariante für Optimierungssoftware

Zielfunktion

$$\begin{aligned} \min \sum_{i \in I} \left(\sum_{t \in T} \left(\sum_{e \in E} EB_{ie} \right) \cdot P_{et} \cdot ken_i \right) + \sum_{i \in I} \left(\sum_{s \in S} \sum_{t \in T} G_{is} \cdot SB_{st} \right) \cdot kmn_i + ks \cdot \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} SB_{st} \\ + ko \cdot \sum_{i \in I} (MBG_i + \sum_{t \in T} EBT_{it}) + kk_i \cdot \sum_{i \in I} \left(\sum_{s \in S} G_{is} \cdot SV_s \right) + kl \cdot \sum_{s \in S} SV_s \end{aligned}$$

Nebenbedingungen

$$EB_{ie} + MB_{ie} \geq N_{ie} \quad \forall i \in I, e \in E \quad (1)$$

$$\sum_{s \in S} G_{is} \cdot Z_{es} \geq MB_{ie} \quad \forall i \in I, e \in E \quad (2)$$

$$\sum_{e \in E} Z_{es} \cdot P_{et} \leq SB_{st} \quad \forall s \in S, t \in T \quad (4)$$

$$SV_s \geq SB_{st} \quad \forall s \in S, t \in T \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{s \in S} SB_{st} \cdot G_{is} \leq MK \quad \forall t \in T \quad (8)$$

$$\sum_{s \in S} SV_s \leq LK \quad (9)$$

$$EB_{ie}, MB_{ie}, SB_{st}, SV_s \geq 0 \quad \forall i \in I, e \in E, \forall s \in S, t \in T \quad (10)$$

$$Z_{es} \in \{0,1\} \quad \forall e \in E, \forall s \in S \quad (11)$$

Das Modell unterscheidet sich von dem Modell in Kapitel 7.2 darin, dass es weniger Entscheidungsvariablen und Nebenbedingungen enthält. Diese schlankere Version des Modells ist mit weniger Rechenaufwand zu lösen und ermöglicht eine schnellere Lösung durch die Optimierungssoftware. Für die Beschreibung wurde die ausführlichere Variante gewählt, da sie intuitiver ist und besser in die Logik der herleitenden Kapitel passt.

Anhang 6: Gegenüberstellung der Einweg- und Mehrwegkosten

| Siebtyp | Instrumententyp | Anzahl Instrumente | kmni*Anzahl Instrumente | ks 3,24 | kki | Summe MW | keni | Differenz MW-EW | Einweg-Mehrweg-Entscheidung | Ersparnis pro Sieb | Ersparnis insgesamt | Kosten EW |
|---------|-----------------|--------------------|-------------------------|---------|------------|------------|------|-----------------|-----------------------------|--------------------|---------------------|-----------|
| 1 | i10 | 1 | 0,43 | 0,81 | 0,14581395 | 1,38581395 | 1,43 | -0,04418605 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 1 | i11 | 1 | 0,43 | 0,81 | 0,12571429 | 1,36571429 | 1,03 | 0,33571429 | Einweg | 0,33571429 | 4,7 | 14,42 |
| 1 | i12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 1 | i13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 1 | i14 | 1 | 0,43 | 0,81 | 0,04421053 | 1,28421053 | 1,27 | 0,01421053 | Einweg | 0,01421053 | 0,19894737 | 17,78 |
| 1 | i15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 1 | i16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 1 | i17 | 1 | 0,39 | 0,81 | 0,05604396 | 1,25604396 | 1,46 | -0,20395604 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 1 | i18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 1 | i19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 1 | i20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| Summe | | 4 | | | | | | | | | | |
| 2 | i10 | 1 | 0,43 | 0,648 | 0,14581395 | 1,22381395 | 1,43 | -0,20618605 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 2 | i11 | 1 | 0,43 | 0,81 | 0,12571429 | 1,36571429 | 1,03 | 0,33571429 | Einweg | 0,33571429 | 4,02857143 | 12,36 |
| 2 | i12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 2 | i13 | 1 | 0,43 | 0,81 | 0,06346667 | 1,30346667 | 1,45 | -0,14653333 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 2 | i14 | 1 | 0,43 | 0,81 | 0,04421053 | 1,28421053 | 1,27 | 0,01421053 | Einweg | 0,01421053 | 0,17052632 | 15,24 |
| 2 | i15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 2 | i16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 2 | i17 | 1 | 0,39 | 0,81 | 0,05604396 | 1,25604396 | 1,46 | -0,20395604 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 2 | i18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 2 | i19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 2 | i20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| Summe | | 5 | | | | | | | | | | |
| 3 | i10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 3 | i11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 3 | i12 | 1 | 0,43 | 0,81 | 0,04576923 | 1,28576923 | 1,25 | 0,03576923 | Einweg | 0,03576923 | 1,46653846 | 51,25 |
| 3 | i13 | 1 | 0,43 | 0,81 | 0,06346667 | 1,30346667 | 1,45 | -0,14653333 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 3 | i14 | 1 | 0,43 | 0,81 | 0,04421053 | 1,28421053 | 1,27 | 0,01421053 | Einweg | 0,01421053 | 0,58263158 | 52,07 |
| 3 | i15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 3 | i16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 3 | i17 | 1 | 0,39 | 0,81 | 0,05604396 | 1,25604396 | 1,46 | -0,20395604 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 3 | i18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 3 | i19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 3 | i20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| Summe | | 4 | | | | | | | | | | |
| 6 | i10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 6 | i11 | 1 | 0,43 | 0,54 | 0,12571429 | 1,09571429 | 1,03 | 0,06571429 | Einweg | 0,06571429 | 0,46 | 7,21 |
| 6 | i12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 6 | i13 | 1 | 0,43 | 0,54 | 0,06346667 | 1,03346667 | 1,45 | -0,41653333 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 6 | i14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 6 | i15 | 2 | 0,78 | 1,08 | 0,10769231 | 1,96769231 | 200 | -198,032308 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 6 | i16 | 1 | 0,47 | 0,54 | 0,20428571 | 1,21428571 | 1,86 | -0,64571429 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 6 | i17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 6 | i18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 6 | i19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 6 | i20 | 1 | 0,39 | 0,54 | 0,12157895 | 1,05157895 | 2,96 | -1,90842105 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| Summe | | 6 | | | | | | | | | | |
| 7 | i10 | 1 | 0,43 | 0,405 | 0,14581395 | 0,98081395 | 1,43 | -0,44918605 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 7 | i11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 7 | i12 | 1 | 0,43 | 0,405 | 0,04576923 | 0,88076923 | 1,25 | -0,36923077 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 7 | i13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 7 | i14 | 1 | 0,43 | 0,405 | 0,04421053 | 0,87921053 | 1,27 | -0,39078947 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 7 | i15 | 1 | 0,39 | 0,405 | 0,05384615 | 0,84884615 | 100 | -99,1511538 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 7 | i16 | 1 | 0,47 | 0,405 | 0,20428571 | 1,07928571 | 1,86 | -0,78071429 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 7 | i17 | 1 | 0,39 | 0,405 | 0,05604396 | 0,85104396 | 1,46 | -0,60895604 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 7 | i18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 7 | i19 | 1 | 0,39 | 0,405 | 0,1 | 0,895 | 1,46 | -0,565 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 7 | i20 | 1 | 0,39 | 0,405 | 0,12157895 | 0,91657895 | 2,96 | -2,04342105 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| Summe | | 8 | | | | | | | | | | |

| Siebttyp | Instrumententyp | Anzahl je Sieb | kmni | ks 3,24 | kki | Summe MW | keni | Differenz MW-EW | Einweg-Mehrweg-Entscheidung | Ersparnis pro Sieb | Ersparnis insgesamt | Kosten EW |
|--|-----------------|----------------|------|------------|------------|------------|------|-----------------|-----------------------------|--------------------|---------------------|---------------|
| 8 | i10 | 1 | 0,43 | 0,405 | 0,14581395 | 0,98081395 | 1,43 | -0,44918605 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 8 | i11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 8 | i12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 8 | i13 | 1 | 0,43 | 0,405 | 0,06346667 | 0,89846667 | 1,45 | -0,55153333 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 8 | i14 | 1 | 0,43 | 0,405 | 0,04421053 | 0,87921053 | 1,27 | -0,39078947 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 8 | i15 | 1 | 0,39 | 0,405 | 0,05384615 | 0,84884615 | 100 | -99,1511538 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 8 | i16 | 1 | 0,47 | 0,405 | 0,20428571 | 1,07928571 | 1,86 | -0,78071429 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 8 | i17 | 1 | 0,39 | 0,405 | 0,05604396 | 0,85104396 | 1,46 | -0,60895604 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 8 | i18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 8 | i19 | 1 | 0,39 | 0,405 | 0,1 | 0,895 | 1,46 | -0,565 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 8 | i20 | 1 | 0,39 | 0,405 | 0,12157895 | 0,91657895 | 2,96 | -2,04342105 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| Summe | | 8 | | | | | | | | | | |
| Siebttyp | Instrumententyp | Anzahl je Sieb | kmni | ks 3,24 | kki | Summe MW | keni | Differenz MW-EW | Einweg-Mehrweg-Entscheidung | Ersparnis pro Sieb | Ersparnis insgesamt | Kosten EW |
| 10 | i10 | 2 | 0,86 | 0,432 | 0,29162791 | 1,58362791 | 2,86 | -1,27637209 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 10 | i11 | 1 | 0,43 | 0,216 | 0,12571429 | 0,77171429 | 1,03 | -0,25828571 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 10 | i12 | 1 | 0,43 | 0,216 | 0,04576923 | 0,69176923 | 1,25 | -0,55823077 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 10 | i13 | 1 | 0,43 | 0,216 | 0,06346667 | 0,70946667 | 1,45 | -0,74053333 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 10 | i14 | 1 | 0,43 | 0,216 | 0,04421053 | 0,69021053 | 1,27 | -0,57978947 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 10 | i15 | 1 | 0,39 | 0,216 | 0,05384615 | 0,65984615 | 100 | -99,3401538 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 10 | i16 | 1 | 0,47 | 0,216 | 0,20428571 | 0,89028571 | 1,86 | -0,96971429 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 10 | i17 | 2 | 0,78 | 0,432 | 0,11208791 | 1,32408791 | 2,92 | -1,59591209 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 10 | i18 | 2 | 0,78 | 0,432 | 0,15882353 | 1,37082353 | 3,12 | -1,74917647 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 10 | i19 | 2 | 0,78 | 0,432 | 0,2 | 1,412 | 2,92 | -1,508 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 10 | i20 | 1 | 0,39 | 0,216 | 0,12157895 | 0,72757895 | 2,96 | -2,23242105 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| Summe | | 15 | | | | | | | | | | |
| Siebttyp | Instrumententyp | Anzahl je Sieb | kmni | ks 3,24 | kki | Summe MW | keni | Differenz MW-EW | Einweg-Mehrweg-Entscheidung | Ersparnis pro Sieb | Ersparnis insgesamt | Kosten EW |
| 9 | i10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 9 | i11 | 1 | 0,43 | 0,27 | 0,12571429 | 0,82571429 | 1,03 | -0,20428571 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 9 | i12 | 1 | 0,43 | 0,27 | 0,04576923 | 0,74576923 | 1,25 | -0,50423077 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 9 | i13 | 1 | 0,43 | 0,27 | 0,06346667 | 0,76346667 | 1,45 | -0,68653333 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 9 | i14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 9 | i15 | 1 | 0,39 | 0,27 | 0,05384615 | 0,71384615 | 100 | -99,2861538 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 9 | i16 | 1 | 0,47 | 0,27 | 0,20428571 | 0,94428571 | 1,86 | -0,91571429 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 9 | i17 | 2 | 0,78 | 0,54 | 0,11208791 | 1,43208791 | 2,92 | -1,48791209 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 9 | i18 | 2 | 0,78 | 0,54 | 0,15882353 | 1,47882353 | 3,12 | -1,64117647 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 9 | i19 | 2 | 0,78 | 0,54 | 0,2 | 1,52 | 2,92 | -1,4 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 9 | i20 | 1 | 0,39 | 0,27 | 0,12157895 | 0,78157895 | 2,96 | -2,17842105 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| Summe | | 12 | | | | | | | | | | |
| Siebttyp | Instrumententyp | Anzahl je Sieb | kmni | ks 3,24 | kki | Summe MW | keni | Differenz MW-EW | Einweg-Mehrweg-Entscheidung | Ersparnis pro Sieb | Ersparnis insgesamt | Kosten EW |
| 4 | i10 | 2 | 0,86 | 0,648 | 0,29162791 | 1,79962791 | 2,86 | -1,06037209 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 4 | i11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 4 | i12 | 1 | 0,43 | 0,324 | 0,04576923 | 0,79976923 | 1,25 | -0,45023077 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 4 | i13 | 2 | 0,86 | 0,648 | 0,12693333 | 1,63493333 | 2,9 | -1,26506667 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 4 | i14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 4 | i15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 4 | i16 | 1 | 0,47 | 0,324 | 0,20428571 | 0,99828571 | 1,86 | -0,86171429 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 4 | i17 | 2 | 0,78 | 0,648 | 0,11208791 | 1,54008791 | 2,92 | -1,37991209 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 4 | i18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 4 | i19 | 2 | 0,78 | 0,648 | 0,2 | 1,628 | 2,92 | -1,292 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 4 | i20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| Summe | | 10 | | | | | | | | | | |
| Siebttyp | Instrumententyp | Anzahl je Sieb | kmni | ks 3,24 | kki | Summe MW | keni | Differenz MW-EW | Einweg-Mehrweg-Entscheidung | Ersparnis pro Sieb | Ersparnis insgesamt | Kosten EW |
| 5 | i10 | 1 | 0,43 | 0,29454545 | 0,14581395 | 0,87035941 | 1,43 | -0,55964059 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 5 | i11 | 1 | 0,43 | 0,29454545 | 0,12571429 | 0,85025974 | 1,03 | -0,17974026 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 5 | i12 | 1 | 0,43 | 0,29454545 | 0,04576923 | 0,77031469 | 1,25 | -0,47968531 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 5 | i13 | 2 | 0,86 | 0,58909091 | 0,12693333 | 1,57602424 | 2,9 | -1,32397576 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 5 | i14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 5 | i15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 5 | i16 | 1 | 0,47 | 0,29454545 | 0,20428571 | 0,96883117 | 1,86 | -0,89116883 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 5 | i17 | 2 | 0,78 | 0,58909091 | 0,11208791 | 1,48117882 | 2,92 | -1,43882118 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 5 | i18 | 1 | 0,39 | 0,29454545 | 0,07941176 | 0,76395722 | 1,56 | -0,79604278 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 5 | i19 | 2 | 0,78 | 0,58909091 | 0,2 | 1,56909091 | 2,92 | -1,35090909 | Mehrweg | 0 | 0 | 0 |
| 5 | i20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| Summe | | 11 | | | | | | | | | | |
| Gesamt über alle Eingriffe an allen Tagen | | | | | | | | | | | 11,6072152 | 170,33 |