

Schriftenreihe in Health Economics, Management and Policy
Nr. 2023–01

**Identifikation und Quantifizierung von Low Value Care mit
anonymisierten Schweizer Versichertendaten am Beispiel von
chronisch-obstruktiver Lungenerkrankung (COPD) und koronarer
Herzkrankheit (KHK)**

Anja Bischof, Johannes Cordier, Justus Vogel, Alexander Geissler

2023



Schriftenreihe in Health Economics, Management and Policy

Herausgeber

Prof. Dr. Alexander Geissler
Chair of Health Care Management
School of Medicine
University of St.Gallen

Redaktion

Anja Bischof, M.A. HSG
Research Associate
Chair of Health Care Management
School of Medicine
University of St.Gallen

Die gesamte Schriftenreihe ist auf unserer Website abrufbar unter: <https://med.unisg.ch/mig/wps>

Identifikation und Quantifizierung von Low Value Care mit anonymisierten Schweizer Versichertendaten am Beispiel von chronisch-obstruktiver Lungenerkrankung (COPD) und koronarer Herzkrankheit (KHK)

Schlagwörter: Low Value Care; Unter-, Über- & Fehlversorgung; Chronisch-obstruktive Lungenerkrankung (COPD); Koronare Herzkrankheit (KHK)

JEL Klassifizierung: I11, I12

Autoren:

Anja Bischof, M.A. HSG
Wissenschaftliche Mitarbeiterin | Doktorandin
Anja.bischof@unisg.ch

Johannes Cordier, M.A. HSG
Wissenschaftlicher Mitarbeiter | Doktorand
Johannes.cordier@unisg.ch

Dr. Justus Vogel
Wissenschaftlicher Projektleiter | Post-Doc
Justus.vogel@unisg.ch

Prof. Dr. Alexander Geissler
Ordinarius und Lehrstuhlinhaber Management im Gesundheitswesen
Alexander.geissler@unisg.ch

Empfohlene Zitierweise:

Bischof, A., Cordier, J., Vogel, J., Geissler, A. (2023). Identifikation und Quantifizierung von Low Value Care mit anonymisierten Schweizer Versichertendaten am Beispiel von chronisch-obstruktiver Lungenerkrankung (COPD) und koronarer Herzkrankheit (KHK). Schriftenreihe in Health Economics, Management and Policy 2023 – Nr. 01, Universität St. Gallen

Disclaimer

Der vorliegende Bericht wurde von der Groupe Mutuel Services AG extern in Auftrag gegeben. Die Interpretation der Ergebnisse, die Schlussfolgerungen und die Empfehlungen spiegeln nicht unbedingt zwingend die Meinung der Groupe Mutuel Services AG wider. Die Inhalte des Berichts wurden mit der grösstmöglichen Sorgfalt erstellt. Die Autoren übernehmen jedoch keine Gewähr für die absolute Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der bereitgestellten Inhalte. Die Autoren haben keinerlei Interessenkonflikte oder materielle Beteiligungen mit den in diesem Bericht verwendeten Methoden oder Produkten. Der Lehrstuhl für Management im Gesundheitswesen der Universität St. Gallen hat sich auch nach Beendigung der Studie zur Einhaltung des geltenden Datenschutzrechts im Umgang mit den anonymisierten Daten verpflichtet.

Kurzfassung

Unter Low Value Care werden Leistungen verstanden, die im individuellen Kontext (a) den Patienten wenig oder keinen Nutzen bringen, (b) potenziell Schaden verursachen, (c) unnötige Kosten verursachen und/oder (d) im Vergleich zur Anwendung alternativer Leistungen bzw. der Anwendung bei einer alternativen Patientengruppe die knappen Ressourcen des Gesundheitswesens nicht nutzenorientiert eingesetzt werden. Die systematische Identifikation und Quantifizierung von Low Value Care ist herausfordernd. Abrechnungsdaten wurden hierzu bisher nicht genutzt. Die vorliegende Studie setzt sich zum Ziel, Teile des Versorgungspfads zweier exemplarischer Leistungsbereiche auf Low Value Care mithilfe von anonymisierten Versichertendaten zu untersuchen. Aufgrund ihrer Bedeutung für das Gesundheitswesen und den Leidensdruck der Patienten wurden zwei chronische Krankheiten gewählt: chronisch-obstruktive Lungenerkrankung (COPD) und die koronare Herzkrankheit (KHK). Bei COPD wurde die Medikamentenadhärenz der Patienten untersucht und festgestellt, dass eine regelgemässe Einnahme der Medikamente das Risiko einer Exazerbation inkl. Hospitalisierung um mehr als 50% senken kann. Bei KHK hat sich gezeigt, dass zur initialen Diagnostik ein weit grösserer Anteil an Patienten zuerst eine Koronar-CT anstelle einer invasiven Koronarangiografie (Herzkatheteruntersuchung) mit gleichem Diagnoseergebnis erhalten könnte. Hierdurch könnten ca. CHF 4.5 bis 5.5 Mio. pro Jahr für die Gruppe Mutuel Versicherten eingespart werden.

Aus den Ergebnissen der Studie lässt sich ableiten: (1) Low Value Care kann anhand von anonymisierten Abrechnungsdaten identifiziert und quantifiziert werden, (2) Low Value Care bei COPD könnte durch strukturierte Behandlungsprogramme und digitale Gesundheitsanwendungen verringert werden und (3) qualitätsorientierte Vergütungsanreize könnten bewirken, dass knappe Ressourcen zielgerichtet und effizient eingesetzt werden. Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass eine umfangreichere Datenbasis, insb. Diagnoseinformationen, die Möglichkeiten und Aussagekraft der Analysen substanziell verstärken würde.

Abschliessend ein allgemeiner Hinweis: Aus Gründen der Lesbarkeit wurde im Text die männliche Form (generisches Maskulinum) gewählt, nichtsdestotrotz beziehen sich die Angaben auf Angehörige aller Geschlechter.

Management Summary

Das Ziel dieser Studie ist die Identifikation von Low Value Care und dessen Quantifizierung in Bezug auf das Schweizer Gesundheitswesen. Unter Low Value Care werden Leistungen verstanden, die im individuellen Kontext (a) den Patienten wenig oder keinen Nutzen bringen, (b) potenziell Schaden verursachen, (c) unnötige Kosten verursachen und/oder (d) im Vergleich zur Anwendung alternativer Leistungen bzw. der Anwendung bei einer alternativen Patientengruppe die knappen Ressourcen des Gesundheitswesens nicht nutzenorientiert eingesetzt werden.

Die systematische Identifikation und Quantifizierung von Low Value Care ist herausfordernd und bisher wurden Abrechnungsdaten der Krankenkassen dafür nach unserem besten Wissen nicht genutzt. Die vorliegende Studie setzt sich zum Ziel, Teile des Versorgungspfads zweier exemplarischer Leistungsbereiche auf Low Value Care mithilfe von anonymisierten Versicherten-daten aus der Regelversorgung zu untersuchen. Aufgrund ihrer Bedeutung für das Gesundheitswesen und dem Leidensdruck der Patienten wurden zwei chronische Krankheiten gewählt: chronisch-obstruktive Lungenerkrankung (COPD) und die koronare Herzkrankheit (KHK).

Alle Analysen beruhen auf anonymisierten Versichertendaten aus der Regelversorgung, welche durch eine der führenden Krankenversicherungen in der Schweiz, die Groupe Mutuel, anonymisiert zur Verfügung gestellt wurden. Im Leistungsbereich der COPD konnte die Medikamentenadhärenz der Patienten als mögliche Ursache für Low Value Care identifiziert werden. Die sachgemässe Einnahme der Medikamente gemäss Verschreibung ist essenziell, um das Fortschreiten der Krankheit zu verlangsamen und Symptome zu lindern. Bei einer akuten Verschlechterung des Gesundheitszustandes eines COPD-Patienten spricht man von einer Exazerbation, die zu einer Hospitalisierung führen kann. In der untersuchten Stichprobe haben knapp 50% der Patienten ihre Medikamente weniger als 40% der Zeit auf Reserve zu Hause. Das bedeutet, dass ein wesentlicher Anteil der Patienten Medikamente in langen Zeiträumen nicht gemäss Verschreibung einnehmen kann bzw. einnimmt. Zur Untersuchung der Auswirkung niedriger Medikamentenadhärenz auf die Wahrscheinlichkeit hospitalisierter Exazerbationen wurde eine lineare Regression genutzt. Die Ergebnisse zeigen, dass eine hohe Medikamentenadhärenz die Wahrscheinlichkeit für eine Exazerbation und darauffolgende Hospitalisierung um mehr als 50% verringern kann. Zudem sind die Gesundheitsausgaben vor und nach der Exazerbation für COPD-Patienten mit hoher Medikamentenadhärenz tiefer im Vergleich zu COPD-Patienten, die ihre Medikamente nicht regelmässig einnehmen.

Für die KHK wurde der diagnostische Teil des Versorgungspfads auf Low Value Care untersucht. Dabei wurde zwischen zwei Arten der Diagnostik unterschieden: der nicht-invasiven Koronar-CT und der invasiven Kardioangiografie (Herzkatheteruntersuchung). Vorteile der Koronar-CT gegenüber der invasiven Koronarangiographie sind, dass kein Katheter in das Herz gelegt werden muss, d.h. kein Narkose-, Infektions- und Verletzungsrisiko für den Patienten besteht und die Gesundheitsausgaben niedriger sind. Mittels eines Generalized Random Forests wurden Patienten identifiziert, die bei gleichem Diagnoseergebnis kostenoptimierend einem alternativen Versorgungspfad zugewiesen werden könnten. Hierzu wurden v.a. Patienten, die direkt eine invasive Koronarangiografie erhalten auf den «Koronar-CT-Pfad» verschoben, erhalten also zuerst einen Koronar-CT zum Ausschluss einer KHK. Dadurch sinkt auf der einen Seite das Komplikationsrisiko und auf der anderen Seite zeigen sich grosse Einsparpotenziale. Über den gesamten Beobachtungszeitraum von sechs Jahren könnten durch die Modellzuweisung rund CHF 30 Mio.

für die Groupe Mutuel Versicherten gespart werden, bzw. je nach betrachtetem Szenario rund CHF 4.5 bis 5.5 Mio. pro Jahr.

Somit wurde mittels dieser Studie gezeigt, dass im Schweizer Gesundheitswesen Low Value Care anhand von anonymisierten Versichertendaten identifiziert und quantifiziert werden kann. Die Ergebnisse dieser Studie sollen Anstoss geben, qualitätsoptimierende und effiziente Instrumente wie strukturierte Behandlungsprogramme für chronische Krankheiten für die Schweiz (z.B. unterstützt durch digitale Gesundheitsanwendungen) zu entwickeln. Ausserdem sollen Krankenversicherungen angeregt werden, über Vergütungssysteme nachzudenken, die eine De-Implementierung von Low Value Care anreizen. Schliesslich sollte gezeigt werden, welchen Mehrwert Forschung mit anonymisierten Versichertendaten schaffen kann und so gesundheitspolitische Akteure motiviert werden, weitere Patientendaten die standardisiert erfasst werden wie beispielsweise Diagnosedaten für die Forschung verfügbar zu machen.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	IX
Abbildungsverzeichnis	IX
Tabellenverzeichnis	X
1 Einleitung	1
1.1 Auftragsgegenstand sowie Ziele und Struktur der Studie	1
1.2 Low Value Care – Definitionen und Literaturüberblick	2
1.3 Studieneinordnung	4
2 Vorgehensweise	5
2.1 Allgemeine Hinweise	5
2.2 Datengrundlage	5
2.3 Chronisch-obstruktive Lungenerkrankung	6
2.4 Koronare Herzkrankheit	7
3 Chronisch-obstruktive Lungenerkrankung	8
3.1 Krankheitsbild	8
3.2 Versorgungspfad	10
3.3 Patientenstichprobe und Variablenauswahl	11
3.4 Empirische Strategie	13
3.5 Ergebnisse	17
3.5.1 Deskriptive Ergebnisse	17
3.5.2 Modellergebnisse: Auswirkung auf die Wahrscheinlichkeit einer Exazerbation	20
3.5.3 Exploratives Vorgehen: Auswirkungen auf Gesundheitsausgaben	22
3.5.4 Ausblick: Durchführung von Spirometrien	25
3.6 Diskussion	27
4 Koronare Herzerkrankung	29
4.1 Krankheitsbild	29
4.2 Versorgungspfad	30
4.3 Patientenstichprobe und Variablenauswahl	31
4.4 Empirische Strategie	31
4.5 Ergebnisse	35
4.5.1 Deskriptive Ergebnisse	35
4.5.2 Modellergebnisse	36
4.6 Diskussion	41
5 Fazit und Schlussempfehlungen	44

5.1	Zusammenfassung der Erkenntnisse	44
5.2	Implikationen für das Schweizer Gesundheitssystem	45
5.3	Implikationen für die Krankenversicherungen	46
5.4	Ausblick	47
	Literaturverzeichnis	48

Abkürzungsverzeichnis

ATE	Average Treatment Effect (<i>durchschnittlicher Behandlungseffekt</i>)
CAT	COPD Assessment Test
CATE	Conditional Average Treatment Effect (<i>bedingter durchschnittlicher Behandlungseffekt</i>)
CIA	Conditional Independence Assumption (<i>bedingte Unabhängigkeitsannahme</i>)
COPD	Chronic Obstructive Pulmonary Disease (<i>chronisch-obstruktive Lungenerkrankung</i>)
CT	Computertomographie
DRG	Diagnosis-Related Groups
FEV ₁	Forced Expiratory Pressure in 1 Second (<i>Einsekundenkapazität</i>)
GOLD	Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease
ICS	Kombination aus LABA und Kortikosteroid
KHK	Koronare Herzerkrankung
LABA	Long-Acting Beta ₂ -Agonist (<i>Langwirkende Beta₂-Agonisten</i>)
LAMA	Long-Acting Muscarinic Antagonist (<i>Langwirkende antimuskarinische Antagonisten</i>)
LVC	Low Value Care
mMRC	Modified British Medical Research Council Dyspnea Scale (<i>indiziert die Schwere der Atemnot</i>)
MRT	Magnetresonanztomografie
SABA	Short-Acting Beta ₂ -Agonist (<i>Kurzwirkende Beta₂-Agonisten</i>)
SAMA	Short-Acting Muscarinic Antagonist (<i>Kurzwirkende antimuskarinische Antagonisten</i>)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Klassifikation der COPD-Stadien in Anlehnung an GOLD [43]	9
Abbildung 2: Anzahl der Patienten nach Anteil der Tage mit Medikamentenreserve an allen Tagen im Beobachtungszeitraum	18
Abbildung 3: Odds-Ratio für eine Exazerbation je Quintil im Verhältnis zum ersten Quintil	22
Abbildung 4: Gesundheitsausgaben in CHF gemittelt über alle Patienten eines Quintils zwei Jahre vor Exazerbation	23
Abbildung 5: Stationäre Gesundheitsausgaben in CHF für hospitalisierte Exazerbationen gemittelt über alle Patienten eines Quintils	24
Abbildung 6: Gesundheitsausgaben in CHF gemittelt über alle Patienten eines Quintils im Jahr nach Exazerbation	25
Abbildung 7: Anzahl an Spirometrien aller Patienten nach Tagen vor der Exazerbation	26
Abbildung 8: Diagnostischer Versorgungspfad für KHK	35
Abbildung 9: Anzahl Versicherter nach Franchise	36
Abbildung 10: Entscheidungsbaum	38
Abbildung 11: CATE nach Untergruppen analog zum Entscheidungsbaum	39
Abbildung 12 Vergleich des Status Quo der durchschnittlichen Gesundheitsausgaben pro KHK-Patient in CHF mit zwei Alternativszenarien	40

Abbildung 13: Vergleich des Status Quo der Groupe Mutuel Gesamtausgaben für KHK in CHF von 2015-2020 mit zwei Alternativszenarien _____ 41

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auflistung der Modellvariablen mit Abkürzungen _____	16
Tabelle 2: Deskriptive Statistik der Stichprobe _____	19
Tabelle 3: Anzahl Patienten je Franchise und Quintil an Medikamentenreserve _____	20
Tabelle 4: Modellergebnisse _____	20
Tabelle 5: Vergleich des beobachteten Versorgungspfads mit der Zuteilung der Patienten durch den Entscheidungsbaum des Modells _____	38

1 Einleitung

1.1 Auftragsgegenstand sowie Ziele und Struktur der Studie

Gesundheitssysteme in Hocheinkommensländern, nicht zuletzt auch in der Schweiz, sind häufig von Unter-, Über- und/oder Fehlversorgung geprägt. Diese nicht bedarfsgerechte Versorgung in einem oder mehreren Sektoren (z.B. ambulanter oder stationärer Sektor) und verschiedenen Leistungsbereichen kann einerseits die Patientensicherheit und Versorgungsqualität gefährden, aber andererseits auch zu steigenden Gesundheitsausgaben beitragen und damit die Effizienz des Gesundheitssystems beeinträchtigen.

Die oben beschriebenen Versorgungsdefizite wurden und werden u.a. mit dem aus dem angelsächsischen Raum kommenden Begriff «Low Value Care» (LVC) in Verbindung gebracht. International existieren bereits eine Reihe von Initiativen, die versuchen LVC zu identifizieren und auf De-Implementierung, also Nicht-Weiterverfolgung, von LVC Leistungen zu drängen.

Nach unserem besten Wissen wurde in der Schweiz bisher noch nicht versucht, LVC mit Hilfe von Abrechnungsdaten zu identifizieren. Vor diesem Hintergrund hat die Stiftung einer der führenden Schweizer Krankenversicherungen, die Stiftung Groupe Mutuel, den Lehrstuhl Management im Gesundheitswesen der School of Medicine der Universität St. Gallen damit beauftragt, die Machbarkeit der Identifikation von LVC aus anonymisierten Abrechnungsdaten zu prüfen und potenzielle LVC Leistungen zu identifizieren und zu quantifizieren.

Ziele dieser Studie sind also (1) die Herleitung und klare Definition von LVC, (2) die Identifikation und Quantifizierung von LVC bei der Versorgung ausgewählter Krankheitsbilder und (3) die Diskussion der gesundheitspolitischen Bedeutung der Ergebnisse in Bezug auf die Schweiz.

Zu diesem Zweck ist der wissenschaftliche Bericht wie folgt strukturiert: Nachfolgend wird der Begriff LVC erläutert und ein kurzer Literaturüberblick gegeben. Zudem wird die Studie in den internationalen Kontext eingeordnet und dargelegt, inwiefern durch diese Studie ein Beitrag zu bestehenden Erkenntnissen geleistet wird. Im zweiten Kapitel wird die allgemeine Vorgehensweise der Studie erläutert, die Datengrundlage vorgestellt und die Wahl der beiden Krankheitsbilder, die in dieser Studie detailliert analysiert werden, begründet. In den Kapiteln 3 und 4 werden die beiden Krankheitsbilder – Chronic obstructive pulmonary disease (COPD) und Koronare Herzkrankheit (KHK) – beschrieben und Hypothesen gebildet, inwiefern es in Teilen des jeweiligen Versorgungspfads zu LVC kommen könnte. Auf Basis dieser Hypothesen wurden Berechnungsmodelle aufgebaut und mit anonymisierten Versichertendaten der Groupe Mutuel genutzt, um LVC zu identifizieren und zu quantifizieren. Sowohl die genutzten anonymisierten Versichertendaten als auch die entwickelten Modelle werden jeweils in den Kapiteln 3 und 4 im Detail beschrieben. Anschliessend folgt eine Darstellung der jeweiligen Modellergebnisse. Abschliessend wird in beiden Kapiteln erläutert, welche Implikationen die gewonnenen Erkenntnisse für die Gesundheitsversorgung haben. In Kapitel 5 werden die Ergebnisse zusammengefasst und Handlungsempfehlungen für das Schweizer Gesundheitssystem und die Krankenversicherungen vorgestellt. Diese Empfehlungen sollen als Diskussionsgrundlage für mögliche Strategien zur Vermeidung von LVC dienen.

Die Inhalte der Studie wurden von den Autoren eigenständig und unabhängig erarbeitet, d.h. die Freiheit von Forschung und Lehre war jederzeit gewahrt. Die Studie wurde durch die Stiftung

Groupe Mutuel finanziert und die so zur Verfügung gestellten Drittmittel zweckgebunden eingesetzt.

Abschliessend sei angemerkt, dass der vorliegende wissenschaftliche Bericht zur Kommunikation und Veranschaulichung der erarbeiteten Ergebnisse dient. Wir haben uns entsprechend um eine präzise, bündige Darstellung der Inhalte und Argumente bemüht.

An dieser Stelle möchten wir uns bei unseren Partnern, insbesondere den Ärzten des Universitätsspitals Bern und des Kantonsspitals St. Gallen bedanken. Sie haben uns während des Projektes mit wertvollem Input und kritischen Fragen zum Vorgehen unterstützt. Auch möchten wir uns bei der Groupe Mutuel für das Vertrauen und die konstruktive Zusammenarbeit bedanken. Weiter danken wir unserem studentischen Mitarbeiter, Johan Faxner, der uns während der Datenaufbereitungsphase tatkräftig unterstützt hat.

1.2 Low Value Care – Definitionen und Literaturüberblick

Das Thema LVC kam erstmals Ende der 1990er Jahre auf, als ein Expertengremium in den USA zu dem Schluss kam, dass die Versorgungsstrukturen nicht optimal für eine qualitativ hochwertige Versorgung seien. Damals sprach man noch nicht von LVC im Ganzen, sondern ausschliesslich von Überversorgung. Überversorgung im Sinne von LVC liegt gemäss Chassin et al. [1] dann vor, «wenn eine Gesundheitsleistung unter Umständen erbracht wird, bei denen der potenzielle Schaden den möglichen Nutzen übersteigt» (S. 1002). Chassin et al. [1] schlugen vor, dass der Wert einer Gesundheitsleistung als Nutzen für die Gesundheit pro ausgegebener Geldeinheit gemessen werden sollte. Darauf basierend wurden drei Hauptprinzipien entwickelt: 1) Bereitstellung einer wirksamen Versorgung für diejenigen, die davon profitieren könnten, 2) Vermeidung von unangemessener Versorgung und 3) Vermeidung vorhersehbarer Komplikationen. Aus diesen Grundsätzen leiteten die Autoren ab, dass Qualität die Summe aller Prozesse während der Behandlung und des Endergebnisses ist. Zur Zeit dieser ersten Auseinandersetzung mit LVC Ende der 1990er Jahre war der Begriff LVC stark mit dem Begriff «Überversorgung» verbunden und fokussierte sich auf den Nutzen, den eine Gesundheitsleistung für einen definierten Geldwert stiftete. Im Laufe der letzten Jahrzehnte und im Kontext der Versorgungsforschung, insbesondere bei der Bedarfs- und Spitalplanung, wird der Begriff «Überversorgung» nicht mehr so stark mit LVC sondern eher mit dem Begriff der «Bedarfsgerechtigkeit» in Verbindung gebracht [2].

In den letzten Jahren wurden dementsprechend folgende Definitionen für LVC entwickelt:

- «Unter Low Value Care versteht man die Inanspruchnahme einer Versorgung, die dem Patienten angesichts der Kosten, der verfügbaren Alternativen und der Präferenzen des Patienten wahrscheinlich keinen Nutzen bringt.» [3]
- «Eine Intervention, die nachweislich keinen oder nur einen sehr geringen Nutzen für die Patienten bringt, oder das Risiko eines Schadens den wahrscheinlichen Nutzen übersteigt, oder, allgemeiner ausgedrückt, die zusätzlichen Kosten der Intervention keinen proportionalen zusätzlichen Nutzen bieten.» [4]
- «[...] erhöht die Kosten, verursacht iatrogene Patientenschäden und beeinträchtigt häufig die Bereitstellung hochwertiger Pflege.» [5]
- «Eine Versorgung, die angesichts der Schäden, Kosten, verfügbaren Alternativen oder Präferenzen des Patienten wahrscheinlich keinen Nutzen für den Patienten hat.» [6]

Diese Definitionen verdeutlichen den begrenzten Nutzen der Behandlung und den potenziellen iatrogenen Schaden, der durch die geplante Versorgungsleistung entstünde bzw. durch eine

durchgeführte Versorgungsleistung entstanden ist. Weitere Folgen sind die Verursachung übermäßiger Kosten und unverhältnismässiger Ressourcenverbrauch. Zudem stellen Mafi & Parchman [5] explizit fest, dass LVC das Gegenteil einer «wertbasierten Versorgung» - oder aus dem Englischen «Value-based healthcare» - ist, denn das volle Potenzial der angewandten Behandlung kann bei LVC weder vom Patienten noch vom Gesundheitssystem vollständig ausgeschöpft werden.

Allerdings können Behandlungen, die in einem (Patienten-) Kontext als geringwertig eingestuft werden, in einem anderen (Patienten-) Kontext einen angemessenen Wert bieten - d. h. die Schwelle des gebotenen Werts variiert zwischen Patienten bzw. Patientengruppen [7]. Chan et al. [8] kritisieren, dass in der frühen Forschung spezifische Instrumente zur Messung von der mit LVC gemeinten «Übersversorgung» fehlten [9]. Daher wird in der Literatur vermehrt argumentiert zu differenzieren, «welche Intervention für wen unter welchen Umständen funktioniert» [10].

Um LVC messbar zu machen, wird in dieser Studie die Definition nach Maratt et al. [11] übernommen, wobei einzelne Teile von LVC Definitionen ergänzt werden, um ein möglichst holistisches Bild davon zu erhalten. Basierend auf Maratt et al. [11] ist LVC im Kontext dieser Studie also eine Leistung, (a) die einem Patienten wenig oder keinen Nutzen bringt, (b) potenziell Schaden verursacht, (c) unnötige bzw. unnötig hohe Kosten verursacht und/oder (d) knappe Gesundheitsressourcen verschwendet [12–14]. Wir nehmen zudem an, dass jede Gesundheitsleistung generell effektiv sein kann, der tatsächliche Nutzen jedoch immer vom Kontext abhängt. Das heisst, wer bzw. in welchem Masse jemand von einer Gesundheitsleistung profitiert hängt vom Patientenkontext ab. Daher lautet die vollständige Definition, welche wir in diesem wissenschaftlichen Bericht für LVC verwenden, wie folgt:

«Low Value Care sind Leistungen, die im individuellen Kontext (a) Patienten wenig oder keinen Nutzen bringen, (b) potenziell Schaden verursachen, (c) unnötige Kosten entstehen lassen und/oder (d) knappe Gesundheitsressourcen verschwenden im Vergleich zur Anwendung alternativer Leistungen bzw. der Anwendung bei einer alternativen Patientengruppe.»

Da LVC ein breites Spektrum von Gesundheitsleistungen umfassen kann, unterscheidet man drei Arten [6]:

- 1) ineffiziente Versorgung, d.h. die Bereitstellung einer Gesundheitsleistung, deren Ressourceneinsatz in bestimmten Situationen im Vergleich zum erzielten Outcome zu hoch ist, z.B. aufgrund einer unangemessenen Dosis oder Dauer der Behandlung, oder höher verglichen zum Ressourceneinsatz anderer Behandlungen mit gleichem Outcome ist,
- 2) ineffektive Versorgung, d.h. eine Behandlung, die im vorliegenden Fall nicht wirksam ist oder zumindest weniger wirksam als eine andere Behandlung mit gleichem Ressourceneinsatz
- 3) unerwünschte Versorgung, d.h. eine Versorgung, die in dem betreffenden Patientenkontext wirksam sein kann, aber nicht den Präferenzen des Patienten entspricht.

Um LVC zu reduzieren, wurden in der Literatur verschiedene Ansätze zur De-Implementierung von LVC vorgeschlagen [6, 15–18]. Der Begriff «De-Implementierung» beschreibt den Prozess der Vermeidung ineffizienter, ineffektiver und unerwünschter Versorgung, um die Ergebnisse für die Patienten zu verbessern und den ungebremsten Anstieg der Gesundheitskosten bei gleichzeitiger Nicht-Verbesserung der Versorgungsqualität zu mindern [15, 19]. Die Vermeidung von LVC soll nicht zu Kompromissen bei den Patientenergebnissen aufgrund einer geringeren Versorgungsdichte und/oder Zugang zu Versorgung führen, sondern stattdessen die Umverteilung von Ressourcen auf eine hochwertige, d.h. effiziente, effektive und erwünschte Versorgung fördern [12].

1.3 Studieneinordnung

Ein Ansatz, der sich auf die De-Implementierung von LVC konzentriert, ist die «Choosing Wisely»-Bewegung. Sie wurde im Jahr 2012 in den USA gegründet. Medizinische Fachgesellschaften entwickelten hierfür Listen mit Behandlungen, die gemäss medizinisch-empirischer Evidenz keinen bzw. zu niedrigen Nutzen für den Patienten in einem bestimmten Kontext bieten [20]. Die Schweiz hat dieses Konzept 2017 für die Initiative «Smarter Medicine» übernommen. Einige Empfehlungen basieren auf dem Choosing Wisely Konzept, die meisten schweizerischen Fachgesellschaften haben zusätzlich eigene Empfehlungen entwickelt und so «Top-5»-Listen für LVC Leistungen pro Fachgebiet herausgearbeitet [21]. In den letzten zehn Jahren haben auch Länder wie Italien, Kanada und Japan den Grundgedanken von Choosing Wisely aufgenommen und Leitlinien zur De-Implementierung von LVC entwickelt [22].

Die LVC Listen der Initiativen Choosing Wisely und Smarter Medicine basieren auf Evaluationen von Gesundheitsleistungen hinsichtlich ihrer (Kosten-) Effektivität. Im Gegensatz hierzu hat unsere Studie einen anderen Ansatz: Mittels einer retrospektiven Beobachtungsstudie wird untersucht, ob Teile des durch medizinische Leitlinien definierten Versorgungspfads zur Diagnose bzw. Therapie von zwei Krankheitsbildern in der Praxis eingehalten werden. Wir testen also, ob die Leitlinien, die u.a. auch von den vorgennannten Initiativen genutzt werden, in der Regelversorgung Anwendung finden. Unser Studienansatz ist also als Erweiterung von Smarter Medicine zu verstehen. Ziel der Studie ist es beispielhaft an ausgewählten Teilen des Versorgungspfads zweier Krankheitsbilder transparent zu machen

- 1) in welchem Umfang LVC anfällt, also in der Praxis entgegen medizinischen Leitlinien vorgegangen wird – sei es aufgrund des Patienten oder des Arztverhaltens – und
- 2) zusätzlich für KHK zu untersuchen, ob Gesundheitsausgaben eingespart bzw. in welchem Umfang Ressourcen anders hätten eingesetzt werden können.

2 Vorgehensweise

Die nachfolgenden Unterkapitel stellen allgemeine Hinweise zur Studiererstellung, die verwendete Datengrundlage und die Gründe für die Wahl der beiden Krankheitsbilder vor. Ausserdem werden Hinweise zum Vorgehen bei der Modellierung gegeben.

2.1 Allgemeine Hinweise

Zur Erreichung der weiteren Studienziele – der Identifikation and Quantifizierung von LVC im Schweizer Gesundheitswesen anhand von ausgewählten Krankheitsbildern – mussten die untersuchten chronischen Erkrankungen und deren Versorgungspfade verstanden und mit Hilfe von anonymisierten Versichertendaten, welche während der Regelversorgung v.a. zu Abrechnungszwecken erhoben wurden, analysiert werden.

Zu diesem Zweck wurden Literaturrecherchen durchgeführt und ausführliche Gespräche mit ärztlichen Experten¹ geführt. Darüber hinaus wurden nationale Leitlinien herangezogen, um die medizinisch optimalen Versorgungspfade im Detail zu verstehen, die mit den anonymisierten Versichertendaten nachbildbaren Teile zu identifizieren und schliesslich die Überprüfung dieser Teile algorithmisch umzusetzen.

Im Übrigen hat über den Erstellungszeitraum von Dezember 2021 bis Ende November 2022 ein monatlicher strukturierter Austausch mit der Groupe Mutuel stattgefunden.

2.2 Datengrundlage

In dieser Studie basiert die Modellierung sowie die Analyse der Versorgungspfade ausschliesslich auf anonymisierten Versichertendaten. Patienten wurden also nicht während eines bestimmten Zeitraums ihrer Behandlung direkt begleitet, wie z.B. in einer randomisiert-kontrollierten Studie. Vielmehr wurden der Versorgungspfad mittels anonymisierter Datenpunkte chronologisch nachgebildet. Hierdurch konnte nachvollzogen werden, welche Leistung von welchem Typ Leistungserbringer zu welchem Zeitpunkt erbracht wurde.

Zu diesem Zweck haben wir mit denen von der Groupe Mutuel in anonymisierter Form zur Verfügung gestellten Versichertendaten eine auf SQL basierende Datenbank aufgebaut. In dieser Datenbank liegen je Versicherten für den Zeitraum von 2015 bis 2020 Personenstammdaten, Vertragsinformationen und Abrechnungsdaten vor. Personenstammdaten beschränken sich hierbei auf Jahrgang und Nationalität (als Angabe «Schweizer» oder «Nicht-Schweizer»²). Die Vertragsinformationen beinhalten die Art des Versicherungsprodukts, die ersten drei Stellen der Postleitzahl des Versicherten zur Zeit des Vertrags, Beginn und Ende des Vertrags, das Franchise-Level, falls zutreffend Franchiseerhöhungen bzw. -verminderungen über den Zeitraum und ob der

¹ Zu COPD wurde mit einem Facharzt Pneumologie aus einem Kantonsspital zum Krankheitsbild und dem Versorgungspfad gesprochen. Bei KHK wurde ein Facharzt Kardiologie aus einem Universitätsspital zur Erläuterung des Krankheitsbildes und des Versorgungspfades herangezogen.

² Die Angabe zur Nationalität bzw. Status Schweizer oder Nicht-Schweizer ist in kein Rechenmodell eingegangen, sondern wird hier nur zur Vollständigkeit erwähnt (vgl. 3.3 bzw. 4.3).

Versicherte eine Prämienreduktion erhalten hat. Die anonymisierten Abrechnungsdaten beinhalten die einzelnen Positionen jeder im Beobachtungszeitraum erhaltenen bzw. eingereichten Rechnung je Versicherten: Für jede Position ist das Datum der Behandlung, Datum der Rechnung, der Betrag der Position in CHF, der Anteil, der durch die Versicherung übernommen wird, eine Beschreibung der Position (Freitext), der Tarif, über den die Position abgerechnet wird und der Tarifcode verfügbar. Bei stationären Behandlungen, die im SwissDRG Tarif abgerechnet wurden, liegen der DRG-Code, die stationäre Aufenthaltsdauer und der Grund des Aufenthalts (Krankheit, Unfall oder Schwangerschaft) vor.

2.3 Chronisch-obstruktive Lungenerkrankung

Als erstes Krankheitsbild untersuchen wir COPD. Gründe für die Aufnahme dieses Krankheitsbilds in unsere Studie sind, dass (1) die Patienten einem langwierigen Leidensweg ausgesetzt sind, (2) die Krankheit relativ häufig ist, (3) hohe Gesundheitskosten anfallen, (4) eine gute Therapierbarkeit der Krankheit bei entsprechendem (Selbst-) Management belegt und in Leitlinien abgebildet ist und schliesslich (5) leitliniengerechte Behandlungen in Abrechnungsdaten überprüfbar sind.

In der Schweiz leiden rund 400'000 Menschen an COPD [23]. Die jährlichen direkten Gesundheitsausgaben in der Schweiz werden auf CHF 603-847 Mio. geschätzt, während sich die indirekten Kosten der COPD auf bis zu CHF 932 Mio. pro Jahr belaufen [24]. Behandlungen zielen darauf ab, die Symptome und den Krankheitsverlauf zu lindern und Exazerbationen (d.h. Entgleisungen) der Krankheit und damit verbundene Hospitalisierung zu verhindern. Zu den typischen Symptomen zählen Atemnot, Auswurf, Husten oder auch verstärkte Beschwerden bei Erkältungen und Grippeerkrankungen. Die Prävalenz von COPD ist bei Personen mit einem tiefen sozioökonomischen Status besonders hoch [25].

Die wichtigsten Therapiebausteine sind Medikamente³, Raucherentwöhnung und Programme zur Steigerung der physischen Aktivität. Da es für diese Erkrankung keine Heilungschancen gibt, besteht das Ziel der Krankheitsbewältigung darin, die Verschlechterung des Gesundheitszustands zu verlangsamen und Exazerbationen zu vermeiden. Essenziell ist hierfür nicht zuletzt eine hohe Medikamentenadhärenz. Unzureichende Medikamenteneinnahme kann Exazerbationen auslösen [26], wodurch gleichzeitig der Gesundheitsstatus dauerhaft wesentlich verschlechtert, sowie hohe Kosten aufgrund einer Hospitalisierung verursacht werden. Im schlimmsten Fall endet die Erkrankung im Tod durch akute Atemnot.

Im Rahmen dieser Studie und im LVC Kontext wird also folgende Forschungsfrage untersucht: *«Welche Auswirkungen hat unzureichende Medikamentenadhärenz mit Hinblick auf Exazerbationswahrscheinlichkeit und Gesundheitsausgaben?»*

Konkret wird untersucht, ob durch unzureichende Einnahme verschriebener langwirkender Medikamente Exazerbationen wahrscheinlicher werden und so höhere Kosten, u.a. durch

³ Wesentlich ist vor allem die Einnahme von langwirkenden Medikamenten mit bspw. dem Wirkstoff Beta2-Agonisten. Medikamente mit diesem Wirkstoff müssen über Jahre kontinuierlich eingenommen werden. Dies ist jedoch nur ein Beispiel und es gibt noch viele weitere relevante Wirkstoffe. Die Anzahl verschiedener einzunehmender langwirkender Medikamente hängt vom Stadium der COPD ab, d.h. es können auch mehrere langwirkende Medikamente gleichzeitig eingenommen werden.

vermeidbare Hospitalisierungen, verursacht werden im Vergleich zu jenen Patienten, die die Medikamente gemäss Verschreibung einnehmen. Sollte sich herausstellen, dass die verminderte Einnahme der Medikamente zu Mehrkosten und vermeidbarem Leidensdruck aufgrund von Hospitalisierungen führt, so ist davon auszugehen, dass ein Fall von LVC vorliegt.

2.4 Koronare Herzkrankheit

Als weiteres Krankheitsbild untersuchen wir die KHK. Die Gründe für die Wahl dieser Krankheit sind ähnlich zu denen der Wahl von COPD. KHK zählt zu den häufigsten Herz-Kreislauf-Erkrankungen und zu den häufigsten chronischen Erkrankungen. Sie ist gekennzeichnet durch atherosklerotische Veränderungen der Herzkranzgefässe und ist eine der wichtigsten Ursachen für Morbidität und Mortalität in der Schweiz [27, 28]. Akute Verschlechterungen im Verlauf einer KHK können sich als akuter Herzinfarkt mit plötzlichem Verschluss oder kurz vor Verschluss eines Koronargefässes manifestieren. In «stabilen» Phasen der KHK treten v.a. Beschwerden unter Belastung bei Vorhandensein eines eingengten Koronargefässes auf. Weitere Symptome der KHK reichen von Engegefühl in der Brust, über Atembeschwerden und Rhythmusstörungen bis zum plötzlichen Herztod.

Die Diagnose und Abklärung der KHK kann entweder mittels invasiver Koronarangiografie (Herzkatheteruntersuchung) erfolgen, in deren Rahmen auch direkt eine Behandlung mittels Aufdehnung des Gefässes durch einen Ballon und/oder Stentimplantation (Gefässstütze) erfolgen kann. Alternativ kann auch mittels nicht-invasiver Methoden wie der Stress-Elektrokardiographie (Ergometrie) oder eines bildgebenden Verfahrens wie beispielweise der Koronar-Computertomographie (CT) eine KHK diagnostiziert werden. Vorteile der Koronar-CT gegenüber der invasiven Koronarangiografie sind, dass kein Katheter in das Herz gelegt werden muss, wodurch die Aufenthaltsdauer im Spital kürzer ist und die Diagnostik deutlich kostengünstiger wird. Dadurch besteht nur ein geringes Risiko für unerwünschte Folgen wie bspw. Rupturen, Infektionen oder Nachwirkungen von Sedierungen.

Im Rahmen dieser Studie soll LVC bei der KHK Diagnostik daher entlang folgender Forschungsfrage untersucht werden: *«Kann die Effizienz des diagnostischen Teils des KHK-Versorgungspfads durch verstärkte Berücksichtigung von schonenden, nicht-invasiven bildgebenden Verfahren wie der Koronar-CT gesteigert werden?»*

Wenn mittels einer Koronar-CT eine KHK ausgeschlossen werden kann, dann wird keine invasive Koronarangiografie mehr benötigt. Falls jedoch direkt eine invasive Koronarangiografie durchgeführt wurde, ohne, dass ein Stent gesetzt wird, dann hätte davor möglicherweise ebenfalls eine Koronar-CT Aufschluss über die vorliegende Situation geben können [29]. Wir nehmen dadurch an, dass wenn ein Stent auf eine invasive Koronarangiografie folgt, die invasive Koronarangiografie als gerechtfertigt angesehen werden kann⁴. Somit werden invasive Koronarangiografien nur dann als LVC klassifiziert, wenn danach kein Stent eingesetzt wurde und man zuerst eine Koronar-CT hätte durchführen können. Wir untersuchen LVC im Kontext der KHK also im diagnostischen Teil des Versorgungspfads im Gegensatz zum therapeutischen Teil (Medikation) bei COPD.

⁴ Im Übrigen ist ein wesentlicher Vorteil der invasiven Koronarangiografie, dass bei positivem Befund die Therapie des Patienten zeitlich direkt nach erfolgter Diagnose, also in derselben Sitzung, erfolgen kann.

3 Chronisch-obstruktive Lungenerkrankung

Zunächst wird das Krankheitsbild der COPD beschrieben (Häufigkeit, typische Patientencharakteristika, internationaler Vergleich). Anschliessend wird der «optimale» Versorgungspfad vorgestellt. Hierbei dient das in Deutschland zur Anwendung kommende COPD Disease Management Programm (DMP) als Beispiel für ein strukturiertes Behandlungsprogramm. Danach wird die Methode sowie das Modell vorgestellt, mithilfe dessen LVC identifiziert und quantifiziert wurde. Es folgt ein Unterkapitel zur Vorstellung der Ergebnisse und schliesslich eine abschliessende Diskussion, in der die Ergebnisse eingeordnet und Implikationen abgeleitet werden.

3.1 Krankheitsbild

COPD ist eine chronische Lungenerkrankung, die in der Regel durch die Exposition gegenüber schädlichen Partikeln (meist Rauchen) verursacht wird und durch Atemwegssymptome (d.h. Dyspnoe, Husten und Auswurf) und eine Behinderung des Luftstroms gekennzeichnet ist. Obwohl das Rauchen einer Mehrheit der COPD-Fälle zugrunde liegt, ist dies nicht die einzige Ursache für die chronische Lungenerkrankung. Zudem spielen genetische Dispositionen, frühkindliche Lebensereignisse, Atemwegsinfektionen sowie Luftverschmutzung in Innenräumen und im Freien ebenfalls eine Rolle in der Entwicklung von COPD [30]. Eine Reihe von systematischen Übersichtsarbeiten hat den Nachweis erbracht, dass die Prävalenz der COPD bei Rauchern und ehemaligen Rauchern im Vergleich zu Nicht-Rauchern, bei Personen über 40 Jahren im Vergleich zu Personen unter 40 Jahren und bei Männern im Vergleich zu Frauen höher ist [31–33].

Die Patienten leiden unter anhaltenden Atemsymptomen mit Perioden akuter Verschlechterung - sogenannten Exazerbationen [34]. Zwei von drei Todesfällen werden durch nicht-übertragbare Krankheiten verursacht und COPD war 2019 die dritthäufigste Todesursache weltweit (fünfhäufigste Todesursache in der Schweiz) [34–36]. Zudem leiden viele COPD-Patienten auch an Komorbiditäten wie Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Diabetes oder Depressionen [37]. Komorbiditäten sind wiederum wichtige Determinanten für das Behandlungsergebnis [38] und haben erhebliche negative wirtschaftliche Folgen [39–42].

Die Diagnosestellung wird primär durch eine Spirometrie durchgeführt, die die Lungenfunktion misst und den «Forced Expiratory Pressure in 1 Second» (FEV₁-) Wert bestimmt. Dieser Wert repräsentiert die sogenannte «Einsekundenkapazität», d.h. den Anteil des Maximalvolumens, welcher innerhalb einer Sekunde ausgeatmet werden kann. Fällt dieser Wert unter 70%, so kann dies ein Hinweis auf COPD sein. Zudem sollten Spirometrien zum Monitoring der Lungenfunktion regelmässig durchgeführt werden und sie kommen zusätzlich zum Einsatz, falls eine akute Verschlechterung der Lungenfunktion bei einer bereits diagnostizierten COPD vermutet wird [43]. Um das Stadium der COPD zu definieren, wird diese in das «Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease» (GOLD) Schema eingeordnet (vgl. Abbildung 1). Dabei wird zwischen unterschiedlichen Schweregraden der Einschränkung der Lungenfunktion sowie der Symptomatik bzw. des Exazerbationsrisikos unterschieden. Die Lungenfunktion wird mittels Stadien von I bis IV angegeben, wobei I die geringste und IV die stärkste Atemfluss-Einschränkung darstellt.

Die Symptomatik bzw. das Exazerbationsrisiko wird auf einer Skala von A bis D angegeben, wobei A die geringste Symptomatik bzw. das geringste Exazerbationsrisiko indiziert und D die höchste Stufe widerspiegelt. Dabei werden die Scores aus dem COPD Assessment Scores (CAT) und die Anzahl an hospitalisierten Exazerbationen eines Patienten berücksichtigt. Der Schweregrad der COPD eines Patienten wird also aus der Kombination einer römischen Zahl von I bis IV und einem Buchstaben von A bis D, also z.B. III C, angegeben.

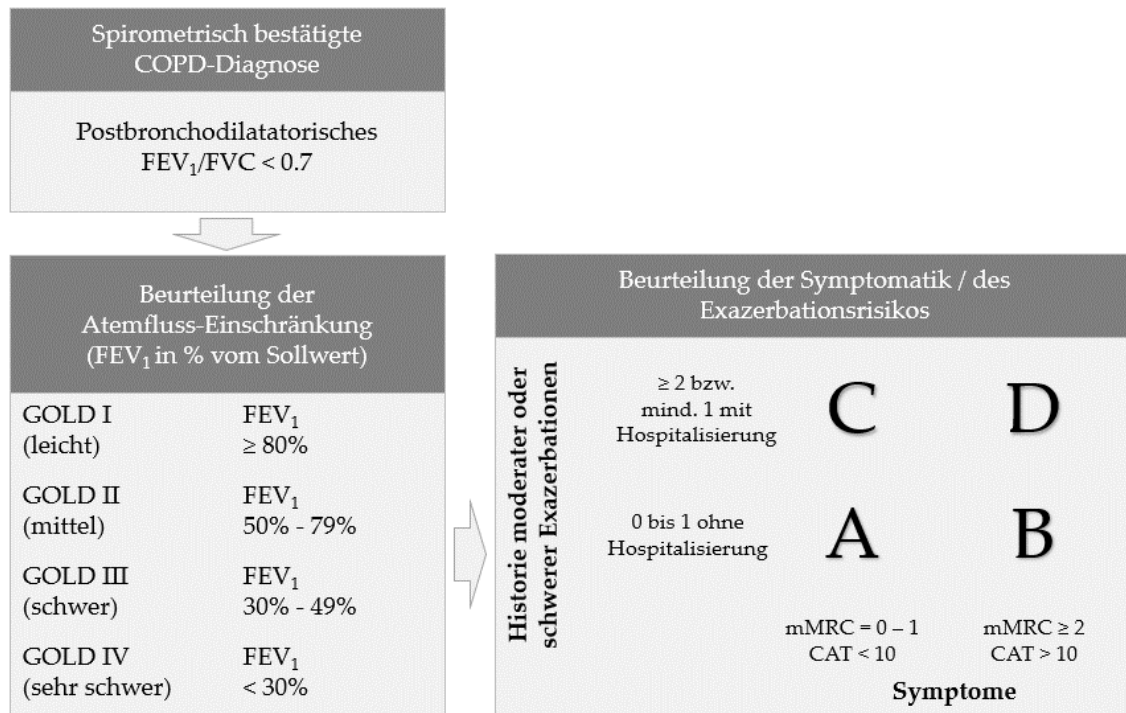


Abbildung 1: Klassifikation der COPD-Stadien in Anlehnung an GOLD [43]

Anmerkung: FEV₁ gibt die Lungenfunktion an. CAT steht für den COPD Assessment Test, wobei der Patient selbst Angaben zum Gesundheitszustand in Bezug auf COPD macht. Die Modified British Medical Research Council Skala (mMRC) indiziert die Schwere bzw. den Grad der Atemnot bei COPD-Patienten.

Behandlungen zielen darauf ab, Symptome zu lindern und eine Verschlechterung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität zu verhindern. Die wichtigsten Therapiebausteine sind Medikamente, Raucherentwöhnung und Programme zur Steigerung der physischen Aktivität.- Ein möglicher Behandlungsansatz ist das COPD-Selbstmanagement. Effing et al. [44] beschreiben diesen Ansatz wie folgt: «Eine COPD-Selbstmanagement-Intervention ist strukturiert, aber personalisiert und oft mehrkomponentig, mit dem Ziel, die Patienten zu motivieren, zu engagieren und zu unterstützen, ihr Gesundheitsverhalten positiv anzupassen und Fähigkeiten zu entwickeln, um ihre Krankheit besser zu bewältigen» (S. 50). In einem Cochrane-Review wurde schon vor einigen Jahren festgestellt, dass ein erfolgreiches Patienten-Selbstmanagement bei COPD mit einer Verringerung der Wiederaufnahmequote nach einem Spitalaufenthalt verbunden ist [45]. Darüber hinaus hat vor allem Medikamentenadhärenz, die bei COPD-Selbstmanagement eine zentrale Rolle spielt, ein hohes Potenzial, Hospitalisierungen und Mortalitätsrisiko zu verringern [26, 46]. Ziel von Chronic Care Programmen wie dem deutschen COPD DMP ist es daher, COPD-Patienten dabei zu unterstützen, mit dem Rauchen aufzuhören, Medikamente zum richtigen Zeitpunkt und in der richtigen Dosierung einzunehmen und/oder sich an Bewegungspläne zu halten. Abschliessend sei erwähnt, dass die Behandlung der COPD nicht aufgrund des Vorliegens von Komorbiditäten geändert werden sollte [34].

Für die COPD-Versorgung ist die Evidenzbasis für wirksame Behandlungen also gut etabliert und Spitaleinweisungen können durch ein gut funktionierendes Primärversorgungssystem verhindert werden. Daher kann die Zahl von Spitaleinweisungen je 100'000 Einwohnern als Indikator für die Qualität und den Zugang zur Primärversorgung eines Gesundheitssystems herangezogen werden. Vor diesem Hintergrund ist interessant, dass die Schweiz im OECD-Vergleich gut abschneidet. Pro 100'000 Einwohnern fanden z.B. 2019 141 Spitaleinweisungen⁵ in der Schweiz statt [47]. Diese Rate ist zwischen 2009 und 2019 zwar um 155% gestiegen, gleichzeitig lag der OECD-Durchschnitt 2019 jedoch bei 171 Hospitalisierungen pro 100'000 Einwohner. Vergleichsweise hoch sind die Hospitalisierungen pro 100'000 Einwohner in Deutschland mit 250 Hospitalisierungen und in Österreich mit 194 Hospitalisierungen. In Frankreich fanden zur gleichen Zeit 120 Hospitalisierungen pro 100'000 Einwohner statt. Besonders beeindruckend ist jedoch die Situation in Italien, wo 2009 noch 119 Hospitalisierungen gemeldet wurden und diese Zahl innerhalb von 10 Jahren auf 39 Hospitalisierungen pro 100'000 Einwohner gesenkt werden konnte.

3.2 Versorgungspfad

Typischerweise wenden sich Patienten bei ersten COPD-Symptomen an ihren Hausarzt. Hier werden neben der Symptomabklärung zudem mögliche Risikofaktoren aufgrund früherer Tätigkeiten wie bspw. die Exposition gegenüber schädlichen Partikeln in Betracht gezogen [43]. Sollten Symptome und Risikofaktoren auf eine COPD hindeuten, kann diese Verdachtsdiagnose durch eine körperliche Untersuchung, das Abhören der Lunge und die Auswertung von Röntgenbildern erhärtet werden. Eine Spirometrie – d.h. wie weiter oben beschrieben eine Lungenfunktionsprüfung – ist ausserdem das wichtigste Werkzeug zur Diagnosestellung [48]. Bei der folgenden Bestätigung der COPD durch einen Pneumologen werden die nötigen Medikamente zur Behandlung der COPD verschrieben. COPD-Patienten wird empfohlen, mindestens einmal jährlich eine Spirometrie durchführen zu lassen, um die Lungenfunktion kontinuierlich zu überprüfen und eine Verschlechterung der Lungenfunktion frühestmöglich zu identifizieren. Zudem wird eine jährliche Grippeimpfung sowie alle fünf bis sechs Jahre eine Pneumokokkenimpfung empfohlen, um Atemwegsinfektionen zu vermeiden. Falls der COPD-Patient raucht, ist ein Rauchstopp unabdingbar, denn Rauchen fördert und verschnellert den progressiven Verlauf der Krankheit.

Wie oben angedeutet, werden COPD-Patienten hauptsächlich ambulant versorgt. Kommt es zu einer Exazerbation, so kann diese in einigen Fällen laut Expertenaussage durch eine Erhöhung der Medikamentendosis behandelt werden. Falls die Exazerbation jedoch höhergradig ist, ist ein mehrtägiger Spitalaufenthalt angezeigt. Eine Exazerbation hat ex-post in der Regel eine nachhaltige, d.h. irreversible Verschlechterung des Gesundheitsstatus und potenziell der gesundheitsbezogenen Lebensqualität des Patienten zur Folge. Hierdurch entstehen nicht zuletzt weitere Ausgaben für das Gesundheitssystem.

In Deutschland liegt mit dem COPD DMP – seit 2006 ein strukturiertes, evidenzbasiertes Behandlungsprogramm zur Bewältigung und zum Umgang mit der Krankheit vor. Im Rahmen des DMP wird der Patient durch einen strukturierten Behandlungsprozess geführt, der die Abstimmung und das Ineinandergreifen der Behandlungen intersektoral verbessert sowie das frühzeitige Erkennen von Folgekomplikationen ermöglicht. Diese Massnahmen sollen die

⁵ Bei den Zahlen handelt es sich um geschlechts- und altersstandardisierte Angaben.

gesundheitsbezogene Lebensqualität und die Lebenserwartung der DMP-Teilnehmer unter Berücksichtigung individueller Komorbiditäten und aktueller Lebensumstände erhöhen.

Dementsprechend hat das COPD DMP fünf Behandlungsziele: 1) akute und chronische Krankheitsbeeinträchtigungen sollen infolge von Exazerbationen oder Folge- und Begleiterkrankungen vermieden werden, 2) eine Reduktion der krankheitsbedingten Beeinträchtigungen der sozialen und körperlichen Aktivität im Alltag ist anzustreben, 3) das rasche Fortschreiten der COPD soll verhindert werden, 4) die COPD-bedingte Letalität ist zu reduzieren und 5) Komorbiditäten sollen adäquat behandelt werden [49].

Durch das DMP werden Patienten gezielt im Umgang mit ihrer Krankheit geschult. So wird die Erkrankung verständlicher gemacht und deren Bewältigung vereinfacht. Der Fokus des COPD DMP liegt auf der Wichtigkeit der Medikamentenadhärenz, dem Tabakverzicht bzw. der Teilnahme an Tabakentwöhnungsprogrammen und Schulungen zur Vermittlung von Informationen zur chronischen Erkrankung. Im DMP koordiniert der Hausarzt die obengenannten Massnahmen für die Patienten und erhält dafür eine zusätzliche Vergütung⁶.

3.3 Patientenstichprobe und Variablenauswahl

Zur Beantwortung der Forschungsfrage werden für das Modell (s. nächstes Unterkapitel) Patienten gemäss folgenden Kriterien eingeschlossen:

- Therapie mit langwirkenden Medikamenten⁷: In den Versichertendaten liegen keine Diagnosedaten vor. Deshalb mussten andere Variablen zur Identifikation von COPD-Patienten genutzt werden. Hierfür wurden langwirkende Medikamente identifiziert, die von COPD-Patienten eingenommen werden müssen. Langwirkende Medikamente müssen zur vollen Effektentfaltung regelmässig eingenommen werden und unterscheiden sich dadurch von kurzzeitig wirkenden Medikamenten⁸, die gemäss dem akuten Bedarf eingenommen werden [43, 50]. Ein Patient, der einmal ein langwirkendes Medikament eingenommen hat, sollte ein langwirkendes Medikament aus gleichem Grund kontinuierlich einnehmen. Welches Präparat eingenommen werden sollte, kann sich jedoch über die Zeit ändern. Daher werden alle Medikamente, die im GOLD-Standard als langwirkende Medikamente definiert sind, zur Identifikation von COPD-Patienten gruppiert: Langwirkende Beta₂-Agonisten (LABA), langwirkende antimuskarinische Antagonisten (LAMA), die Kombination aus LABA und LAMA, die Kombination aus LABA und Kortikosteroid (ICS), die Kombination von LAMA und ICS⁹, und die dreifache Kombination von LABA, LAMA und ICS. Es werden alle Patienten eingeschlossen, die eines dieser Medikamente mindestens einmal bezogen haben. Im Übrigen wird im Modell die

⁶ Die Höhe der Vergütung variiert je nach Bundesland, Krankenversicherung und Leistungsposition (d.h. Einschreibung, Dokumentation und Schulung).

⁷ Wenn im Folgenden von «Medikamenten» gesprochen wird, sind Medikamente mit entsprechenden Wirkstoffen gemeint. So kann es Medikamente von verschiedenen Herstellern mit demselben Wirkstoff geben.

⁸ Kurzzeitig wirkende Medikamente können auch zusätzlich zu langwirkenden Medikamenten eingenommen werden.

⁹ Diese Kombination wird nicht im GOLD-Standard gelistet, wird jedoch in der Schweiz verschrieben.

Medikamentenadhärenz durch die Einteilung der Patienten in Quintile der Medikamentenreserve approximiert (detaillierte Ausführung siehe Kapitel 3.4). Hierfür wurden ebenfalls die oben ausgeführten Kombinationen genutzt.

- Versichertenalter zur Trennung zwischen Asthma- und COPD-Patienten: Die oben genannten langwirkenden Medikamente können neben COPD- auch Asthma-Patienten verschrieben werden. Deshalb ist es nötig, in einem zweiten Schritt zwischen Asthma- und COPD-Patienten zu trennen. Da in den Versichertendaten aber keine Diagnosecodes vorliegen, musste das Versichertenalter zur Unterscheidung zwischen Asthma- und COPD-Patienten herangezogen werden. Einziger Anhaltspunkt ist, dass laut GOLD-Richtlinie exazerbierte Patienten unter 40 Jahren typischerweise an Asthma erkrankt sind. Folglich werden nur Patienten im Alter von 40 Jahren und älter als COPD-Patienten eingeschlossen. Diese Trennung limitiert die Aussagekraft der Analysen, ist jedoch anders nicht durchführbar. Siehe hierzu auch die Diskussion im letzten Kapitel dieses Berichts.
- Abrechnungsdaten liegen für mind. drei Jahre vor: Eine Hospitalisierung aufgrund einer Exazerbation stellt die abhängige Variable der Untersuchung dar. Eine hospitalisierte Exazerbation kann identifiziert werden, wenn ein Spitalaufenthalt mit der Basis DRG E65 abgerechnet wurde. Zur Klärung des Effekts der Medikamentenadhärenz auf die Exazerbationswahrscheinlichkeit müssen Patienten zwei Jahre vor der Exazerbation beobachtet werden. Zur Klärung des Effekts der Medikamentenadhärenz auf die Gesundheitskosten werden Patienten zusätzlich ein Jahr nach Eintritt der Exazerbation beobachtet. Das Datum der hospitalisierten Exazerbation ist der Stichtag und die Beobachtung eines Patienten startet zwei Jahre zuvor. Bei Patienten mit mehreren hospitalisierten Exazerbationen wird nur die erste hospitalisierte Exazerbation, die einen ex-ante Beobachtungszeitraum von zwei Jahren erlaubt, verwendet, um unabhängige Beobachtungen zu gewährleisten. Für Patienten ohne hospitalisierte Exazerbationen besteht per Definition kein Exazerbationstag, der als Stichtag genutzt werden könnte. Deshalb wird durch das Modell ein zufälliger Zeitraum von drei Jahren gewählt. Dadurch werden auch für nicht-hospitalisierte Patienten unabhängige Beobachtungen gewährleistet.

Im Modell wird die Medikamentenadhärenz durch die Einteilung der Patienten in Quintile der Medikamentenreserve approximiert (detaillierte Ausführung siehe Kapitel 3.4). Zur Berechnung der Medikamentenreserve wurden folgende Informationen je Medikament genutzt:

- Kaufdatum
- Packungsgrösse (in Anzahl der Dosen)
- Empfohlene Tagesdosis

Mithilfe dieser Informationen wurde für jeden Patienten die erwartete Medikamentenreserve an jedem Tag des Beobachtungszeitraums geschätzt. Bei einem Wechsel von einer Medikamentenkategorie zu einer anderen, beispielsweise von LABA zu LAMA, wird angenommen, dass beide Medikamente gleichzeitig eingenommen werden, bis eines der beiden nicht mehr nachgekauft wird.¹⁰ Im nächsten Schritt wird diese Variable transformiert, um den Anteil an Tagen zu erhalten, an denen eine Medikamentenreserve bestand.

¹⁰ Dadurch können wir gewährleisten, dass auch Kombinationen von LABA und LAMA, die aber einzeln gekauft werden, gleichzeitig eingenommen werden können.

3.4 Empirische Strategie

In diesem Abschnitt wird der kausale Rubin-Effekt vorgestellt, der empirische Rahmen beschrieben und die Methode zur Schätzung des kausalen Effekts der Medikamentenreserve auf die Wahrscheinlichkeit für eine Exazerbation präsentiert.

Der Begriff «durchschnittlicher Behandlungseffekt» (Average Treatment Effect, ATE) bezeichnet in der Literatur den erwarteten Effekt einer erklärenden Variable (Behandlung) auf die abhängige Variable (Ergebnis) [51]. In diesem Rahmen hat jedes Individuum ein potenzielles Ergebnis mit und ohne Behandlung (y_1 bzw. y_0) und einen Behandlungsstatus, bezeichnet durch die Dummy-Variable Q_q (d.h. ein Wert $Q_q = 1$ bedeutet «behandelt» und $Q_q = 0$ bedeutet «nicht behandelt»). Formal definieren wir den ATE in unserem Model als:

$$\beta_{ate,q} = E(y_q - y_0)$$

Im Rahmen dieser Studie wird als Behandlung der Anteil an Tagen mit Medikamentenreserve an allen Tagen im Beobachtungszeitraum verstanden. Hierdurch wird die Medikamentenadhärenz approximiert, denn nur wenn ein Medikament bei einem Patienten in Reserve ist, kann er dieses Medikament auch einnehmen.

Zur Schätzung des ATEs muss es sich bei der Behandlungsvariable um eine endliche, stetige Variable handeln. Da es sich bei der von uns definierten Medikamentenreserve jedoch um eine kontinuierliche Variable handelt, muss diese Variable in unserer gewählten empirischen Strategie in eine endliche, stetige Variable transformiert werden. Hierfür eignet sich eine Einteilung der Patienten in Quintile, Q_q (vgl. Kapitel 3.5.1). Die Kontrollgruppe ist das erste Quintil Q_1 , das alle Patienten umfasst, die von 0 bis <20% der Tage eine Medikamentenreserve haben. Die Quintile für q zwischen 2 und 5 sind die Gruppen mit einer Medikamentenreserve von 20% bis <40%, von 40% bis <60%, von 60% bis <80% und von 80% bis <100% der Tage. Es wird also der jeweilige ATE für insgesamt vier «Behandlungen», die Quintile 2 bis 5, geschätzt. Somit messen die Effekte $\beta_{ate,q}$ also die durchschnittliche Reduzierung der Wahrscheinlichkeit für eine Exazerbation hospitalisiert zu werden.

Der wichtigste Unterschied zwischen der Identifikation des ATE in einem experimentellen Rahmen, z.B. in einer randomisiert kontrollierten Studie, gegenüber der in dieser Studie zur Anwendung kommenden «Selection on Observables», ist eine schwächere Form der Unabhängigkeitsannahme, also eine bedingte Unabhängigkeitsannahme (*conditional independence assumption*, CIA). Die CIA wird verletzt, wenn unbeobachtete bzw. empirisch nicht getestete oder nicht testbare Einflussfaktoren vorliegen.¹¹ In solchen Fällen wird davon ausgegangen, dass höchstwahrscheinlich nicht erklärte Störfaktoren auf den ATE wirken.

Gemäss diesen Überlegungen wird für diese Studie eine empirische Strategie verwendet, die sich für die Methode der «Selection on Observables» eignet. Hierfür erforderliche identifizierende Annahmen für jeden Patienten der Stichprobe sind:

1. CIA: Die Zuordnung eines Falls in die Behandlungs- und Kontrollgruppe ist abhängig von den Ausprägungen der Kontrollvariablen. Vereinfacht gesagt muss für jeden Fall die Behandlung tatsächlich von den für den Fall gemessenen Werten der beobachteten Kontrollvariablen abhängen. Im Rahmen dieser Studie bedeutet dies, dass alle notwendigen

¹¹ Empirische Korrelationen eines Faktors mit der Behandlung und der abhängigen Variabel helfen bei der Identifikation potenzieller Einflussfaktoren. Korrelationen sind nur Anhaltspunkte, da es weiterer Analysen bedarf, um festzustellen, ob es sich dabei um Korrelationen handelt, die durch eine andere unbeobachtete Variable verursacht werden, oder ob kausale Effekte vorliegen.

Kontrollvariablen beobachtet werden. Es wäre möglich, dass Patienten denen es gesundheitlich besser (mit einer niedrigeren Wahrscheinlichkeit für eine hospitalisierte Exazerbation) geht, weniger Medikamente in Reserve haben. Dadurch würde der Effekt der Behandlung unterschätzt werden.

2. Gemeinsame Unterstützung: Jeder Patient (d.h. jede Beobachtung) könnte die Behandlung erhalten oder nicht erhalten. Im Rahmen dieser Studie bedeutet dies, dass es keine Patientenuntergruppen geben darf, die nur in einem der Quintile vorkommt. Wenn beispielsweise in der Stichprobe alle Patienten älter als 80 Jahre im fünften Quintil der Medikamentenreserve wären, wäre es nicht möglich, eine Aussage über diese Patienten zu treffen. Durch die deskriptiven Ergebnisse (siehe Kapitel 3.5.1) können Verletzungen dieser Annahme ausgeschlossen werden.
3. Exogenität der Kontrollvariablen: Die Behandlung beeinflusst die Kontrollvariablen nicht in einer Weise, die mit dem Ergebnis in Verbindung steht. Im Rahmen dieser Studie bedeutet dies, dass die Behandlung einen Einfluss auf die Kontrollvariablen hat. Beispielsweise hat Alter potenziell einen Einfluss auf die Medikamentenreserve, aber die Medikamentenreserve hat keinen Einfluss auf das Alter der Patienten.
4. Annahme eines stabilen einheitlichen Behandlungswertes:
 - a. Der Behandlungszustand eines Patienten beeinflusst nur das individuelle Ergebnis. Im Rahmen dieser Studie bedeutet dies, dass die Patienten durch ihre eigenen Medikamentenreserve die Wahrscheinlichkeit eines anderen Patienten für eine hospitalisierte Exazerbation nicht beeinflussen.
 - b. Es bestehen nur so viele verschiedene potenzielle Ergebnisse wie verschiedene Behandlungen vorliegen und eines davon für jede Person beobachtet wird. Im Rahmen dieser Studie bedeutet dies, dass die Variation der Medikamentenreserve mehrerer Patienten innerhalb eines Quintils gering sein sollte.

Im empirischen Rahmen dieser Studie würde die CIA so lange gelten, wie alle Variablen, die sich gemeinsam auf die Tage mit Medikamentenreserve und Wahrscheinlichkeit für eine Exazerbation auswirken, beobachtet werden. Angesichts der begrenzten Zahl der beobachteten Variablen ist dies jedoch fraglich und somit auch die Plausibilität der CIA nicht ohne Zweifel. Zwei Bereiche mit möglicherweise unbeobachteten Kontrollvariablen sind beispielsweise:

1. Faktoren zur *Persönlichen Motivation* sind schwer zu beobachten und können sowohl einen Einfluss auf die Medikamentenreserve als auch auf die Wahrscheinlichkeit einer Exazerbation haben, da Patienten mit höherer Motivation ihre COPD zu behandeln, informierter über ihre Erkrankung und aktiver im Selbstmanagement sein könnten. Die Motivation kann sich sowohl auf den Patienten selbst als auch auf Angehörige beziehen, die den Patienten im Alltag unterstützen. Der Faktor *Persönliche Motivation* beinhaltet auch, ob der Patient versuchen würde einen Rauchstopp einzulegen, einen Rauchstopp erfolgreich durchführen könnte und/oder einen Rauchstopp bereits einmal gemacht hat.
2. Die *Finanzielle Lage* des Patienten hat möglicherweise einen Einfluss auf die Inanspruchnahme von Gesundheitsleistungen, da im Schweizer Versicherungssystem immer eine Kostenbeteiligung besteht. Versicherte mit geringen Einkommen können eine Prämienreduktion erhalten. Daher wurde die Variable Prämienreduktion (Dummy-Variable) stellvertretend für die *Finanzielle Lage* der Versicherten in die Regression aufgenommen (s.u.). Es handelt sich jedoch nur um einen Proxy, da durch die Variable Prämienreduktion nur

für untere Einkommensgruppen adjustiert wird. Wenn keine Prämienreduktion vorliegt, ist die genaue Einkommenshöhe weiter unbekannt. Das heisst, dass es durchaus Versicherte ohne Prämienreduktion geben kann, die sich trotzdem aufgrund ihrer finanziellen Lage gegen die Inanspruchnahme von Gesundheitsleistungen entscheiden. Die Nicht-Beobachtung der *Finanziellen Lage* der Patienten würde die CIA wiederum weniger stark belasten, wenn man zeigen könnte bzw. wenn argumentiert wird, dass Patienten mit chronischen Erkrankungen ihre Franchise aufgrund häufiger Inanspruchnahme von Leistungen jedes Jahr überschreiten und sie deshalb einen relativ kleinen Teil ihrer gesamten Gesundheitskosten selbst tragen müssen.

3. Die *Medikamentenadhärenz* des Patienten, sprich die regelmässige Einnahme der Medikamente gemäss Vorschrift, ist im Datensatz nicht abgebildet. Daher wird die Medikamentenreserve – berechnet auf Basis des Kaufdatums - als Proxy für die Medikamentenadhärenz herangezogen. Die Medikamentenreserve indiziert daher, wie oft ein Patient seine Medikamente einnimmt. Dabei greift die Annahme, dass falls der Patient keine Medikamentenreserven zu Hause hat, die Medikamente nicht eingenommen werden und somit ebenfalls die Medikamentenadhärenz sinkt bzw. nicht vorhanden ist. Falls der Patient jedoch die Medikamente auf Reserve zu Hause hat, diese jedoch nicht wie verschrieben einnimmt, so kann dies aufgrund der Datenlage nicht nachvollzogen werden.

Da es sich um eine binäre abhängige Variable handelt (hospitalisierte Exazerbation $E = 1$, keine hospitalisierte Exazerbation $E = 0$), wird eine logistische Regression verwendet:

$$P(E = 1 | \beta_0 + \beta_q Q'_q + \gamma_x X' + \mu_w W') = S(\beta_0 + \beta_q Q'_q + \gamma_x X' + \mu_w W') \quad (1)$$

mit

$$S(\beta_0 + \beta_q Q'_q + \gamma_x X' + \mu_w W') = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_q Q'_q + \gamma_x X' + \mu_w W')}} \quad (2)$$

wobei der Einfluss der Quintile der Medikamentenreserve geschätzt wird durch

$$\beta_q Q'_q = \beta_2 Q_2 + \beta_3 Q_3 + \beta_4 Q_4 + \beta_5 Q_5 \quad (3)$$

und der Einfluss soziökonomischer Faktoren durch

$$\gamma_x X' = \gamma_{1f} F_f + \gamma_2 F^+ + \gamma_3 F^- + \gamma_4 R + \gamma_5 A \quad (4)$$

berücksichtigt wird und schliesslich medizinische Faktoren durch

$$\mu_w W' = \mu_1 E_{t-2} + \mu_2 B + \mu_3 M + \mu_4 D + \mu_5 K \quad (5)$$

Berücksichtigung finden.

Vereinfacht drückt Formel (1) die Wahrscheinlichkeit P pro Patient aus, dass dieser mit einer Exazerbation hospitalisiert wird ($E = 1$), abhängig von seinem Quintil der Medikamentenreserve Q_q (Formel (3)) sowie seiner Ausprägung soziökonomischer Faktoren X (Formel (4)) und medizinischer Faktoren W (Formel (5)). Da es sich um eine logistische Regression handelt, zeigt Formel (2) die Exponentialform der Regressionsgleichung.

Die lineare Form der Quintile, der sozioökonomischen und medizinischen Faktoren ist also jeweils in den Formeln (3), (4) und (5) definiert. Da in unserem Model die Behandlung aus mehreren Quintilen besteht, werden die ATE für β_2 bis β_5 geschätzt. Das erste Quintil dient hierfür als Referenzwert (engl. *baseline*). Eine Übersicht der Notation der Variablen kann der Tabelle 1 entnommen werden.

Als Kontrollvariablen werden Variablen verwendet, die einen Einfluss sowohl auf das Quintil als auch auf die abhängige Variable haben. Die Kontrollvariablen dienen daher dazu, Annahme (1), also die CIA, zu erfüllen. Die Kontrollvariablen lassen sich in zwei Kategorien unterteilen: Sozioökonomische Faktoren (siehe Variablen A , F_f , F^+ , F^- und R in Tabelle 1) und medizinische Faktoren (siehe Variablen E_{t-2} , B , M , D und K in Tabelle 1). Die Franchise F_f ist ein Proxy der Risikopräferenz im Verhältnis zu den erwarteten Gesundheitsausgaben. Da es möglich ist die Franchise während des Beobachtungszeitraums zu wechseln, stellt F_f die Franchise am Ende des Beobachtungszeitraums da. Um für den Wechsel zu kontrollieren, wird die Erhöhung (F^+) und die Senkung (F^-) der Franchise als Kontrollvariable aufgenommen. Des Weiteren wird die Prämienverbilligung R als Kontrollvariable aufgenommen.

Die medizinischen Kontrollvariablen beinhalten Variablen, die auf Exazerbationswahrscheinlichkeit und Medikamentenreserve wirken könnten, sowie Informationen zum Schweregrad der COPD beinhalten. Folglich wird berücksichtigt, ob ein Patient im Beobachtungszeitraum bereits einmal wegen einer Exazerbation hospitalisiert wurde (E_{t-2}). Denn ein Patient, der im Beobachtungszeitraum schon einmal für eine Exazerbation hospitalisiert wurde, hat eine höhere Chance erneut wegen einer Exazerbation hospitalisiert zu werden. Es ist auch möglich, dass ein solcher Patient nach der Hospitalisierung einen höheren Anteil an Medikamentenreserve hat. Ausserdem wurden kurzwirkende Medikamente (B), als Proxy für den Schweregrad der COPD genutzt. Der GOLD-Standard definiert zwei kurzwirkende Wirkstoffgruppen, nämlich Beta2-Agonisten (SABA) und antimuskarinische Antagonisten (SAMA), sowie deren Kombination. Kurzwirkende Medikamente bestehen aus den gleichen Wirkstoffen wie deren langwirkende Alternativen. Diese Medikamente können zusätzlich zu den langwirkenden Medikamenten eingenommen werden und können darauf hindeuten, dass dieser Patient einen höheren COPD Schweregrad aufweist. Weitere Wirkstoffe, die bei der Behandlung von COPD zum Einsatz kommen, sind Methylxanthine (M), Phosphodiesterase-4-Hemmer (D) und Mukolytikum (K). Diese werden bei akuter Verschlechterung der Lungenfunktion eingesetzt und deuten auf eine nicht-hospitalisierte Exazerbation hin.

Tabelle 1: Auflistung der Modellvariablen mit Abkürzungen

Abkürzung		Beschreibung	Ausprägung je Patient
P	Wahrscheinlichkeitsfunktion	Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Patient aufgrund einer Exazerbation hospitalisiert wird	Prozentwert zwischen 0 und 100
S	Exponential-Funktion	Bezeichnung der Exponentialfunktion einer logistischen Regression	-
E	Abhängige Variable	Hospitalisierte Exazerbation	Binär, 0 oder 1
Q_q	Unabhängige Variable von Interesse	Quintil q des Anteils der Tage mit Medikamentenreserve an allen Tagen im Beobachtungszeitraum	Binär, 0 oder 1 (je Quintil)
A		Alter	Stetig

Abkürzung		Beschreibung	Ausprägung je Patient
F _f		Aktuellste Franchise (mit f gleich 350, 500, 1'000, 1'500, 2'000 oder 2'500), d.h. am Ende des Beobachtungszeitraums	Binär, 0 oder 1 (je Franchise)
F ⁺	Sozioökonomische Kontrollvariablen	Erhöhung der Franchise im Beobachtungszeitraum	Binär, 0 oder 1
F ⁻		Senkung der Franchise im Beobachtungszeitraum	Binär, 0 oder 1
R		Prämienreduktion	Binär, 0 oder 1
E _{t-2}		Hospitalisierte Exazerbationen in den zwei Jahren des Beobachtungszeitraums	Binär, 0 oder 1
B	Medizinische Kontrollvariablen	Verschreibung kurzwirkender Medikamente	Binär, 0 oder 1
M		Verschreibung von Methylxanthine	Binär, 0 oder 1
D		Verschreibung von Phosphodiesterase-4-Hemmer	Binär, 0 oder 1
K		Verschreibung von Mukolytikum	Binär, 0 oder 1

Zur Untersuchung der Auswirkungen der Medikamentenadhärenz auf die Gesundheitskosten werden vier explorative Analysen durchgeführt. Dabei werden die Durchschnittskosten mittels des arithmetischen Mittels geschätzt. Dabei wird ein Fokus auf die Kosten auf die zwei Jahre vor der Exazerbation, die Hospitalisierung wegen einer Exazerbation und auf das Jahr nach der Exazerbation gelegt. Da nicht für Patientencharakteristika kontrolliert wird, dient dies nur zu allgemeinen Einschätzung der Kosten und es kann also dadurch kein kausaler Zusammenhang gezeigt werden.

3.5 Ergebnisse

Im folgenden Unterkapitel werden zuerst deskriptive Ergebnisse der Stichprobe und beobachteten Variablen, anschliessend die Ergebnisse der logistischen Regression und schliesslich explorative Analysen zur Schätzung der Auswirkungen auf die Gesundheitsausgaben präsentiert. Abschliessend wird eine explorative Analyse zur richtliniengerechten Durchführung von Spirometrien in der Regelversorgung vorgestellt.

3.5.1 Deskriptive Ergebnisse

Gemäss der Einschlusskriterien aus Unterkapitel 3.3 wurden 13'557 COPD-Patienten in das Modell eingeschlossen.¹² Abbildung 2 zeigt das Verteilungsdiagramm der Anzahl der Patienten nach Anteil an Tagen mit Medikamentenreserve an allen Tagen im Beobachtungszeitraum. Auf der X-Achse ist der Anteil an Tagen mit Medikamentenreserve an allen Tagen im

¹² Dies beinhaltet nur Patienten, die langwirkende Medikamente einnehmen, da die Identifikation weiterer Patienten ohne Einnahme von langwirkenden Medikamenten aufgrund der Datenlage nicht möglich ist

Beobachtungszeitraum¹³ aufgeführt und auf der Y-Achse ist die Anzahl der Patienten aufgetragen, die die entsprechende Reserve vorhalten. Die Personengruppen wurden in fünf Quintile aufgeteilt, welche jeweils das gleiche Intervall umfassen. Quintil 1 (ganz links) umfasst somit alle Personen, die ihre Medikamente zwischen 0-20% zu Hause hatten, Quintil 2 beinhaltet alle Personen mit Medikamentenreserven zwischen >20-40% etc.

Es ist zu sehen, dass Quintil 1 und 2 mehr Personen umfassen als Quintil 3 und 4. Somit hat eine Vielzahl der Betroffenen weniger als 40% der Zeit eine ausreichende Medikamentenreserve zu Hause. Diese Situation ist besonders kritisch, da dadurch die Medikamentenadhärenz drastisch sinkt. Die Patienten in Quintil 1 haben weniger als 20% der Zeit genügend Medikamente zu Hause, um diese gemäss Verschreibung einzunehmen. Daher ist es wichtig zu analysieren, ob sich Patienten im Quintil 1 signifikant von Patienten in den restlichen Quintilen unterscheiden und inwiefern Gesundheitskosten aufgrund einer erhöhten Medikamentenadhärenz reduziert werden können. Einzig in Quintil 5 (ganz rechts) ist wiederum eine grosse Anzahl an Betroffenen eingeschlossen, die beinahe immer ihre Medikamente zu Hause haben (siehe auch Tabelle 2).

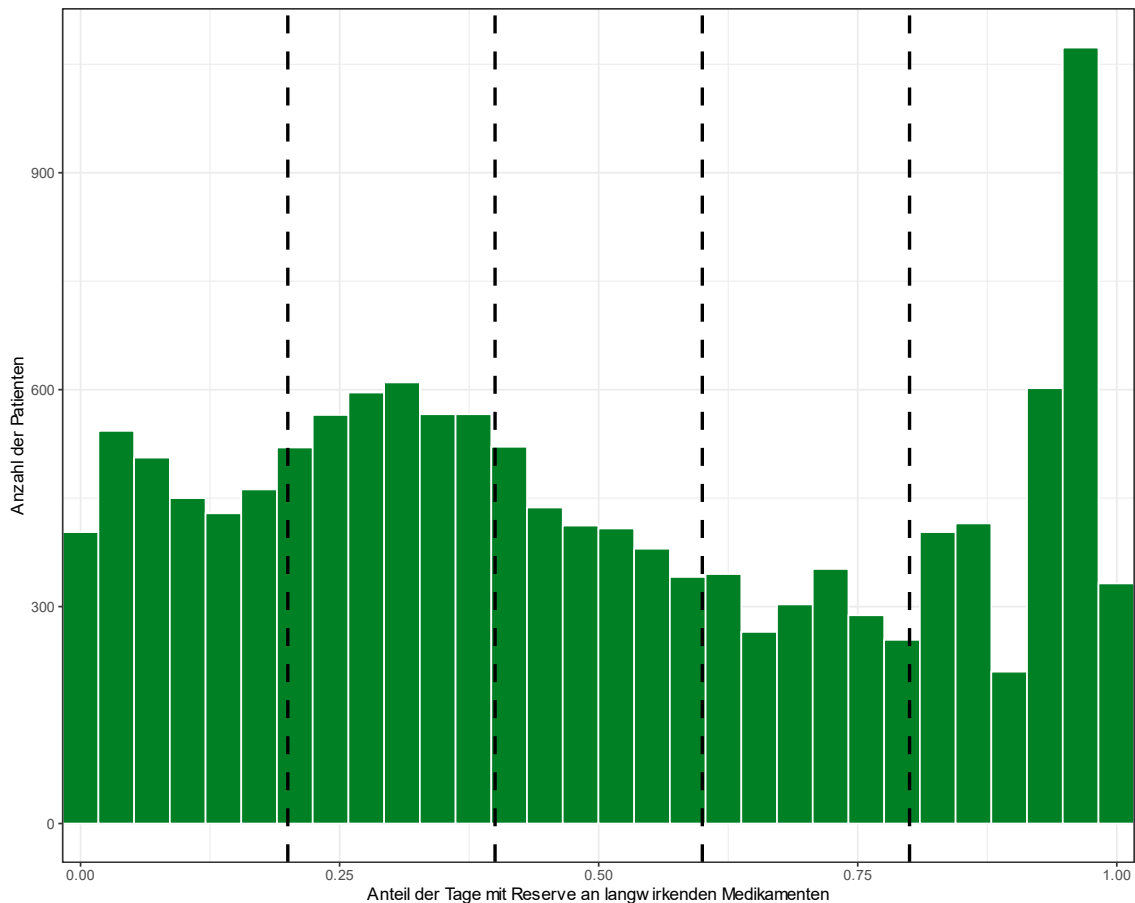


Abbildung 2: Anzahl der Patienten nach Anteil der Tage mit Medikamentenreserve an allen Tagen im Beobachtungszeitraum
Anmerkungen: Die schwarz gestrichelte Linie zeigt die Grenzen der Quintile an.

¹³ Der «Anteil an Tagen mit Medikamentenreserve an allen Tagen im Beobachtungszeitraum» gibt Auskunft darüber, ob ein Patient an einem bestimmten Tag die verschriebenen Medikamente auf Reserve zu Hause hatte und somit die Möglichkeit besteht, dass die Medikamente gemäss Verschreibung eingenommen wurden. Falls die Medikamente nicht auf Reserve zu Hause gehalten werden, reduziert sich die Wahrscheinlichkeit, dass die Medikamente eingenommen werden und somit sinkt automatisch ebenfalls die Medikamentenadhärenz.

Tabelle 2 zeigt die Anzahl an Patienten, Anzahl und Anteil der Exazerbationen sowie den Durchschnitt und die Standardabweichung der Modellvariablen je Quintil.

Tabelle 2: Deskriptive Statistik der Stichprobe

	Quintil 1	Quintil 2	Quintil 3	Quintil 4	Quintil 5	Gesamt
Anzahl Beobachtungen (Anteil an Gesamt)	2'944 (23%)	3'336 (25%)	2'411 (17%)	1'785 (13%)	3'081 (23%)	13'557 (100%)
Anzahl (Anteil an Quintil) Exazerbationen	619 (21%)	446 (13%)	268 (11%)	163 (9%)	225 (7%)	1'721 (13%)
Durchschnittliches Alter in Jahren (Standardabweichung)	68.45 (10.64)	66.51 (11.12)	66.05 (11.27)	66.08 (11.36)	64.86 (11.30)	66.42 (11.18)
Prämienreduktion	0.428	0.416	0.400	0.401	0.386	0.407
Erhöhung der Franchise	0.020	0.026	0.026	0.026	0.024	0.024
Senkung der Franchise	0.055	0.076	0.067	0.044	0.053	0.060
Hospitalisierte Exazerbation im Beobachtungszeitraum	0.112	0.055	0.047	0.033	0.014	0.054
Verschreibung kurzwirkender Medikamente	0.283	0.208	0.190	0.171	0.125	0.197
Verschreibung von Methylxanthine	0.003	0.002	0.003	0.001	0.001	0.002
Verschreibung von Phosphodiesterase-4-Hemmer	0.023	0.014	0.007	0.005	0.001	0.011
Verschreibung von Mukolytikum	0.095	0.090	0.089	0.086	0.086	0.090

Auffällig ist, dass 48% der Patienten in den ersten zwei Quintilen eingeordnet sind, also etwa die Hälfte der Patienten an weniger als 40% der Tage im Beobachtungszeitraum eine ausreichende Medikamentenreserve vorgehalten hat. Gleichzeitig ist die Anzahl der Patienten in den Quintilen 3 und 4 relativ niedrig und im Quintil 5, also dem Anteil an Patienten, die fast immer eine Medikamentenreserve vorhalten, am zweithöchsten. Im Vergleich zur Gesamtschweiz liegt die Bezugsquote von Prämienverbilligung gemessen am Bestand aller Versicherten 2020 bei 28% [52].

Von den 13'557 Patienten sind 1'721 (13%) wegen einer Exazerbation hospitalisiert worden. Die niedrigste Exazerbationsrate hat das fünfte Quintil mit 225 aus 3'081 (7%) Patienten und die höchste Rate hat das erste Quintil mit 619 aus 2'944 (21%) Patienten, was ein erster Hinweis auf einen Zusammenhang der Medikamentenreserve und den hospitalisierten Exazerbationen ist.

Ähnliches zeigt sich für das durchschnittliche Alter je Quintil: Die Patienten des Quintils 5 sind durchschnittlich ca. 3.5 Jahre jünger als im Quintil 1. Dies verdeutlicht die Relevanz der Variable «Alter» als Kontrollvariable in der logistischen Regression.

Tabelle 3: Anzahl Patienten je Franchise und Quintil an Medikamentenreserve

Franchise (in CHF)	Quartil 1	Quartil 2	Quartil 3	Quartil 4	Quartil 5	Gesamt
300	1'771	1'855	1'361	1'061	1'688	7'736
500	914	1'072	742	510	943	4'181
1'000	77	105	88	55	105	430
1'500	117	173	137	83	198	708
2'000	17	27	18	18	33	113
2'500	48	104	65	58	114	389

Tabelle 3 zeigt die Anzahl der Patienten je Franchise und Quintil an Medikamentenreserve. Die Mehrheit der Patienten befindet sich in den niedrigen Franchisen. 7'736 (57%) Patienten haben eine Franchise von CHF 300 und 4'181 (31%) haben eine Franchise von CHF 500. Jede Kombination an Franchisen und Quintilen ist vertreten.

3.5.2 Modellergebnisse: Auswirkung auf die Wahrscheinlichkeit einer Exazerbation

In einem nächsten Schritt wurde analysiert, inwiefern eine erhöhte Medikamentenadhärenz – gemessen an den Medikamentenreserven – einen positiven Einfluss auf die Verhinderung von Exazerbationen hat, die schlussendlich stationär behandelt werden müssen. Als Referenzwert wurde Quartil 1, also die Patienten mit der niedrigsten Medikamentenadhärenz bzw. -reserve, herangezogen. Somit sind alle Werte, welche in Tabelle 3 dargestellt sind, im Vergleich zu Quartil 1 zu interpretieren. Der Regressionsoutput zeigt, dass eine höhere Medikamentenadhärenz eine Exazerbation weniger wahrscheinlich macht. Dies ist für Quartil 2-5 durchgehend der Fall – alle Ergebnisse sind signifikant unterschiedlich zu Quartil 1.

Weitere Variablen wurden als Kontrollvariablen verwendet, wobei für Hospitalisierungen innerhalb der letzten zwei Jahren aufgrund von Exazerbationen, Prämienreduktion, Alter, Verschreibung kurzwirkender Medikamente und Verschreibung von Phosphodiesterase-4-Hemmer ebenfalls signifikante Werte nachgewiesen werden konnten. Falls diese Kontrollvariablen bei einer Person vorhanden sind, so erhöht sich die Wahrscheinlichkeit einer Exazerbation, wobei höheres Alter den gleichen Effekt aufweist. Zudem zeigt sich, dass eine Prämienreduktion positiv mit einer höheren Wahrscheinlichkeit für eine Exazerbation assoziiert ist.

Tabelle 4: Modellergebnisse

Variable	Abkürzung	Schätzung Koeffizient	Std. Fehler	z Wert	Pr(> z)	Signifikanz- marker
Quartil 2 des Anteils der Tage mit Medikamentenreserve	Q2	-0.319	0.0741	-4.301	1.70E-05	***
Quartil 3 des Anteils der Tage mit Medikamentenreserve	Q3	-0.479	0.0851	-5.624	1.87E-08	***
Quartil 4 des Anteils der Tage mit Medikamentenreserve	Q4	-0.637	0.100	-6.363	1.98E-10	***
Quartil 5 des Anteils der Tage mit Medikamentenreserve	Q5	-0.709	0.0885	-8.009	1.16E-15	***
Aktuellste Franchise ist 500	F ₅₀₀	-0.0177	0.0649	-0.273	0.7848	
Aktuellste Franchise ist 1'000	F ₁₀₀₀	-0.1146	0.1862	-0.616	0.5382	

Variable	Abkürzung	Schätzung Koeffizient	Std. Fehler	z Wert	Pr(> z)	Signifikanz- marker
Aktuellste Franchise ist 1'500	F ₁₅₀₀	0.2375	0.1401	1.695	0.0901	.
Aktuellste Franchise ist 2'000	F ₂₀₀₀	0.0241	0.3708	0.065	0.948	
Aktuellste Franchise ist 2'500	F ₂₅₀₀	-0.0430	0.2357	-0.183	0.8549	
Prämienreduktion	R	0.261	0.0569	4.583	4.57E-06	***
Alter	A	0.0173	0.002.58	6.724	1.77E-11	***
Erhöhung der Franchise	F+	-0.138	0.237	-0.582	0.5605	
Senkung der Franchise	F-	-0.181	0.138	-1.309	0.1905	
Hospitalisierte Exazerbation im Beobachtungszeitraum	E _{t-2}	1.58	0.0869	18.183	< 2e-16	***
Verschreibung kurzwirkender Medikamente	B	1.28	0.0582	21.913	< 2e-16	***
Verschreibung von Methylxanthine	M	0.510	0.476	1.07	0.2846	
Verschreibung von Phosphodiesterase-4-Hemmer	P	1.41	0.194	7.262	3.81E-13	***
Verschreibung von Mukolytikum	K	-0.186	0.0999	-1.864	0.0623	.
Intercept	β_0	31.6	5.02	6.291	3.16E-10	***

Pr(>|z|) < 0.001: '***'; Pr(>|z|) < 0.01: '**'; Pr(>|z|) < 0.05: '*'; Pr(>|z|) < 0.1: '.'

Anmerkung: Referenzwerte sind die Werte der Patienten des ersten Quintils der Verteilung des Anteils der Tage mit Medikamentenreserve an allen Tagen des Beobachtungszeitraums.

In Abbildung 3 wird der Effekt von höherer Medikamentenadhärenz auf die Wahrscheinlichkeit einer Exazerbation dargestellt, wobei für die Quintile 2 bis 5 jeweils Quintil 1 als Referenzwert genutzt wird. Wenn das Odds-Ratio eines Quintils in Abbildung 2 kleiner als 1 ist, bedeutet dies, dass für Patienten in diesem Quintil die Wahrscheinlichkeit im Beobachtungszeitraum aufgrund einer Exazerbation hospitalisiert zu werden im Vergleich zu Quintil 1 geringer ist.

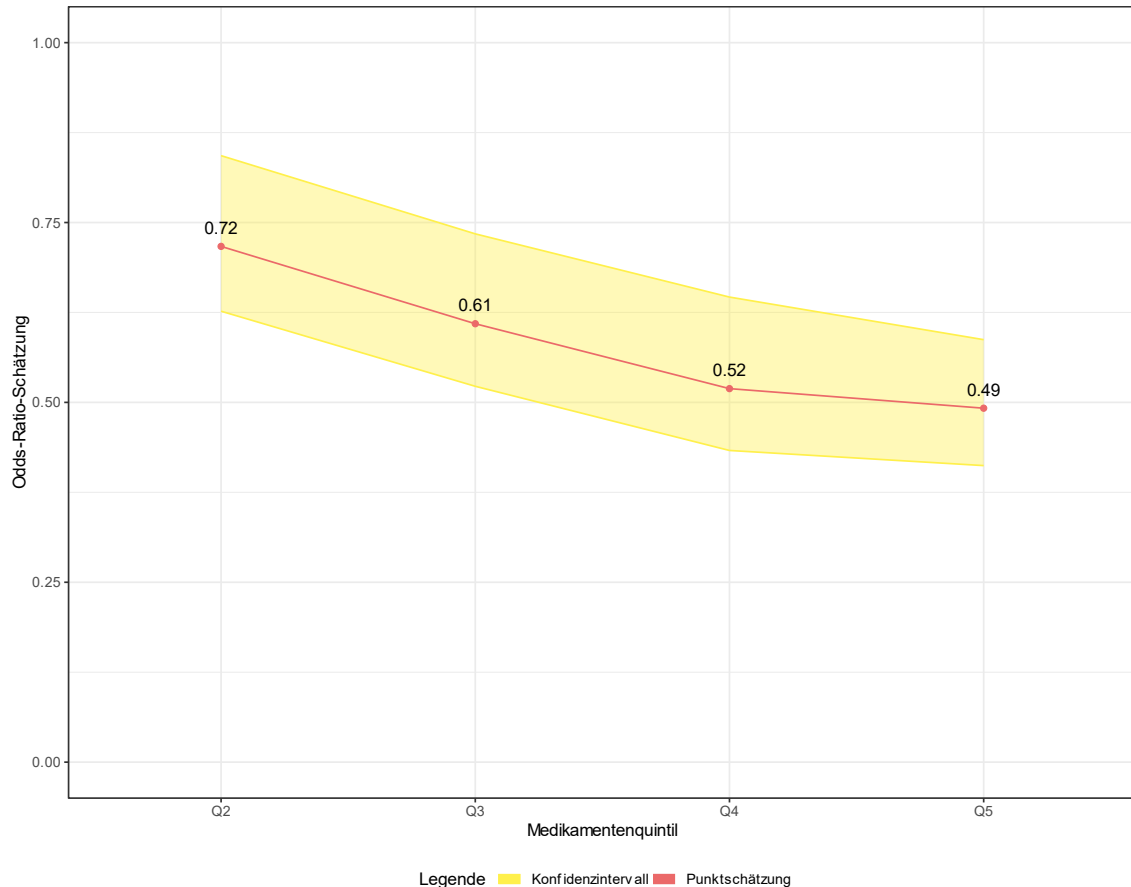


Abbildung 3: Odds-Ratio für eine Exazerbation je Quintil im Verhältnis zum ersten Quintil
 Anmerkungen: Auf der X-Achse sind die Quintile 2 bis 5 aufgetragen. Auf der Y-Achse stehen die jeweiligen Odds-Ratios für eine Exazerbation im Verhältnis zum ersten Quintil, während für Patienteneigenschaften kontrolliert wird.

So zeigt sich in Abbildung 3, dass die Wahrscheinlichkeit einer Exazerbation bereits um ca. 28% niedriger liegt, wenn eine Medikamentenadhärenz von >20-40% vorhanden ist (Quintil 2). Patienten mit einer Medikamentenreserve an mehr als 80% der Tage im Beobachtungszeitraum (Quintil 5) haben sogar eine um 51% geringere Wahrscheinlichkeit, aufgrund einer Exazerbation hospitalisiert zu werden. Abschliessend sei auf den deutlich sichtbaren abnehmenden Grenznutzen der kontinuierlichen Medikamentenreserve (d.h. Zugehörigkeit zu einem höheren Quintil) hingewiesen. So sinkt das Risiko einer Exazerbation beispielsweise zwischen Quintil 1 und 4 um 48% und zwischen Quintil 1 und 5 um 51%. Die zusätzliche Reduktion des Risikos einer Exazerbation zwischen Quintil 4 und 5 liegt also bei «nur» 3 Prozentpunkten.

Im nächsten Unterkapitel sollen die Gesundheitsausgaben je Quintil analysiert werden und so Aussagen über die Auswirkungen der Medikamentenadhärenz auf die Gesundheitsausgaben abgeleitet werden. Im Gegensatz zum ersten Teil der Effektschätzung im Sinne der Exazerbationswahrscheinlichkeit gehen wir bei der Analyse der Gesundheitsausgaben lediglich explorativ vor. Ein ähnlich methodisch ausführliches Vorgehen wie im ersten Teil war im zeitlichen Rahmen dieses Berichts leider nicht realisierbar.

3.5.3 Exploratives Vorgehen: Auswirkungen auf Gesundheitsausgaben

Zur Untersuchung der Auswirkungen der Medikamentenadhärenz auf die Gesundheitskosten wurden drei explorative Analysen durchgeführt:

- Analyse 1: Gesundheitsausgaben gemittelt über alle Patienten eines Quintils zwei Jahre vor Exazerbation
- Analyse 2: Stationäre Gesundheitsausgaben für hospitalisierte Exazerbationen gemittelt über alle Patienten eines Quintils
- Analyse 3: Gesundheitsausgaben gemittelt über alle Patienten eines Quintils im Jahr nach der Exazerbation

In einem ersten Schritt wurden verschiedene Gesundheitsausgaben für die Patienten der fünf Quintile zwei Jahre vor Exazerbation berechnet. Dabei wurden vier Kategorien unterschieden: «Medikamentenkosten», «DRG» (stationäre Gesundheitsausgaben in Form von Fallpauschalen (*Diagnosis-related Groups*, DRG)), «Tarmed» (ambulante Gesundheitsausgaben) und «Andere Kosten» (siehe Abbildung 3).

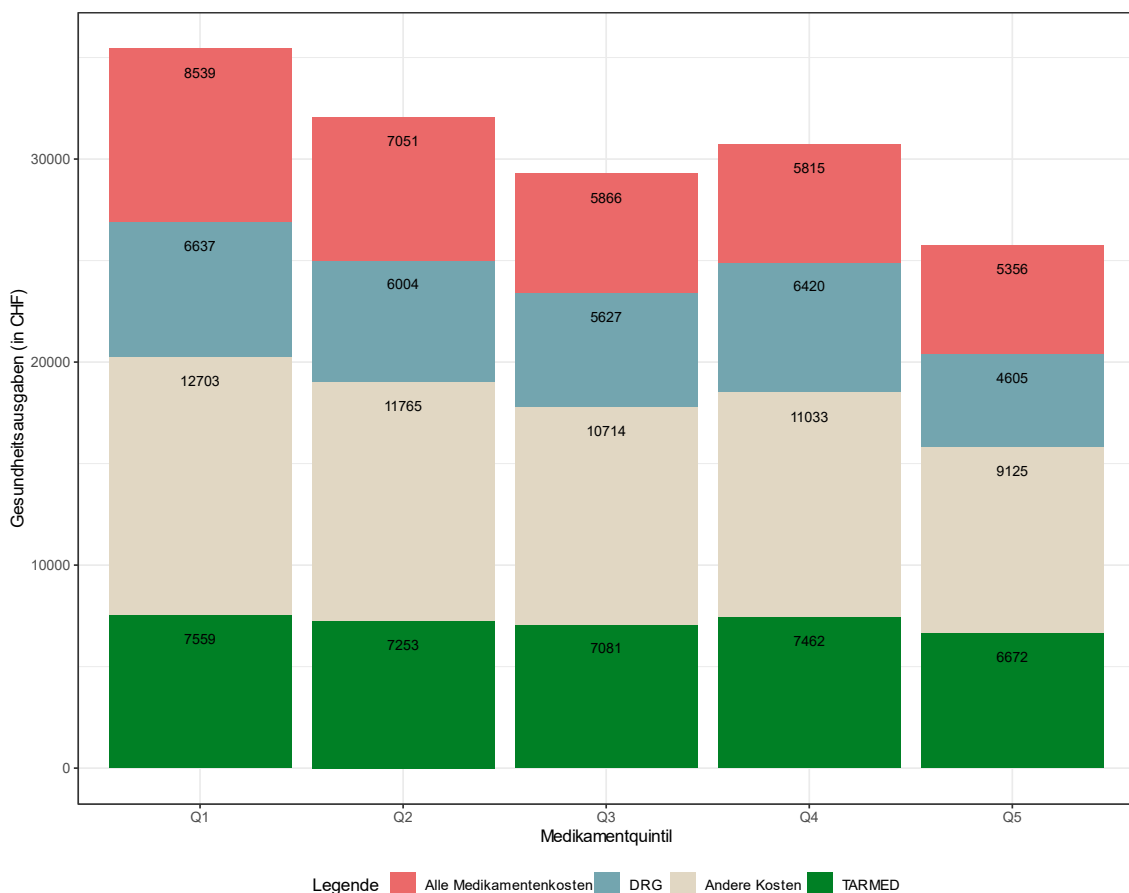


Abbildung 4: Gesundheitsausgaben in CHF gemittelt über alle Patienten eines Quintils zwei Jahre vor Exazerbation
 Anmerkung: In diese Analyse wurden nur Patienten, die im Beobachtungszeitraum aufgrund einer Exazerbation hospitalisiert wurden, eingeschlossen.

Auffällig ist, dass Patienten mit einer sehr geringen Medikamentenadhärenz, also in den unteren Quintilen, relativ hohe Gesundheitsausgaben in allen Kategorien aufweisen. So verursacht ein Patient in Quintil 1 im Durchschnitt Ausgaben von CHF 35'438 in den beiden Jahren vor Exazerbation gegenüber durchschnittlichen Ausgaben von CHF 25'758 eines Patienten in Quintil 5 – im Durchschnitt also ein Unterschied von mehr als CHF 10'000. Anzumerken ist hier, dass nicht nur die Menge der Medikamente einen Einfluss auf die Ausgaben hat, sondern auch die Preise der Medikamente. Die Medikamentenpreise variieren je nach Hersteller, Dosierung der Wirkstoffe und Kanton.

Darüber hinaus haben wir die durchschnittlichen stationären Gesundheitsausgaben, die aufgrund von hospitalisierten Exazerbationen im Beobachtungszeitraum angefallen sind, je Patient und Quintil verglichen (Abbildung 5). Hierzu wurden die Gesamtausgaben eines Quintils gleichmässig auf alle Patienten des Quintils verteilt, unabhängig davon, ob Patienten hospitalisiert waren oder nicht, um die Vergleichbarkeit der Werte zu erleichtern. Wenig überraschend sind die stationären Gesundheitsausgaben je Patient im Quintil 1 um den Faktor 1.6 bis 3.0 höher verglichen mit den anderen Quintilen.

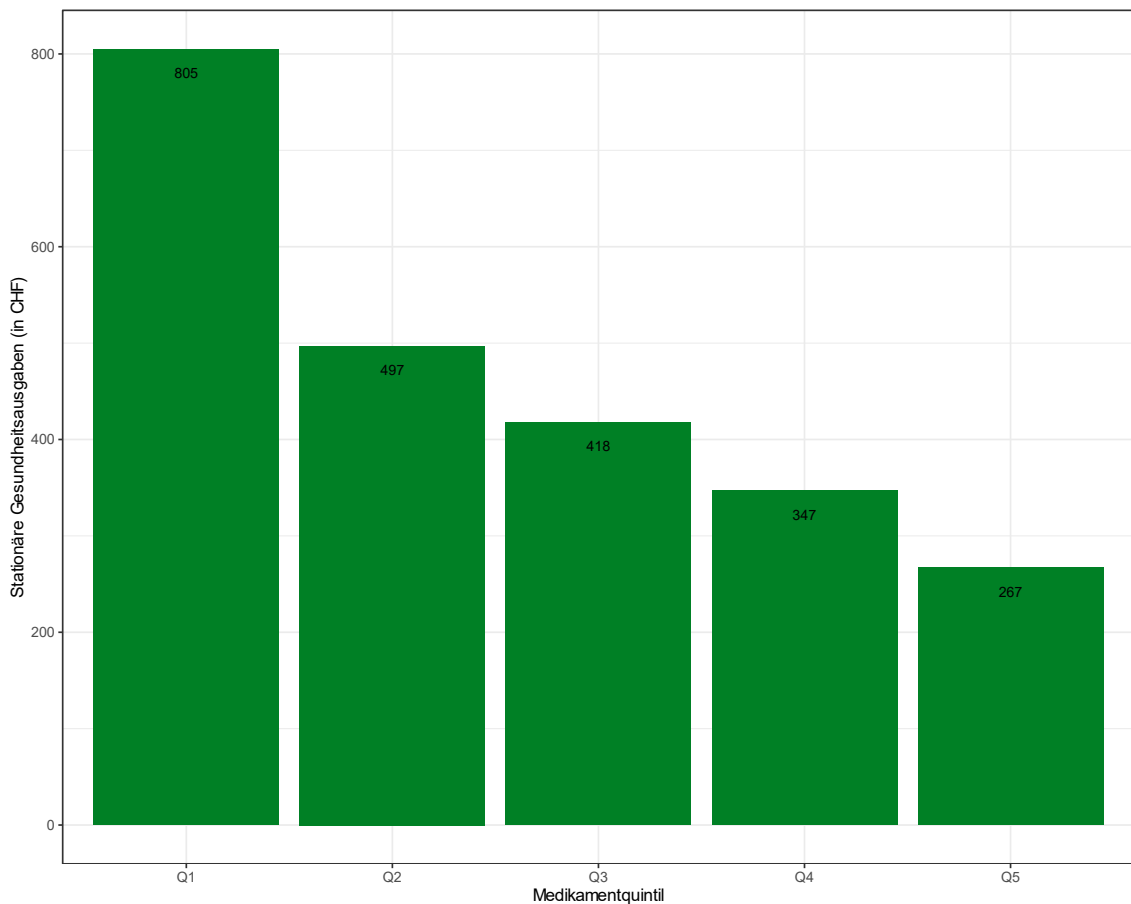


Abbildung 5: Stationäre Gesundheitsausgaben in CHF für hospitalisierte Exazerbationen gemittelt über alle Patienten eines Quintils

Neben den Gesundheitsausgaben zwei Jahre vor Exazerbation wurden ebenfalls die Gesundheitsausgaben für ein Jahr nach der Exazerbation je Quintil analysiert (siehe Abbildung 6).

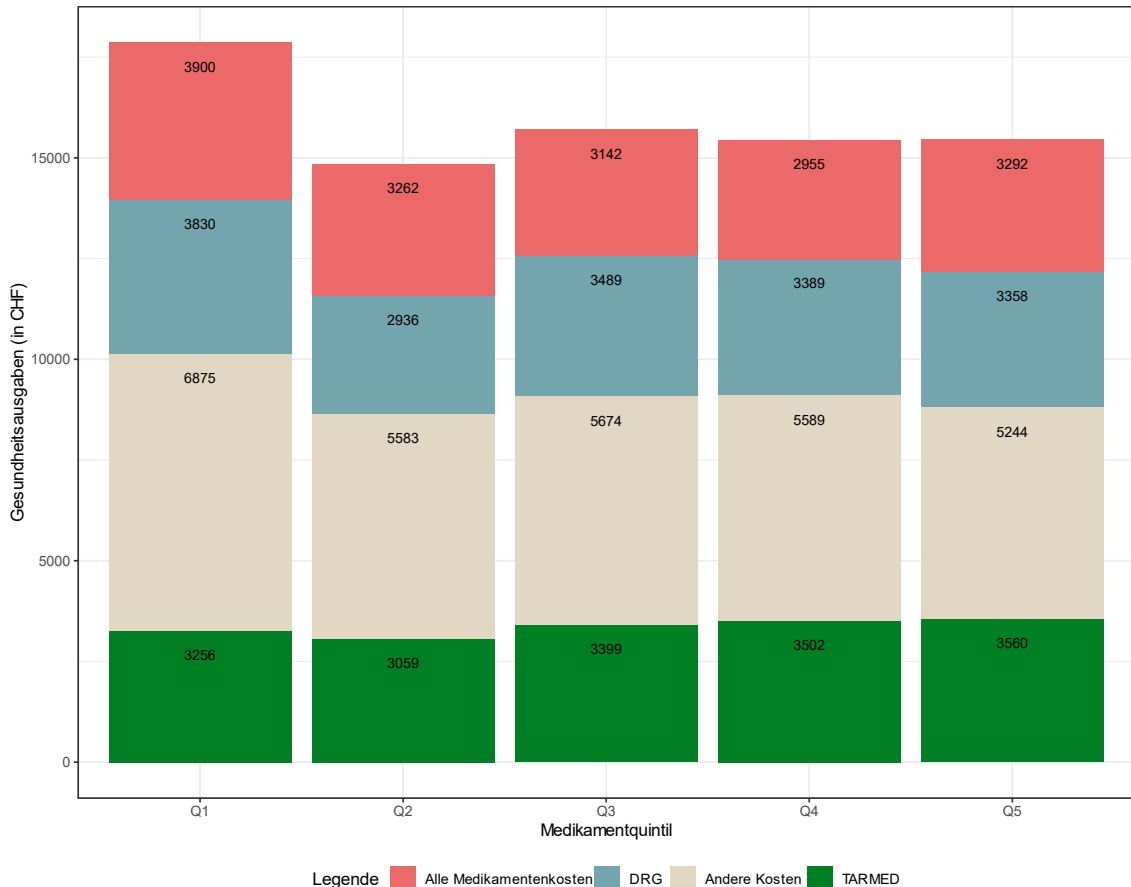


Abbildung 6: Gesundheitsausgaben in CHF gemittelt über alle Patienten eines Quintils im Jahr nach Exazerbation
 Anmerkung: In diese Analyse wurden nur Patienten, die im Beobachtungszeitraum aufgrund einer Exazerbation hospitalisiert wurden, eingeschlossen.

Analog zu Abbildung 4 wurden die Ausgaben in vier Kategorien eingeteilt. Im Vergleich zu den Gesundheitsausgaben vor Exazerbation ist auffällig, dass sich die Kosten für die Quintile 2 bis 5 ähnlich entwickeln. Somit fallen in diesen Quintilen Gesundheitsausgaben zwischen CHF 14'840 (Quintil 2) und CHF 15'704 (Quintil 3) pro Patient im Jahr nach der Exazerbation an. Wie bereits in den beiden Jahren vor der Exazerbation ist auch im Jahr nach der Exazerbation das Quintil mit den höchsten Kosten pro Patient Quintil 1 mit Ausgaben in Höhe von CHF 17'861 pro Patient.

3.5.4 Ausblick: Durchführung von Spirometrien

Zur Identifikation von LVC in der COPD-Regelversorgung könnte auch eine Analyse der Durchführung von Spirometrien infrage kommen. Generell werden Spirometrien zur Untersuchung der Lungenfunktion durchgeführt. Einerseits sollten diese als Regeluntersuchung jährlich durchgeführt werden, um Rückschlüsse auf den Krankheitsverlauf zu erhalten und ggf. weitere Therapiemassnahmen zu definieren oder bestehende Massnahmen zu intensivieren. Jedoch werden Spirometrien ebenfalls durchgeführt, um eine akute Verschlechterung der Lungenfunktion zu untersuchen und zu messen. Im Falle eines so gemessenen sehr schlechten Zustands, kann unmittelbar darauf oder kurze Zeit später eine Spitaleinweisung mit Verdacht auf Exazerbation erfolgen. Datenseitig besteht jedoch die Einschränkung, dass Spirometrien nicht als «Regeluntersuchung» oder «Untersuchung in akuter Situation» oder ähnlich gekennzeichnet sind. Um einen ersten Eindruck über die Durchführungsfrequenz und den Zeitpunkt in Relation zu Exazerbationen zu erhalten, haben wir eine explorative Analyse durchgeführt. In Abbildung 7 ist die Anzahl an

Spirometrien aller Patienten, die im Beobachtungszeitraum aufgrund einer Exazerbation hospitalisiert wurden, an Tagen vor der Exazerbation dargestellt. Je weiter rechts die Balken auf der X-Achse aufgetragen sind, desto zeitlich näher sind die Spirometrien an der eingetretenen Hospitalisierung aufgrund einer Exazerbation durchgeführt worden.

Auffällig ist die Verdichtung der Häufigkeit der Spirometrien wenige Tage vor Exazerbation. Dies deutet auf eine häufige Durchführung von Spirometrien in akuten Situationen hin. Ausserdem zeigt sich, dass – in Relation zu einer Exazerbation – Spirometrien an Patienten zu verschiedenen Zeitpunkten durchgeführt werden. Die Einhaltung jährlicher Regeluntersuchungen ist in den Ergebnissen der Analyse jedoch nicht eindeutig identifizierbar.

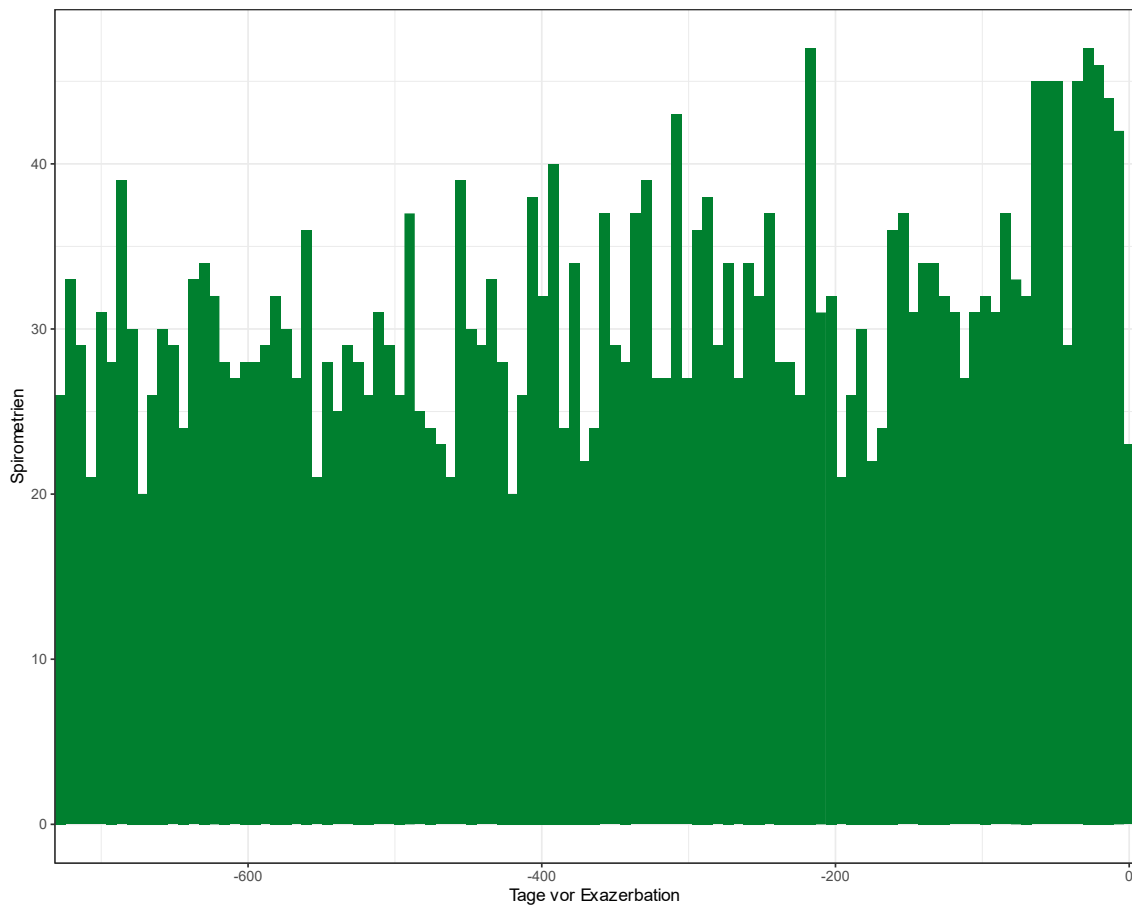


Abbildung 7: Anzahl an Spirometrien aller Patienten nach Tagen vor der Exazerbation
Anmerkung: In diese Analyse wurden nur Patienten, die im Beobachtungszeitraum aufgrund einer Exazerbation hospitalisiert wurden, eingeschlossen.

Zukünftig wäre es denkbar, einen ähnlichen Modellansatz wie zur Untersuchung der Auswirkungen der Medikamentenadhärenz auf die Exazerbationswahrscheinlichkeit zu nutzen, um auch die Auswirkungen einer Einhaltung der Regelvorgaben zur Durchführung von Spirometrien zu untersuchen. So könnten Patienten z.B. ein Jahr retrospektiv beobachtet, nach der Anzahl der in diesem Zeitraum durchgeführten Spirometrien geordnet und darauf basierend in Quartile eingeteilt werden (Quartil 1 = 0 Spirometrien, Quartal 2 = 1 Spirometrie, Quartal 3 = 2 Spirometrien, Quartal 4 = 3 oder mehr Spirometrien). Es ist zu erwarten, dass Patienten im Quartal 2 und ggf. auch im Quartal 3 verglichen zum Quartal 1 eine niedrigere Exazerbationswahrscheinlichkeit aufweisen. Entsprechend der Analyse in Abbildung 7 ist jedoch für das Quartal 4 zu erwarten, dass hier die Exazerbationswahrscheinlichkeit ggf. sogar höher ist als für das Quartal 1.

3.6 Diskussion

Die Ergebnisse aus den Berechnungen zur Medikamentenadhärenz haben gezeigt, dass sich die regelmässige, den Vorgaben entsprechende Einnahme langwirkender Medikamente positiv auf den Krankheitsverlauf und die Gesundheitsausgaben auswirken. Einerseits sinkt für Patienten mit hoher Medikamentenadhärenz die Wahrscheinlichkeit einer Exazerbation verglichen mit Patienten mit niedriger Medikamentenadhärenz. Andererseits sind die Gesundheitsausgaben vor und nach Exazerbation im Vergleich zu Patienten, die sich nicht an die Medikamenteneinnahme halten, tiefer. Ebenfalls fallen die Ausgaben für Hospitalisierungen für Patienten mit höherer Medikamentenadhärenz günstiger aus.

Hinsichtlich der niedrigeren Ausgaben für Hospitalisierungen pro Patienten der höheren Quintile sind zwei Erklärungen plausibel: Erstens nimmt der Anteil der Patienten mit Exazerbation im Beobachtungszeitraum mit jedem Quintil ab. Die Gesamtausgaben für hospitalisierte Exazerbationen werden relativ gesehen auch von immer mehr Patienten getragen, die keine Ausgaben für hospitalisierte Exazerbationen verursacht haben. Zweitens könnte die kontinuierliche Medikamenteneinnahme vor Exazerbation auch dazu führen, dass womöglich besonders schwere Exazerbationen verhindert werden. Deshalb könnte die Verweildauer im Spital und damit einhergehend die in Anspruch genommenen Diagnose-, Therapie- und Pflegeleistungen niedriger sein, was sich auch in niedrigeren DRG-Schweregraden auswirken müsste. Tiefergehende Analysen zur Untersuchung dieser Erklärungsmuster könnten in Zukunft vorgenommen werden. Beispielsweise könnte die Korrelation der Ausgaben für Hospitalisierung pro Patienten als abhängige Variable mit der Quintilzuordnung, Verweildauer im Spital, Relativgewicht der DRG und ggf. weiterer Kontrollvariablen wie Alter und Geschlecht des Patienten in einer multivariaten linearen Regression untersucht werden. So könnten die einzelnen Effekte der Variablen voneinander getrennt werden und weitere Hinweise zu möglichen Zusammenhängen gefunden werden. Wie in Kapitel 3.5.4 angedeutet, bestehen für Spirometrien keine separaten Tarmed-Kodierungen für jährliche Kontrolluntersuchungen gegenüber Untersuchungen in akuten Situationen. Somit kann in Abbildung 8 zwar ein Anstieg der durchgeführten Spirometrien vor Exazerbationen beobachtet werden, jedoch ist dieser nicht wesentlich im Vergleich zu Spirometrien zu früheren Zeitpunkten. Ein möglicher Lösungsansatz wäre, die Tarmed-Kodierung für Spirometrien in «jährliche Untersuchung» und «Notfall / Akutsituation» zu differenzieren, um in Zukunft Untersuchungen zu Effekten der Einhaltung der vorgabengeleiteten Regelversorgung in Bezug auf Spirometrien zu vereinfachen.

Die Schätzung der Effekte der Medikamentenreserve hat drei Limitationen, die zu verschiedenen Biases der Ergebnisse führen könnten:

- 1) Annäherung an die tatsächliche Medikamentenadhärenz: Die tatsächliche Medikamentenadhärenz wurde nicht explizit beobachtet, sondern konnte nur durch die Medikamentenreserve approximiert werden.
- 2) Beobachtbarkeit von wesentlichen Einflussfaktoren auf die Medikamentenadhärenz: Wesentliche Einflussfaktoren wie die persönliche Motivation der Patienten oder Lebenssituation (alleinlebend, mit Partner, in Familie, etc.) konnte nicht beobachtet werden.
- 3) Einschlusskriterium Versichertenalter: Zur Differenzierung zwischen Asthma- und COPD-Patienten musste aufgrund fehlender Diagnosecodes das Versichertenalter genutzt werden. Dies führt einerseits dazu, dass sich potenziell trotzdem weiterhin Asthma-Patienten in unserer Stichprobe befinden könnten und andererseits unsere Analyse keine Aussage über Patienten unter 40 Jahren trifft.

Insgesamt liegt im untersuchten Teil des COPD-Versorgungspfads, nämlich der Therapie mittels langwirkenden Medikamenten, LVC insofern vor, als dass die unsachgemässe Einnahme von Medikamenten (a) dem Patienten wenig oder keinen Nutzen bringen, da sich der Gesundheitszustand bis hin zur Exazerbation verschlechtert, (b) Schaden wegen der Nicht-Vermeidung von Exazerbationen verursacht wird, (c) hierdurch ausserdem vermeidbare Kosten entstehen und (d) knappe Gesundheitsressourcen aufgrund von vermeidbaren Spitaleinweisungen nicht nutzenorientiert eingesetzt werden. Somit sind alle Kriterien der oben aufgeführten LVC-Definition erfüllt. Medikamentenadhärenz ist aber nicht im klassischen Sinne als LVC zu verstehen, da die Gründe für LVC üblicherweise dem Verhalten der Behandelnden zugrunde liegt. In diesem Fallbeispiel wird jedoch angenommen, dass der Arzt die Medikamente richtig auf die Bedürfnisse des Patienten abgestimmt hat – diese aber vom Patienten nicht wie verordnet eingenommen werden. Eine geringe Medikamentenadhärenz kann mehrere Gründe haben: (1) der Arzt erklärt dem Patienten nicht genügend verständlich die richtige Anwendung der Medikamente bzw. der Patient hat aufgrund seiner schulischen Bildung oder einem allfälligen Migrationshintergrund nicht die Möglichkeit, die Anweisungen zu verstehen bzw. zu befolgen, (2) der Arzt hat nur zeitlich limitierte Ressourcen die Anwendung der verschriebenen Medikamente zu überprüfen, (3) der Patient ist mit der Einnahme mehrerer unterschiedlicher Medikamente überfordert, (4) der Patient erkennt die Wichtigkeit der sachgemässen Verwendung der Medikamente nicht bzw. zeigt Desinteresse [30, 53].

Durch diese Aufzählung wird deutlich, dass es einerseits zu Kommunikationsschwierigkeiten zwischen dem Arzt und dem Patienten kommen kann und andererseits der Patient von Hilfestellungen bzw. einem engeren Monitoring der korrekten Medikamenteneinnahme profitieren könnte. Mögliche Lösungsansätze sind DMPs, welche bereits seit 2006 in Deutschland bestehen. Eines der Qualitätsziele ist dabei die Überprüfung der Inhalationstechnik, also der korrekten Medikamenteneinnahme (die Medikamente werden zumeist in Form von Inhalern zur Verfügung gestellt). Analog könnte zusätzlich auf die regelmässige Medikamenteneinnahme eingegangen werden. Zudem erhalten die Patienten im Rahmen des DMP strukturierte Schulungsprogramme, um den Verlauf der Erkrankung wie auch Massnahmen zur Eindämmung der Symptome und den degenerativen Verlauf zu thematisieren [49]. Bestandteil der Schulungen sind: Regelmässige Kontrolle des Atemflusses per Peak-Flow-Meter, Führen eines Beschwerden-Tagebuchs, Überprüfung der Inhalationstechnik, richtiges Verhalten in Krisensituationen, Informationen zum Rauchverzicht und Hilfe beim Nikotinausstieg sowie der Umgang mit Medikamenten (inklusive Wirkung und Dosierung). Neben einem DMP könnten digitale Lösungen, d.h. digitale Gesundheitsanwendungen z.B. in Form von Apps, zur Steigerung der Medikamentenadhärenz beitragen. So können in einer App beispielsweise Informationen zur richtigen Dosierung, Einnahme und generellen Wirkung von Medikamenten zur Verfügung gestellt, strukturierte Einnahmepläne dargestellt, deren Einhaltung überprüft und bei Bedarf an die Einhaltung erinnert werden. Darüber hinaus könnte dieselbe App eine Funktionalität zur direkten Arzt-Patienten-Kommunikation, z.B. per Chat oder Videotelefonie, beinhalten. Hierdurch erhielte einerseits der Patient unkompliziert Unterstützung im Falle von Zweifeln und Rückfragen und andererseits könnte der Arzt – falls durch den Patienten gewünscht – im Falle von unzureichender Medikamentenadhärenz aktiv auf den Patienten zugehen.

4 Koronare Herzerkrankung

In diesem Kapitel wird zunächst das Krankheitsbild der KHK beschrieben, u.a. hinsichtlich ihrer Häufigkeit und typischer Patientenmerkmale. Ausserdem wird die Krankheitslast in der Schweiz in den internationalen Kontext eingeordnet. Anschliessend wird der «optimale» KHK-Versorgungspfad beschrieben, insbesondere welche Diagnostik für KHK-Patienten angezeigt ist. Danach wird die Methode sowie das Modell vorgestellt, auf Basis dessen LVC im diagnostischen Teil des KHK-Versorgungspfads identifiziert und quantifiziert wurde. Abschliessend werden mögliche Implikationen der Studie für das Schweizer Gesundheitswesen diskutiert.

4.1 Krankheitsbild

Die KHK ist eine chronische Erkrankung der Herzkranzgefässe, bei der Fett- und Kalkablagerungen, sogenannte atherosklerotische Plaques, zu einer Einengung der Herzkranzgefässe und damit zu einer Verringerung der Durchblutung des Herzmuskels führen [54]. Infolgedessen wird das Herz nicht mehr genügend mit Blut versorgt und es fehlen dem Herzmuskel Sauerstoff und Nährstoffe. Je nach Schwere der Verengung können sich Beschwerden bemerkbar machen. Häufigste Manifestation ist die stabile Angina pectoris, gekennzeichnet durch Schmerzen, Brennen oder Engegefühle hinter dem Brustbein bei Belastung. Ist ein Herzkranzgefäss während längerer Zeit verschlossen, führt dies zu einem Herzinfarkt oder seltener gar zu einem Herz-Kreislauf-Stillstand. Die KHK ist grösstenteils eine Folge des Alterns aber tritt auch oftmals im Rahmen einer familiären Veranlagung auf. Begünstigt wird die Entstehung der KHK durch einen ungesunden Lebensstil wie z.B. Rauchen, einseitige Ernährung, wenig Bewegung, erhöhtes Gewicht, erhöhtes Blutfettwerte, Blutzuckerkrankheit, hoher Blutdruck und Stress. KHK kann sich sowohl als akutes Ereignis als auch als stabile Erkrankung manifestieren. Zu den akuten Ereignissen zählen die instabile Angina pectoris, der akute Herzinfarkt und der plötzliche Herztod. Ein häufiges Symptom der stabilen KHK sind Schmerzen oder Beschwerden in der Brust, die sich in Richtung Schulter, Arm, Rücken, Nacken oder Kiefer ausstrahlen und auch in Ruhe bestehen bleiben. Weitere Symptome können Bauchschmerzen, Rhythmusstörungen oder Herzschwäche mit Atemnot sein. Bei der stabilen KHK treten die Symptome in der Regel bei körperlicher Anstrengung oder emotionalem Stress auf, dauern nur wenige Minuten an und bessern sich nach Sistieren der Belastung oder nach Einnahme einer gefässerweiternden Bedarfsmedikation mit Nitroglyzerin.

Die KHK zählt zu den häufigsten Herz-Kreislauf-Erkrankungen und ist eine der wichtigsten Ursachen für Mortalität und Spitaleinweisungen in der Schweiz wie auch weltweit [54, 55]. Durch Revaskularisation oder medikamentöse Behandlung können bei einer frühzeitigen Diagnose Patienten behandelt werden [29].

Bezüglich der Therapie der stabilen KHK wird eine Revaskularisation nur dann empfohlen, die Durchblutung des Herzmuskels sehr stark eingeschränkt ist oder die medikamentöse Therapie nicht zu einer Minderung der Symptome führt. Zudem ist es von grosser Wichtigkeit, die Risikofaktoren zu minimieren mittels gesunder Ernährung, regelmässigem Sport, Rauchstopp und Gewichtsreduktion.

4.2 Versorgungspfad

Bei Verdacht auf eine KHK können unterschiedliche diagnostische Verfahren verwendet werden. Dabei unterscheiden sich die Optionen zwischen nicht-invasiven Verfahren und der invasiven Koronarangiografie (Herzkatheteruntersuchung), bei der direkt nach positiver Befundung eine Behandlung mittels Ballon-Aufdehnung des Gefässes oder Setzen eines Stents in derselben Sitzung erfolgen kann. Nicht-invasiv können funktionelle Tests wie die Stress-Echokardiographie, Stress-Magnetresonanztomographie (MRT) oder nuklear-kardiologische Untersuchungen [57] zum Einsatz kommen. Als anatomisch nicht-invasive Untersuchung ist die Koronar-CT ein etabliertes Verfahren in der klinischen Praxis [58]. Die optimale Auswahl der Diagnostik für Patienten, die entweder einem nicht-invasiven funktionellen Test (wie z.B. ein Stress-MRT), einem anatomischen nicht-invasiven Test wie der Koronar-CT oder direkt einer invasiven Koronarangiographie zugewiesen werden sollten, stellt eine Herausforderung dar. Da die Prävalenz von Alter, Geschlecht und Schwere und Art der Symptome abhängt, werden diese Faktoren als Parameter für die Schätzung der Vortestwahrscheinlichkeit genutzt [29, 56]. Grundsätzlich werden zur Berechnung der Vortestwahrscheinlichkeit die Verwendung der Modelle von Diamond & Forrester [59] und der des klinischen Duke-Scores [60] empfohlen. Da jedoch beide Modelle die Vortestwahrscheinlichkeit tendenziell überschätzen [61, 62], wird oft die Berechnung durch den KHK Konsortium Rechner¹⁴ bevorzugt [62].

Laut europäischer Leitlinie sollten nicht-invasive Stresstests und die Koronar-CT nicht zur Diagnose einer KHK bei Patienten mit einer sehr niedrigen (<15%) oder sehr hohen (>85%) Vortestwahrscheinlichkeit genutzt werden [56].

Studien zur Effektivität der Koronar-CT kommen zum Schluss, dass die Koronar-CT ein wertvolles Instrument zum «Ausschluss» einer KHK ist, u.a. aufgrund der niedrigen negativen Likelihood-Ratio. Die Europäische Gesellschaft für Kardiologie [56] empfiehlt die Koronar-CT zum Ausschluss einer Stenose bei Patienten mit niedriger bis mittlerer Vortestwahrscheinlichkeit.

Vorteile der Koronar-CT gegenüber der invasiven Koronarangiografie sind, dass kein Katheter in das Herz gelegt werden muss, d.h. kein Narkose-, Infektions- und Verletzungsrisiko für den Patienten besteht, sowie die Gesundheitsausgaben niedriger sind. Die Koronar-CT ermöglicht eine direkte Darstellung der Herzkranzgefässe nach intravenöser Kontrastmittelgabe mittels Röntgenstrahlen. Diese Untersuchung dauert nur 15-20 Minuten und ist dank der technologischen Fortschritte in den letzten Jahren mit sehr geringer Strahlendosis durchführbar. Wenn keine atherosklerotischen Veränderungen vorliegen, kann man mit hoher Zuverlässigkeit davon ausgehen, dass keine KHK vorliegt. Allerdings ist die Methode nur mässig sensitiv, wenn es sich um eine bestehende KHK handelt, da es schwierig ist, die Einengung des Herzkranzgefässes zu bewerten. Um eine definitive Diagnose zu stellen, ist deshalb eine invasive Koronarangiografie notwendig. Grundsätzlich sollte es sowohl im Interesse des Arztes wie auch des Patienten liegen, eine möglichst präzise Diagnose mit so wenigen diagnostischen Verfahren wie möglich zu stellen. Ausserdem sollten invasive Verfahren, die mit verschiedenen Risiken einhergehen und höhere Kosten verursachen, nur dann angewendet werden, wenn sie z.B. durch die Vortestwahrscheinlichkeit eindeutig indiziert sind. LVC im Sinne dieses Berichts läge also dann vor, wenn mehr Verfahren als nötig und/oder nicht die auf den Patientenkontext passenden Verfahren durchgeführt würden.

¹⁴ Der KHK Konsortium Rechner kann hier abgerufen werden: «<https://reference.medscape.com/calculator/287/pre-test-probability-of-cad-cad-consortium#>»

Zur Identifikation von LVC wird untersucht, inwiefern kostenoptimierte Versorgungspfade zum gleichen diagnostischen Ergebnis führen könnten und wie gross der Unterschied der Gesundheitsausgaben zwischen beobachteten und kostenoptimierten Versorgungspfad wäre. Dabei soll das durch das diagnostische Verfahren ermittelte Ergebnis, d.h. das Einsetzen bzw. Nicht-Einsetzen von Stents, gleichbleiben. Jedoch wird durch die Kostenoptimierung die Verwendung der diagnostischen Verfahren ggf. angepasst.

4.3 Patientenstichprobe und Variablenauswahl

Um zu prüfen, ob Patienten mit zunächst nicht-invasiver Diagnostik im weiteren Verlauf eine invasive Koronarangiographie mit zusätzlichem Stent erhalten, wurde der Beobachtungszeitraum auf ein Jahr gesetzt. Daher wurden zunächst Patienten ausgeschlossen, die datenseitig nur kürzer als ein Jahr beobachtet werden können (z.B. aufgrund eines Versicherungswechsels, Ein- oder Auswanderung).

Wir unterscheiden zwei Versorgungspfade:

- Koronar-CT-Pfad: Dieser Pfad beginnt mit einer Koronar-CT und wird ggf. im Jahr danach von einem Herzkatheter und ggf. Stent bzw. Ballon gefolgt. Es kann jedoch auch keine weitere KHK-spezifische Untersuchung bzw. Behandlung erfolgen.
- Koronarangiografie-Pfad: Dieser Pfad beginnt mit einer invasiven Koronarangiografie und ist ggf. von einem Stent oder Ballon gefolgt. Ausserdem ist im Jahr davor keine Koronar-CT erfolgt.

Aufgrund der steigenden Komplexität bei mehreren verschiedenen Untersuchungen wird sich auf Patienten mit eindeutigen Koronar-CT- bzw. Koronarangiografie-Pfad fokussiert. Die vielen möglichen Interaktionen zwischen funktionalen und anatomischen Tests vor einer invasiven Koronarangiografie würden das Isolieren der Effekte erschweren. Folglich sind Einschlusskriterien für die KHK-Patientenstichprobe die TARMED Codes, die für Koronar-CT (39.4170) und Linksherzkatheteruntersuchung (17.0710, 17.0740, 17.1010, 17.1090) stehen und Ausschlusskriterien sind Alternativen zur Koronar-CT wie MRT (39.5100) und Radiologie des Herzens (39.6000), wenn diese im Beobachtungszeitraum durchgeführt wurden.

Wir schliessen ebenfalls Personen unter 30 Jahren aus, da diese – aus statistischer Sicht – als Ausnahmen («Outlier») gelten. Dies ist notwendig, da andernfalls die Annahme «Gemeinsame Unterstützung» nicht erfüllt wäre (vgl. Kapitel 3.4). Dies bedeutet jedoch auch, dass alle Ergebnisse unseres Modells und Aussagen der Studie nur für Patienten älter als 30 Jahre gelten.

Gemäss dieser Ein- und Ausschlusskriterien wird im weiteren Vorgehen ein Datensatz mit 83'890 Patienten genutzt. Zu beachten ist jedoch, dass aufgrund fehlender Diagnosecodes im Versicherungsdatsatz die oben genannten TARMED-codes die einzigen nutzbaren Kriterien zur Identifikation von KHK-Patienten sind. Deshalb sei bereits hier einschränkend angemerkt, dass in der Stichprobe von 83'890 Patienten sicherlich auch Patienten enthalten sind, die nicht mit Verdacht auf KHK untersucht werden (siehe hierzu auch die Ausführungen im Kapitel 4.6).

4.4 Empirische Strategie

Dieser Abschnitt beschreibt den empirischen Rahmen, präsentiert die gewählte Methode zur Schätzung der individuellen kausalen Effekte der Koronar-CT (im Weiteren als «Behandlung») im

Sinne des ATE verstanden) auf die Kosten des Versorgungspfads und stellt die Methodik der Entscheidungsregeln für kostenoptimale Versorgung vor.

Analog zur empirischen Strategie für COPD sollen kausale Effekte untersucht werden. Folglich müssen die in Kapitel 3.4 diskutierten Annahmen auch für das Modell zur Untersuchung von KHK gelten. Jedoch ist die CIA sehr wahrscheinlich durch zwei unbeobachtete Kontrollvariablen verletzt:

1. Zu den *Risikofaktoren* für KHK zählen familiäre Veranlagung, Alter, Rauchen, einseitige Ernährung, wenig Bewegung, erhöhtes Gewicht, erhöhte Blutfettwerte, hoher Blutdruck und Stress [29]. Da die Risikofaktoren dem behandelnden Arzt bekannt sein sollten, wird die Entscheidung zwischen Koronar-CT und invasiver Koronarangiografie durch diese Variablen beeinflusst sein. Jedoch ist in unserem Datensatz nur Alter direkt und Blutfettwerte und Blutdruck durch verschriebene Medikamente indirekt beobachtbar.
2. Die *Symptome* bzw. der Schweregrad der Symptome des Patienten sind ebenfalls Entscheidungskriterien des Arztes für die Auswahl der Diagnostik. Es liegen jedoch keine Variablen für Symptome in unserem Datensatz vor.

Risikofaktoren könnten durch verschiedene Ansätze approximiert werden. Zum Beispiel könnten alle Vorbehandlungen eines Patienten als Kontrollvariablen in das Modell aufgenommen werden. Das gewählte Modell (Generalized Random Forest, vgl. weiter unten) würde nur die Vorbehandlungen berücksichtigen, welche die Wahrscheinlichkeit für einen der Versorgungspfade beeinflussen würde. Dieser Ansatz ist jedoch mit substanzieller Rechenleistung verbunden, die für die Studie nicht zur Verfügung stand. Ähnlich verhält es sich mit einem zweiten Lösungsansatz, der Kreuzvalidierung. Hier wird das Ergebnis des Modells hinsichtlich seiner Zweckmässigkeit in mehreren Iterationen durch den Algorithmus selbst geprüft, d.h. es wird geprüft ob auch ausserhalb der Stichprobe die Aussagekraft des Entscheidungsbaums (Random Forest) hoch genug ist. Die dafür benötigten IT-Ressourcen waren jedoch ebenfalls nicht verfügbar.

Symptome werden nicht dokumentiert, bzw. sind nicht Bestandteil des Datensatzes und können deswegen in keinem Modell strukturiert analysiert werden. Folglich ist diese Limitation nicht adressierbar und die Ergebnisse des Modells stellen daher die bestmöglichen Ergebnisse dar, die empirisch abgeleitet werden können. Common Support wird durch den Algorithmus und durch den Ausschluss der Extremwerte gewährleistet. Eine Exogenität der Kontrollvariablen kann im Kontext unseres Modellansatzes ausgeschlossen werden, da die Kosten des Behandlungspfades durch die Behandlungen determiniert werden und es keine denkbare Möglichkeit gibt, wie die Kosten den Versorgungspfad determinieren könnten. Die Annahme eines stabilen einheitlichen Behandlungswertes könnte möglicherweise verletzt sein, wenn die Verfügbarkeit der Koronar-CT bzw. die Kapazität zur invasiven Koronarangiografie begrenzt ist und Patienten in Konkurrenz für Behandlungstermine stehen.

Patientencharakteristika zeigen sich oftmals heterogen und in unserem Fall ist es von Interesse, wie hoch potenzielle Kostenersparnisse (Effekt) für verschiedene Patientengruppen ausfallen, wenn diese eine Koronar-CT (Behandlung) erhalten. Patienten, die eine hohe Wahrscheinlichkeit für eine Stenose haben, sollten eine geringere Kostenersparnis oder sogar höhere Kosten durch eine Koronar-CT haben, da weitere Behandlungen und Therapien wahrscheinlich sind. Ziel ist es festzustellen, für welche Patienten der Effekt der Behandlung positiv ist und welche Personen am meisten von der gewählten Diagnostik profitieren. Um die Variation zu untersuchen, ist der ATE und auch die lineare Regression wie in Kapitel 3.4 vorgestellt, nur eingeschränkt nutzbar, da durchschnittliche Effekte über die gesamte Stichprobe gemessen werden, d.h. in der Praxis

können individuelle Patienten höhere oder niedrigere Effekte zeigen. Deshalb verwenden wir «bedingte» ATEs (conditional ATE, CATE), die heterogene Behandlungseffekte auf der Grundlage bestimmter Merkmale aufdecken. Der CATE ist definiert durch:

$$\tau(x) = \mathbf{E}[Y_i(1) - Y_i(0)|X_i = x] \quad (6)$$

$\tau(x)$ ist der CATE, wobei x für die Ausprägungen der Kontrollvariablen X_i steht. $Y_i(1)$ und $Y_i(0)$ stehen für die potentiellen Ergebnisse, wie sie in Kapitel 3.4 eingeführt wurden. Das Ergebnis ist in diesem Fall die Kosten des verfolgten Versorgungspfads. Durch den CATE können verschiedene Effektgrößen identifiziert werden.

In unserem Fall ist jedoch nicht $\tau(x)$ von primärem Interesse, sondern welcher Patient die Behandlung erhalten sollte, um Kosten zu sparen bei gleichbleibendem Diagnoseergebnis für den Patienten. Wir möchten Empfehlungen abgeben, welcher Patient welchem Versorgungspfad zur Minimierung seiner individuellen Kosten bei gleichem Diagnoseergebnis erhalten sollte.

$$\pi: X \rightarrow \{0,1\} \quad (7)$$

Die Entscheidungsregel π ist dementsprechend eine Abbildung des Kovariatenraums X auf eine Entscheidung 0 oder 1.

$$W(\pi) = \mathbf{E}[Y_i(\pi(X_i))] = \mathbf{E}[Y_i(0)] + \mathbf{E}[\tau(X_i)\pi(X_i)] \quad (8)$$

W steht für die erwartete Wohlfahrt die durch die Entscheidungsregel π entsteht. Die Wohlfahrt kann in unserem Fall als Kostenersparnis durch die Entscheidungsregel π verstanden werden. W setzt sich aus dem erwarteten Ergebnis eines unbehandelten Patienten und dem erwarteten Effekt der Patienten, die behandelt werden.¹⁵ $\pi(X_i)$ nimmt die Ausprägung 1 an, wenn der Patient mit den Eigenschaften X_i behandelt werden soll.

Folglich soll W durch die Wahl von π maximiert werden. Um die beste Entscheidungsregel π zu finden, reicht es nicht aus, die in Gleichung 6 beschriebenen CATEs isoliert zu schätzen, da $\tau(x)$ durch die Veränderung von X beeinflusst wird. $\tau(x)$ ist erst nach der Wahl von π schätzbar.

Die Schwierigkeit liegt also darin, die richtige Verlustfunktion für die Optimierung zu finden. Athey und Wager [63] schlagen die Lösung der Optimierung durch folgende Verlustfunktion vor:

$$\hat{\pi} = \operatorname{argmax}\{\widehat{W}(\pi): \pi \in \Pi\} \quad (9)$$

mit

$$\widehat{W}(\pi) = \frac{1}{n} \sum (2\pi(X_i) - 1)\hat{\Gamma}_i \quad (10)$$

Gleichung 10 zeigt die umgeformte Gleichung 8 für die empirische Wohlfahrt. $\hat{\Gamma}_i$ sind die «double robust scores» des «augmented inverse-propensity weighted» Schätzers basierend auf der Methode von Robins, Rothnitzky und Zhao [64]. Gleichung 11 zeigt die Elemente des Schätzers:

$$\hat{\Gamma}_i = \hat{\mu}_{(1)}(X_i) - \hat{\mu}_{(0)}(X_i) + \frac{D_i}{\hat{e}(X_i)} (Y_i - \hat{\mu}_{(1)}(X_i)) - \frac{1 - D_i}{1 - \hat{e}(X_i)} (Y_i - \hat{\mu}_{(0)}(X_i)) \quad (11)$$

$\hat{\Gamma}_i$ besteht aus zwei Komponenten:

¹⁵ Als Behandlung wird die Koronar-CT verstanden.

- 1) den geschätzten bedingten Erwartungswerten für die behandelte und nicht behandelte Gruppe, $\hat{\mu}_{(1)}(X_i)$ und $\hat{\mu}_{(0)}(X_i)$.
- 2) den geschätzten «Propensity-Scores» $\hat{e}(X_i)$, also der Wahrscheinlichkeit, dass ein Patient abhängig von den Kontrollvariablen die Behandlung erhält.

Die zwei Komponenten werden «double robust estimator» genannt. Der Vorteil ist, dass eine Fehlschätzung der einen Komponenten durch eine korrekte Schätzung der anderen Komponente ausgeglichen werden kann.

Es gibt verschiedenste Methoden die Komponenten zu schätzen. Athey und Wager [63] schlagen die empirische Schätzung mit dem Generalized Random Forest [65], auch Causal Forest genannt, vor, eine nicht-parametrische Schätzungsmethode, die auf dem Random Forest von Breiman [66] basiert. Sie erfasst nicht-lineare Beziehungen und Wechselwirkungen zwischen Variablen. Der Causal Forest versucht, ähnlich wie der Random Forest, mittels einer Sammlung an Bäumen Nachbarschaften im Kovariatenraum durch wiederholte Teilung des Kovariatenraum zu finden. Die Hauptstruktur der Random Forests wie rekursive Partitionierung, Subsampling und zufällige Splitauswahl wird beibehalten. Anstatt jedoch über die Bäume zu mitteln, schätzen verallgemeinerte Random Forests eine Gewichtungsfunktion und verwenden die resultierenden Gewichte zur Lösung eines lokalen «Generalized Methods of Moments-Modells». Zur Schätzung heterogener Behandlungseffekte verfügt dieser Algorithmus über zwei wichtige zusätzliche Merkmale, die ihn von Standard-Random-Forests unterscheiden.

Da es sich um eine retrospektive Beobachtungsstudie und nicht um eine randomisierte kontrollierte Studie handelt, ist es notwendig, mit Kontrollvariablen für den Entscheidungsmechanismus für eine Koronar-CT zu kontrollieren. Als Kontrollvariablen für die Schätzung der heterogenen Effekte werden demografische und sozioökonomische Variablen wie Alter, Nationalität, Prämienreduktion und Franchise verwendet. Zusätzlich werden Voruntersuchungen und -behandlungen aus dem Herz Kapitel des TARMED Tarif¹⁶ verwendet. Des Weiteren werden Medikamente, die zur Behandlung von koronarer Herzerkrankung und Bluthochdruck verschrieben werden, als Kontrollvariablen hinzugefügt.¹⁷

Aufbauend auf dieser Methode kann direkt ein Entscheidungsbaum entwickelt werden. Dafür muss die Anzahl an möglichen Entscheidungsregeln reguliert sein. Die Regulierung ist notwendig, damit es eine endliche Anzahl an Dimensionen gibt. Die endliche Anzahl an Dimensionen garantiert, dass eine Lösung für das Optimierungsproblem gefunden werden kann [63]. In unserem Fall legen wir fest, dass wir einen Entscheidungsbaum, mit drei Ebenen suchen, der die Kosten minimiert, aber das Ergebnis der Diagnostik gleichbleibt. Das heisst jeder Patient, der einen Stent oder Ballon erhält, soll auch nach der Optimierung noch einen Stent oder Ballon erhalten. Der Entscheidungsbaum basiert auf Kontrollvariablen des Schätzers in Gleichung 11.

Theoretisch können alle Kontrollvariablen auch zur Entwicklung des Entscheidungsbaums verwendet werden. Aus ethischen, moralischen, rechtlichen oder politischen Gründen sollte die Behandlungszuweisung nicht auf der Franchise oder Prämienreduktion basieren. Eine Entscheidung basierend auf Prämienreduktion würde zu einer Diskriminierung basierend auf

¹⁶ Kapitel 17 und 18, ohne Untersuchungen bzw. Behandlungen die zu Koronar-CT, -MRT, -Radiologie, Koronarangiografie, Stent, oder Ballon gehören.

¹⁷ Die Schätzung wurde durch die R Bibliothek «policytree» durchgeführt [68].

Einkommen führen. Aus diesen Gründen wird der Entscheidungsbaum nicht mit Hilfe der Franchise und der Prämienreduktion entwickelt.

4.5 Ergebnisse

Im folgenden Abschnitt werden zunächst die deskriptiven Ergebnisse der untersuchten Stichprobe und anschliessend die Ergebnisse der Modellberechnungen dargestellt.

4.5.1 Deskriptive Ergebnisse

Unter Berücksichtigung der oberhalb beschriebenen Ein- und Ausschlusskriterien entsteht ein Datensatz mit 83'890 Patienten. In unserem Modell unterscheiden wir zwischen zwei Versorgungspfaden (vgl. Kapitel 4.3 und Abbildung 8), der Koronar-CT-Pfad, der mit einer Koronar-CT beginnt, und dem Koronarangiografie-Pfad, der nicht mit einer Koronar-CT, sondern einer invasiven Koronarangiografie beginnt. Die medizinischen Richtlinien empfehlen, dass Patienten mit einer mittleren Vortestwahrscheinlichkeit zuerst eine Koronar-CT erhalten (vgl. Kapitel 4.2). In unserem Datensatz zeigt sich entsprechend, dass die Mehrheit der Patienten, nämlich 75'435 bzw. 90.0%, zuerst eine Koronar-CT erhält. Eine wesentliche Anzahl, nämlich 8'455 bzw. 10.1%, folgen jedoch dem Koronarangiografie-Pfad und erhalten direkt eine invasive Koronarangiografie ohne vorherige Koronar-CT.

Im Koronar-CT-Pfad wird bei 2'127 (2.8%) Patienten im post-Koronar-CT Beobachtungszeitraum von einem Jahr eine Koronarangiografie durchgeführt. 1'040 (48,9%) Patienten erhalten dann einen Stent/Ballon und 1'087 (51,1%) Patienten erhalten keinen Stent/Ballon. Im Koronarangiografie-Pfad erhalten 4'086 (48,3%) Patienten einen Stent/Ballon und 4'369 (51.7%) Patienten keinen Stent/Ballon.

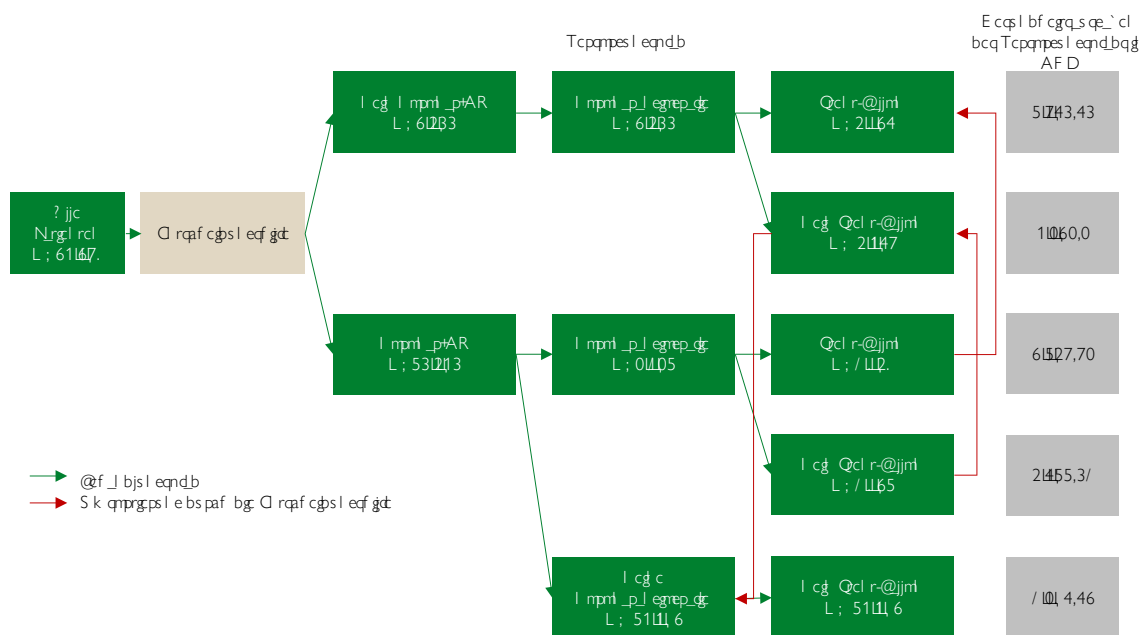


Abbildung 8: Diagnostischer Versorgungspfad für KHK

Anmerkungen: Die Gesundheitsausgaben des Versorgungspfades zeigen die Durchschnittsausgaben des gesamten Pfades in CHF an.

Neben der Stichprobengrösse der einzelnen Abschnitte der beiden Versorgungspfade wurden die durchschnittlichen Gesundheitsausgaben je Versorgungspfad und je Patient analysiert. So

entstehen für Patienten, die initial dem Koronar-CT-Pfad folgen, zusätzlich eine Koronarangiografie und schliesslich einen Stent erhalten, die höchsten Gesundheitsausgaben mit CHF 8'749.92. Das gleiche Ergebnis, also das Einsetzen eines Stents, wäre bei direktem Start auf dem Koronarangiografie-Pfad mit CHF 7'965.65 günstiger zu erreichen. Folgt auf eine Koronarangiografie kein Stent, sind die Patienten, die direkt auf dem Koronarangiografie-Pfad starten, mit CHF 3'282.20 günstiger als die Patienten, die erst eine Koronar-CT erhalten und somit insgesamt Gesundheitsausgaben über CHF 4'677.51 generieren. Die niedrigsten Gesundheitsausgaben fallen mit CHF 1'206.80 für Patienten an, die auf dem Herz-CT-Pfad starten, keine Koronarangiografie und folglich auch keinen Stent erhalten.

Aufgrund der Franchise müssen sich Patienten bis zu einem gewissen Masse an ihren Gesundheitsausgaben beteiligen. Deshalb ist die Höhe der Franchise ein potenzielles patientenseitiges Entscheidungskriterium für bzw. gegen eine Koronar-CT. Jedoch ist dieser Faktor zu vernachlässigen, da wenige Versicherte aus unserer Stichprobe hohe Franchisen haben. Abbildung 9 zeigt, dass die Mehrheit der Patienten in der Stichprobe, nämlich ca. 43'000, eine Franchise von CHF 300 gewählt haben. Ca. 25'000 weitere Patienten haben die nächstniedrigste Franchise von CHF 500 gewählt. Im Übrigen ist zum Untersuchungszeitpunkt für KHK-Patienten - insbesondere im Falle einer invasiven Koronarangiografie - aufgrund einer akuten Krankheitssituation Dringlichkeit geboten. Dennoch wurde die Franchise zur Kontrolle von Risikoverhalten hinzugefügt.

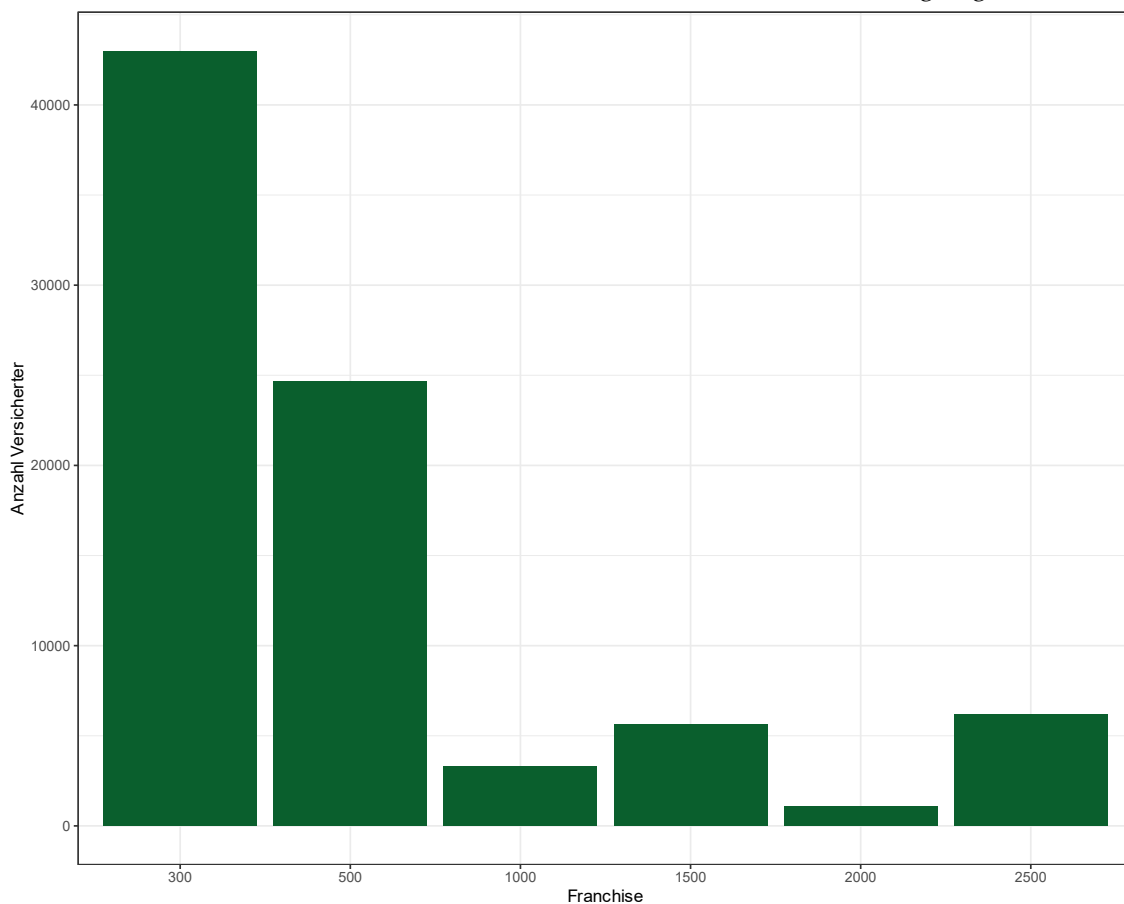


Abbildung 9: Anzahl Versicherter nach Franchise

4.5.2 Modelsergebnisse

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse (1) der Zuteilung der Patienten zu den Versorgungspfaden durch den Entscheidungsbaum, (2) die hierdurch entstehenden Effekte

(Kosteneinsparungen je Patient), und (3) ein Vergleich der Gesundheitsausgaben zwischen den beobachteten Versorgungspfaden der Patienten und zwei Alternativszenarien dargestellt.

Wie in Kapitel 4.4 ausgeführt, ist das Ziel des Entscheidungsbaums, Untergruppen in der Stichprobe zu finden, für die es günstiger ist, direkt eine invasive Koronarangiografie durchzuführen. Unter Nutzung der Kontrollvariablen und Entscheidungskriterien hat das Modell nur eine kleine Untergruppe von Patienten identifiziert, für die ein Start auf dem Koronarangiografie-Pfad kostengünstiger wäre. Abbildung 11 zeigt den Entscheidungsbaum, nach dem das Modell Patienten einem der zwei Versorgungspfade zuweist. Dieser Entscheidungsbaum hat wie in Kapitel 4.4 ausgeführt drei Trennungsebenen, nach denen die Untergruppen gebildet werden. In der vierten Ebene wird der Versorgungspfad zugewiesen. Neben dem Alter der Patienten wurden spezifische ambulante Untersuchungen des Herzens als Entscheidungskriterien durch das Modell aus über 100 möglichen Patientencharakteristika identifiziert. Die endgültige Wahl der Variablen, wie sie in Abbildung 10 zu sehen sind, wird einzig durch den Algorithmus definiert. Betrachtet man beispielsweise die Untergruppe 1: Patienten mit den Merkmalen dieser Untergruppe erreichen ihr Diagnoseergebnis kostenoptimal bei Start auf dem Koronar-CT-Pfad. Patienten dieser Untergruppe sind 41 Jahre alt oder jünger (Trennungsebene 1). Diese Patienten haben eine Echokardiografie (aus Trennungsebene 2) erhalten. Wenn nun ein Patient ebenfalls eine nuklearkardiologische Untersuchung des Herzens (aus Trennungsebene 3) erhalten hat, erhält dieser Patient eine Koronar-CT. In der Stichprobe sind 8'148 Patienten mit diesen Eigenschaften vorhanden. Jedoch wenn Patienten keine nuklearkardiologische Untersuchung des Herzens erhalten haben, ist ein Start auf dem Koronarangiografie-Pfad kostenoptimal. In der Stichprobe sind 12 Patienten mit diesen Eigenschaften vorhanden.

72'416 Patienten fallen in Gruppe 7. Diese Patienten sind über 44 Jahre alt. In dieser Gruppe scheint es keine relevanten heterogene Effekte zu geben. Deshalb starten diese Patienten alle auf dem Koronar-CT-Pfad.

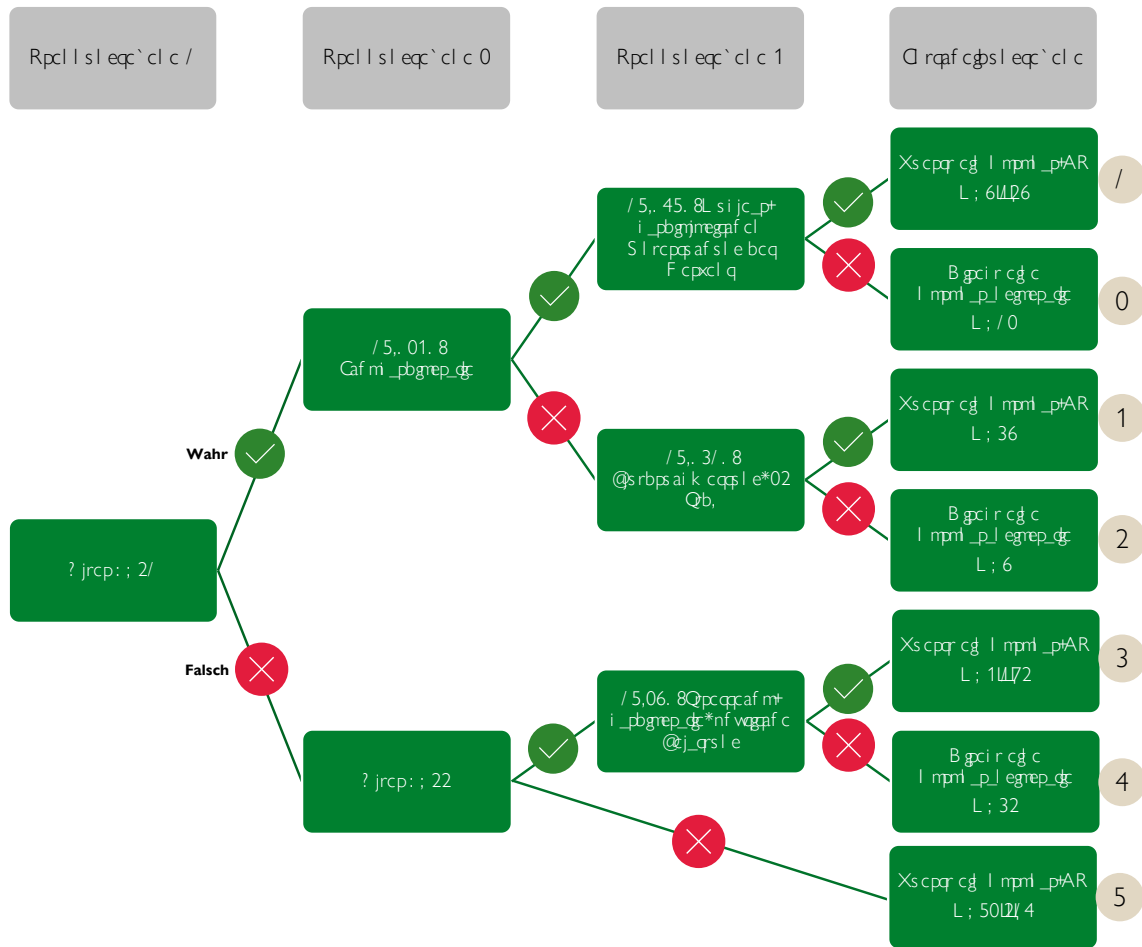


Abbildung 10: Entscheidungsbaum

Anmerkung: Der grüne Haken bedeutet, dass die Aussage links davon wahr ist. Analog bedeutet das rote Kreuz, dass die Aussage nicht wahr ist.

Tabelle 5 zeigt aggregiert welche Patienten welchem Pfad in der Stichprobe folgen und welchen Pfad sie nach unserem Modell folgen sollten. Nur 74 (0.09%) sollten laut Modell direkt eine invasive Koronarangiografie erhalten und 83'816 (99.91%) sollten zuerst eine Koronar-CT erhalten.

Tabelle 5: Vergleich des beobachteten Versorgungspfads mit der Zuteilung der Patienten durch den Entscheidungsbaum des Modells

	Anzahl der Patienten, die laut Modell auf «Koronar-CT-Pfad» starten sollten	Anzahl der Patienten, die laut Modell auf «Koronarangiografie-Pfad» starten sollten	Summe der Patienten nach Pfad in der Stichprobe
Anzahl der Patienten, die auf dem «Koronar-CT-Pfad» gestartet sind, also zuerst eine Koronar-CT erhalten	75'381	54	75'435
Anzahl der Patienten, die auf dem «Koronarangiografie-Pfad» gestartet sind, also zuerst eine Koronarangiografie erhalten	8'435	20	8'455
Summe nach Pfad der Modelzuweisung	83'816	74	

Abbildung 11 zeigt die durchschnittlichen Einsparungen, wenn Patienten gemäss des in Abbildung 10 gezeigten Entscheidungsbaums anhand ihrer Patientencharakteristika in eine der sieben Untergruppen eingeteilt und einem Versorgungspfad zugeordnet werden gegenüber den Kosten des beobachteten Versorgungspfads.

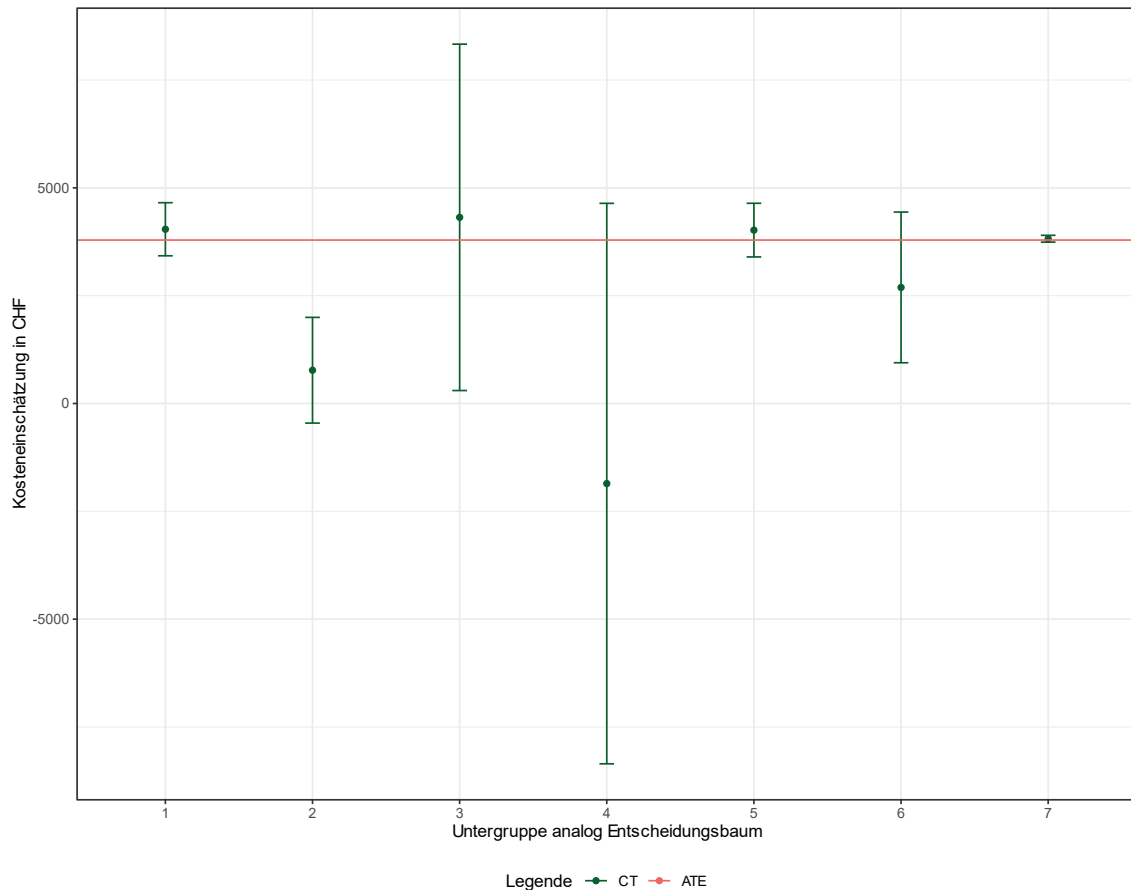


Abbildung 11: CATE nach Untergruppen analog zum Entscheidungsbaum

Die grünen Linien stellen hierbei das 95%-Konfidenzintervall dar, also die Bandbreite der Einsparung, die gemäss Schätzung zu einer Wahrscheinlichkeit von 95% eintreten würde. Insgesamt sind die Effekte sehr heterogen, unterscheiden sich also zwischen den Untergruppen. Wenn das Konfidenzintervall einer Untergruppe die rote Linie, also den ATE der gesamten Stichprobe, schneidet, ist der Unterschied der durchschnittlichen Einsparung statistisch nicht signifikant. Es ist zu erkennen, dass also nur Untergruppe 2 signifikant unterschiedliche, in diesem Fall niedrigere, Kosteneinsparungen als die Gesamtstichprobe hat. Generell ist ausserdem auffällig, dass für die meisten Untergruppen immer positive Einsparungen durch das Modell geschätzt werden mit Ausnahme von Untergruppe 4 und in geringerem Ausmass für Untergruppe 2.

Abschliessend sollen globale Kosteneinsparungen der Anpassung von KHK-Versorgungspfaden durch einen Vergleich von zwei Alternativszenarien mit dem beobachteten Status Quo abgeschätzt werden. Das erste Alternativszenario stellt dar, wenn die Versorgungspfade den kostenoptimierenden Entscheidungen des Modells folgen würden. Für fast alle Patienten sollte laut Modell zuerst eine Koronar-CT durchgeführt werden, eine (algorithmische) Analyse entlang relevanter Patientencharakteristiken erscheint jedoch wenig praxistauglich. Deshalb ist das zweite

Alternativszenario die Durchführung einer Koronar-CT für alle Patienten, unabhängig der Ausprägungen ihrer Charakteristiken, der Modellzuweisung und/ oder des beobachteten Versorgungspfads.

Abbildung 12 zeigt entsprechend die durchschnittlichen Gesundheitsausgaben pro Patienten des Status Quo und der beiden Alternativszenarien. Entsprechend der Kostenoptimierungslogik des Modells liegen die Ausgaben je Patient für den durch den Entscheidungsbaum vorgeschlagenen Versorgungspfad mit CHF 1'398.94 am niedrigsten. Interessant ist, dass für das Alternativszenario, in dem zuerst für alle Patienten eine Koronar-CT durchgeführt wird, im Durchschnitt die Ausgaben pro Patient mit CHF 1'460.87 lediglich ca. CHF 60 höher liegen. Die Differenz zu den Gesundheitsausgaben im Status Quo beträgt ca. CHF 320 bzw. ca. CHF 380, die Ausgaben sind also etwa 18% bzw. 22% niedriger.

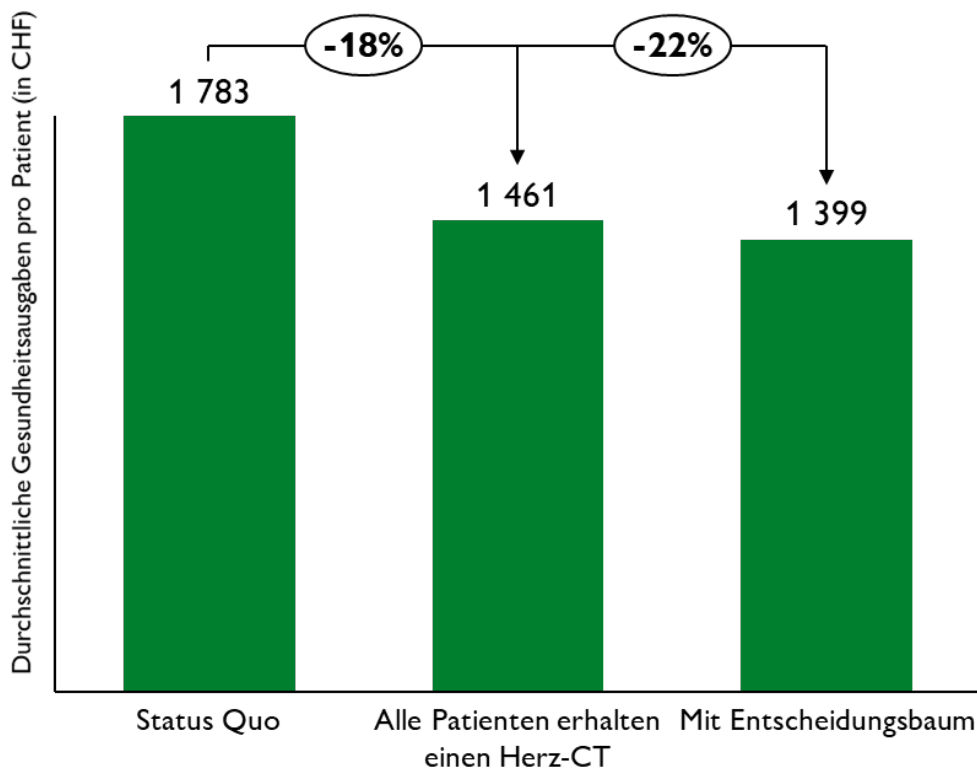


Abbildung 12: Vergleich des Status Quo der durchschnittlichen Gesundheitsausgaben pro KHK-Patient in CHF mit zwei Alternativszenarien

Abbildung 13 zeigt die Gesamtausgaben von 2015 bis 2020 aller Groupe Mutuel Versicherten im Status Quo und in den Alternativszenarien. Hier zeigt sich, dass die potenzielle Gesamtersparnis auf Ebene der gesamten Versicherung rund CHF 30 Mio., also etwa CHF 4.5 bis 5.5 Mio. pro Jahr je nach betrachtetem Szenario, umfasst.

Unsere Analyse beschränkt sich auf die Versicherten einer Krankenversicherung. Entsprechend sind die Einsparpotenziale für alle Versicherten in der Schweiz noch weitaus höher einzuschätzen. Eine genaue Berechnung oder auch Schätzung ohne Kenntnis der Charakteristiken der Versicherten anderer Versicherungen ist jedoch mit grossen Limitationen behaftet und wird deshalb nicht angestellt.

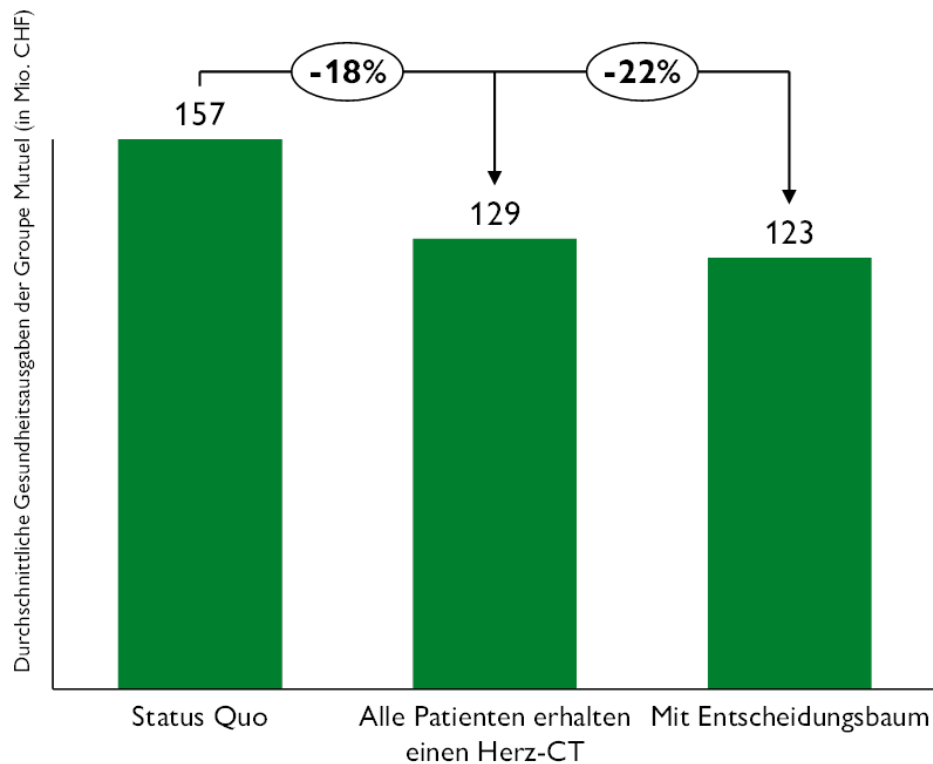


Abbildung 13: Vergleich des Status Quo der Groupe Mutuel Gesamtausgaben für KHK in CHF von 2015-2020 mit zwei Alternativszenarien

4.6 Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass eine grosse Zahl an Patienten kostengünstiger behandelt werden könnte bei gleichem Diagnoseergebnis, wenn zuerst eine Koronar-CT durchgeführt würde. Es lässt sich nur eine kleine Untergruppe von unter 100 Patienten und weniger als 0,1% der Stichprobe identifizieren, deren Gesundheitsausgaben durch die direkte Verfolgung des Koronarangiographie-Pfads signifikant niedriger sind.

Die Analyse der CATEs, also der ATEs der Untergruppen, zeigt, dass die durchschnittlichen Einsparungen durch die Kostenoptimierung des Modells heterogen zwischen den Untergruppen sind. Gleichzeitig sind die Abweichungen vom ATE für sechs von sieben Untergruppen jedoch nicht signifikant und die Konfidenzintervalle waren teilweise relativ gross (z.B. Untergruppen 3 und 4).

Daran angelehnt wurde zur Abschätzung der Auswirkungen auf die Gesundheitsausgaben ein Alternativszenario, in dem alle Patienten direkt auf dem Koronar-CT-Pfad starten, berechnet. Zusammenfassend sprechen folgende Gründe für die Plausibilität des Szenarios:

- Die Konfidenzintervalle der Effekte der sieben Untergruppen sind relativ gross.
- Der Unterschied der Effekte der Untergruppen zum ATE ist zumeist nicht signifikant.
- Die Stichprobe der Untergruppen ist teilweise recht klein.
- In der praktischen Umsetzung ist ein standardmässiger Start auf dem Koronar-CT-Pfad besser umsetzbar.

Durch einen standardmässigen Start auf dem Koronar-CT-Pfad entstehen zwar höhere Gesundheitsausgaben verglichen mit den Modellergebnissen, aber diese Richtlinie ist einfacher umzusetzen und die Kostenersparnisse verglichen mit dem Status-Quo sind bereits beachtlich.

Insgesamt liegt im untersuchten Teil des KHK-Versorgungspfads, nämlich der Diagnostik einer stabilen KHK ohne vorausgehende Koronar-CT, LVC insofern vor, als dass die invasive Koronarangiografie (a) dem Patienten wenig oder keinen Nutzen bringen, da bereits in der Koronar-CT Stenosen ausgeschlossen werden könnten, (b) die Sedierung bei einer invasiven Koronarangiografie Risiken birgt, (c) weitere Kosten entstehen aufgrund der höheren Bepreisung von Koronarangiografien (falls nach der Koronar-CT keine Koronarangiografie inkl. Stent/Ballon benötigt wird) und (d) knappe Gesundheitsressourcen, insbesondere die limitierte Kapazität von Gesundheitspersonal, unnötig verbraucht werden. Somit sind alle Kriterien der oben aufgeführten LVC-Definition erfüllt.

Für dieses Krankheitsbild wurde die Forschungsfrage formuliert, ob die Kosten des KHK-Versorgungspfads durch verstärkte Berücksichtigung von nicht-invasiven bildgebenden Verfahren wie der Koronar-CT gesenkt werden können. Anhand der Berechnungen wurde sichtbar, dass für nahezu alle Untergruppen Einsparungen in den Diagnosekosten resultieren. Der vom Entscheidungsbaum vorgeschlagene Versorgungspfad optimiert die Kostenstruktur am stärksten, wobei im Vergleich das Alternativmodell, wenn alle Patienten zu Beginn eine Koronar-CT erhalten, nur CHF 60 pro Patient teurer wäre bei gleichzeitig höherer Praktikabilität. Daraus entstehen im Vergleich zum Status Quo mögliche Einsparungen von rund CHF 4.5 bis 5.5 Mio. pro Jahr je nach betrachtetem Modell.

Das entwickelte Modell hat zwei Schwächen:

- 1) Es fehlen Informationen z.B. zu Symptomen und Risikofaktoren: Diese Informationen sind in den Daten nicht verfügbar. Dies führt einerseits zu einem Bias in der Schätzung der Effekte und andererseits könnten diese Kontrollvariablen relevante Kriterien für den Entscheidungsbaum darstellen.
- 2) Es bleibt unbekannt, wie die Performance des Modells ausserhalb der Stichprobe ist: Der Entscheidungsbaum wurde auf derselben Stichprobe trainiert, die auch durch das so trainierte Modell evaluiert wurde. Dies kann zu Overfitting an die bestehende Stichprobe führen. Dem könnte man durch Kreuzvalidierungsverfahren («cross-validation») entgegenwirken, was jedoch den Rahmen dieser Studie sprengen würde (vgl. Kapitel 4.4).

Mehrere Aspekte könnten sich ausserdem relativierend auf die Ergebnisse und die Höhe der potenziellen Ersparnisse für KHK-Patienten auswirken:

- Diagnosecodes nicht verfügbar: Aufgrund des Fehlens von Diagnosecodes in den Versicherungsdaten können bei den Einschlusskriterien der TARMED-codes für Koronar-CT und invasive Koronarangiografie KHK-Patienten nicht isoliert werden. Es ist also wahrscheinlich, dass die analysierte Patientenstichprobe weitere Krankheitsbilder und Patienten mit «unspezifischen» Thoraxschmerzen beinhaltet. Folglich könnte die Stichprobe zu umfangreich und die beobachteten und berechneten Positivraten, also der Anteil der Patienten, bei denen ein Einsetzen eines Stents/Ballons erfolgt, nicht korrekt sein. Beides würde die Modellergebnisse und Abschätzungen potenzieller Ersparnisse beeinflussen. Darüber hinaus sind für Patienten mit anderen Krankheitsbildern andere Therapien als Stent/Ballon angezeigt, z.B. Diabetes Melitus Typ 2 mit diffuser Koronarsklerose therapiert durch eine Bypass-Operation. Gleichzeitig wären solche Patienten, wenn die Therapie stationär erfolgt wie im obigen Beispiel der Diabetes Melitus Typ 2 nicht Teil unserer

Stichprobe, da ausschliesslich TARMED-codes als Einschlusskriterien verwendet wurden.

- DRG-Fälle: Da ausschliesslich TARMED-codes als Einschlusskriterien genutzt wurden, sind solche Patienten, die nach Einsatz eines Stents/Ballons stationär aufgenommen wurden, nicht Teil der Stichprobe. DRG-codes können auch nicht als weiteres Einschlusskriterium definiert werden, da keine eindeutige DRG für die Therapie von KHK-Patienten im Fallpauschalenkatalog vorliegt. Dem könnte durch zusätzliche Verwendung von stationären Diagnose- sowie Operationen und Prozedurencodes als zusätzliche Einschlusskriterien entgegengewirkt werden. Auch würden stationäre Prozedurencodes benötigt, um den diagnostischen Pfad stationärer Patienten im Spital nachvollziehen zu können. Diese Daten fehlen jedoch im Versichertendatensatz.
- Notfallsituationen: Direkte Durchführungen von invasiven Koronarangiografien können in akuten Notfallsituationen durchaus angezeigt sein. Die vorherige Durchführung eines Koronar-CTs ist in solchen Fällen potenziell schädlich für den Patienten, da zusätzliche Zeit bis zur Therapie verstreicht und das Risiko für fatale Verläufe steigt. Die spezifische Situation, in der die Diagnostik durchgeführt wird, konnte jedoch nicht beobachtet werden und wird in einem Alternativszenario zur Simulation der Einsparungen – bewusst zur Darstellung der potenziellen Einsparungen – nicht berücksichtigt.

Abschliessend sei nochmals erwähnt, dass in dieser Studie nur der Unterschied zwischen den zwei diagnostischen Methoden «Koronar-CT» und «invasive Koronarangiografie» untersucht wurde. Wie in Kapitel 4.2 erwähnt, werden ausserdem noch funktionale Diagnostikleistungen wie das Stress-MRT durchgeführt. Wenn wir in unserem Model Koronar-CT, Stress-MRT und Koronarangiografie untersuchen würden, gäbe es viele ineinandergreifende Versorgungspfade¹⁸, die zusätzliche, im Rahmen dieser Studie nicht adressierbare Komplexität für das Modell generiert hätten.

¹⁸ Mögliche Pfade wären: Herz-CT → Stress-MRT → Kardioangiografie; Herz-CT → Kardioangiografie; Stress-MRT → Kardioangiografie; Stress-MRT → Herz-CT → Kardioangiografie; Kardioangiografie

5 Fazit und Schlussempfehlungen

Die wichtigsten Ergebnisse der «Low Value Care Studie» werden mit dem vorliegenden Bericht präsentiert und zusammengefasst. Dabei konnte an zwei ausgewählten Krankheitsbildern gezeigt werden wie LVC mithilfe von anonymisierten Versichertendaten, hier der Groupe Mutuel, identifiziert und quantifiziert werden kann.

In diesem letzten Kapitel des Berichts werden (1) alle Erkenntnisse zusammengefasst, (2) Implikationen für das Schweizer Gesundheitssystem als Ganzes und (3) für die Krankenversicherungen abgeleitet und schliesslich (4) ein Forschungsausblick präsentiert. Der Forschungsausblick soll aufzeigen, in welchen Bereichen die Schweiz im Gegensatz zu anderen Ländern Aufholbedarf hat und inwiefern sich eine höhere Datentransparenz sowie -qualität positiv auf Generierung von Erkenntnissen auswirken würde.

5.1 Zusammenfassung der Erkenntnisse

Ziele dieser Studie sind die Thematisierung von LVC, die Identifikation von LVC in ausgewählten Krankheitsbildern und die gesundheitspolitische Bedeutung von LVC für das Schweizer Gesundheitswesen. Zur Identifikation von LVC wurde folgende Definition entwickelt: *«Low Value Care sind Leistungen, (a) die den Patienten wenig oder keinen Nutzen bringen, (b) potenziell Schaden verursachen, (c) unnötige Kosten entstehen lassen oder (d) knappe Gesundheitsressourcen verschwenden im Vergleich zu anderen Patienten oder alternativen Behandlungen bzw. Medikamenten.»* LVC liegt nicht zuletzt also auch dann vor, wenn eine Untersuchung, Behandlung oder ein Medikament zwar generell effektiv ist, im konkreten Patientenkontext jedoch keinen Nutzen bietet.

Für das Krankheitsbild «COPD» wurden die Auswirkungen der Medikamentenadhärenz der Patienten auf die Wahrscheinlichkeit einer Exazerbation mit Hospitalisation sowie die Gesundheitskosten überprüft. Die Ergebnisse zeigen, dass eine geringe Medikamentenadhärenz viel eher zu Spitaleinweisungen aufgrund von Exazerbationen führt. So ist das Risiko einer hospitalisierten Exazerbation für die Gruppe mit der höchsten Medikamentenadhärenz um 50% niedriger als für die Gruppe mit der tiefsten. Ausserdem zeigen die Ergebnisse, dass die Gesundheitsausgaben zwei Jahre vor und auch ein Jahr nach Exazerbationen für Patienten mit einer geringen Medikamentenadhärenz wesentlich höher sind als für Patienten mit ausgeprägter Medikamentenadhärenz. Eine geringe Medikamentenadhärenz verursacht demnach eher Schäden wegen der Nicht-Vermeidung von Exazerbationen, wodurch die Kosten steigen und knappe Gesundheitsressourcen mit vermeidbaren Spitaleinweisungen belastet werden. All dies qualifiziert eine tiefe Medikamentenadhärenz als LVC.

Zur Adressierung von LVC für das Krankheitsbild COPD muss folglich die Medikamentenadhärenz erhöht werden. Mögliche Hebel hierfür sind die Förderung der patienteneigenen Gesundheitskompetenz, also die Befähigung der Patienten über den eigenen Gesundheitszustand besser informiert zu sein. Ausserdem könnten Patienten im Alltag bei der Einnahme von Medikamenten unterstützt durch automatisierte Erinnerungen, Monitoring des Medikamentenbestands und intuitiven Kommunikationsmöglichkeiten zum Hausarzt unterstützt werden. Solche und weitere Unterstützungsleistungen könnten über eine digitale Gesundheitsanwendung, z.B. eine App, abgebildet werden.

Für das Krankheitsbild KHK wurden die Gesundheitsausgaben der Versorgungspfade «Koronar-CT» und «Koronarangiographie» zur Diagnose der KHK analysiert. Im analysierten Datensatz wurde ein grosser Anteil an Patienten identifiziert, die ohne Abklärung durch ein Koronar-CT direkt eine Koronarangiografie erhalten, d.h. direkt dem «Koronarangiographie-Pfad» folgen ohne einen Stent eingesetzt zu bekommen. Die Wahrscheinlichkeit für eine diagnostizierte KHK bei diesen Patienten ist daher eher gering. Dieses Vorgehen ist als LVC zu kategorisieren da es den Patienten keinen Nutzen bringt, die Patientensicherheit gefährdet und unnötige Kosten verursacht bzw. die knappen Ressourcen im Gesundheitswesen nicht nutzenorientiert eingesetzt werden.

Zur Identifikation von LVC wurde ein Modell entwickelt, das durch eine (Neu-) Zuweisung der Patienten zu ihrem kostenoptimierenden Versorgungspfad zum beobachteten Diagnoseergebnis kommen sollte. Für diese (Neu-) Zuweisung wurden durch das Modell relevante Patientencharakteristiken identifiziert und genutzt.

Die Modellergebnisse zeigen, dass nur für einen sehr geringen Anteil von weniger als 1% der Patientenstichprobe die erwarteten Gesundheitsausgaben durch eine direkte Abklärung mittels Koronarangiografie optimal sind. Um mehr Patientensicherheit und möglichst grosse Einsparungen bei selben Diagnoseergebnis gegenüber dem Status Quo zu realisieren, sollten also fast alle Patienten zuerst einen Koronar-CT erhalten. In einem weiteren Alternativszenario zum Status Quo konnte gezeigt werden, dass die Einsparungen auch dann noch beträchtlich sind, wenn davon ausgegangen wird, dass tatsächlich jeder Patient zuerst eine Koronar-CT erhält. Dieses Szenario erscheint in der Praxis eher umsetzbar. Abschliessend sei erwähnt, dass auch medizinische Leitlinien eine in einem ersten Schritt standardmässige Abklärung der KHK durch einen Koronar-CT für einen Grossteil der Patienten, nämlich die mit einer Vortestwahrscheinlichkeit zwischen 15% und 85%, anzeigen. Dies zeigt, dass die gesundheitsökonomischen Analysen zu ähnlichen Ergebnissen wie die breit abgestützten medizinischen Leitlinien kommen.

5.2 Implikationen für das Schweizer Gesundheitssystem

LVC kann in allen Teilen des Versorgungspfads von akuten und chronischen Erkrankungen vorkommen – in der Abklärung und Diagnose, bei Behandlungen, beim (Selbst-) Management chronischer Erkrankungen, usw. Um die Versorgungsqualität zu erhöhen und die stetig steigende Gesundheitsausgaben einzudämmen, ist die Reduzierung von LVC ein zentraler Punkt in der zukünftigen Ausrichtung der Gesundheitsversorgung. Dazu müssen einerseits Initiativen wie «Smarter Medicine» weiter gestärkt werden, um Leistungserbringer wie auch Patienten auf LVC aufmerksam zu machen. Andererseits braucht es verstärkt Forschung in diesem Feld, um das Ausmass von LVC besser zu bestimmen und Massnahmen zur De-Implementierung von LVC zu definieren. Die vorliegende Studie hat gezeigt, wie LVC mit Versichertendaten für zwei Krankheitsbilder identifiziert und quantifiziert werden kann. Diese Identifikation und Quantifizierung stellt die Grundlage einer effektiven Adressierung von LVC dar. Entsprechen könnten dieselben und ähnliche Methoden genutzt werden, um für weitere Krankheitsbilder und weitere Teile des Versorgungspfads LVC im Schweizer Gesundheitssystem zu identifizieren und zu quantifizieren. Dies würde ebenfalls auf die vom Bundesrat 2019 definierte Strategie «Gesundheit2030» einzahlen, welche qualitativ hochwertige Versorgung stärken und höhere Kostentransparenz fördern will [67].

Ein systemseitiger Hebel zur Adressierung von LVC wäre die Anpassung der Vergütungssysteme. Beispielsweise könnte ausgearbeitet werden, welche finanziellen Anreize gesetzt werden

sollten, um identifizierte LVC Leistungen im Versorgungspfad eines Krankheitsbilds zu reduzieren. Dabei können Aktivitäten von Initiativen wie Smarter Medicine, die Grundlage für die durch empirische Strategien untersuchten Fragestellungen bilden. Die so identifizierten LVC Leistungen könnten dann nicht mehr oder nicht mehr vollständig vergütet werden. Damit würde ein deutlicher Schritt in Richtung qualitätsorientierte Vergütung gemacht werden.

5.3 Implikationen für die Krankenversicherungen

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass Medikamentenadhärenz für COPD-Patienten gesteigert werden muss. Mögliche Hebel sind die Erarbeitung und Anwendung strukturierter Behandlungsprogramme und digitale Gesundheitsanwendung zur Unterstützung des Selbstmanagements der Patienten.

Die Krankenversicherungen könnten hierzu wie folgt aktiv werden:

- **Strukturierte Behandlungsprogramme:** Ein finanzieller Anreiz für (Haus-) Ärzte zur Durchführung eines strukturierten Behandlungsprogramms ist einerseits nötig, um den zusätzlichen Aufwand zu honorieren und andererseits sinnvoll, da hierdurch LVC reduziert wird. Die Krankenversicherungen haben die nötige Fachkompetenz und das Mandat (Stichworte «Besondere Versicherungsformen» und «Managed Care»), einen entsprechenden Vergütungsanreiz zu entwickeln. Hierfür könnte die DMP-Vergütung aus Deutschland als Inspiration dienen. Die Krankenversicherungen könnten dann mit einem solchen Vergütungsvorschlag pro-aktiv auf Verbände von Leistungserbringern zugehen, um so die Ausarbeitung eines strukturierten Behandlungsprogramms für COPD durch die Verbände voranzutreiben. Ggf. sind hierfür auch Initiativen wie Smarter Medicine geeignete Partner. Schliesslich können die Krankenversicherungen mit ausgewählten Hausarztnetzwerken eine Durchführung und Vergütung pilotieren und anschliessend evaluieren.
- **Digitale Gesundheitsanwendung:** Ähnlich wie für strukturierte Behandlungsprogramme ist auch für digitale Gesundheitsanwendung die Vergütung in der Regelversorgung und die Evaluierung, also Nachweis eines positiven Effekts zu vertretbaren Kosten, essenziell. Hier können sich die Krankenversicherungen mit der Entwicklung eines Vergütungsansatzes und der Vorgabe von Evaluierungskriterien einbringen. Vorlage und Inspiration kann hier wiederum das Digitale-Verordnung-Gesetz und die Regelungen zu digitalen Gesundheitsanwendungen aus Deutschland bilden.

Die Studie zeigt ausserdem, dass wesentliche Einsparungen durch eine standardisierte Anpassung des diagnostischen Versorgungspfades für KHK-Patienten möglich wären. Hier könnten die Krankenversicherungen wiederum durch Vergütungsanreize aktiv werden und individuelle Verträge mit Leistungserbringern entwickeln. Als Grundlage und Inspiration könnten hierzu «best practice tariffs» dienen. Tarife dieser Art, die die Einhaltung medizinischer Richtlinien bonifizieren, kommen zum Beispiel im englischen Gesundheitssystem des National Health Services zur Anwendung.

5.4 Ausblick

Zu Projektbeginn war ursprünglich die Identifikation von LVC für drei Krankheitsbilder vorgesehen. Denn neben COPD und KHK hätten auch Patienten mit chronischen Rückenproblemen betrachtet werden sollen. Dies war jedoch aufgrund der Datenlage nicht möglich, da Krankenversicherungen in der Schweiz keinen Zugang zu Diagnosen und im stationären Bereich keinen Zugriff auf Prozedurencodes haben. Somit konnten Patienten mit chronischen Rückenschmerzen nicht identifiziert werden, um gültige Aussagen zu LVC Leistungen zu treffen. Die diversen datenseitigen Limitationen, die für die Modellergebnisse beider Krankheitsbilder vorliegen, folgen denselben Gründen.

Aus datenschutzrechtlicher Perspektive ist es sinnvoll, dass Krankenkassen nur zu den für sie relevantesten Daten – d.h. die zur Abrechnung unbedingt nötigen Daten – Zugang haben. Jedoch ist es aus Sicht der Forschung unerlässlich, diese Daten zur Verfügung zu haben, um möglichst genaue Modelle entwickeln und rechnen zu können. Ergebnisse solcher Modelle sind unerlässlich, um qualitäts- und kostenoptimierende Reformen zu entwickeln. Daher ist die Erhöhung der Datenqualität und -transparenz in der Schweiz eine weitere wichtige Erkenntnis dieses Berichts. In Zukunft sollte die Forschung zu LVC also noch intensiviert werden, um Strategien zur De-Implementierung von LVC zu entwickeln und das Gesundheitssystem nachhaltig zu verbessern – sowohl aus Patienten- als auch aus Kostenperspektive.

Literaturverzeichnis

1. Chassin MR, Galvin RW, Donaldson MS (1998) The urgent need to improve health care quality: Institute of Medicine national roundtable on health care quality. *J Am Med Assoc* 280:1000–1005. <https://doi.org/10.1001/jama.280.11.1000>
2. Vogel J, Letzgus P, Geissler A (2020) Paradigmenwechsel in der Krankenhausplanung – hin zu Leistungs-, Bedarfs- und Qualitätsorientierung für einen höheren Patientennutzen. In: Klauber J, Geraedts M, Friedrich J, Beivers A (eds) *Krankenhaus-Report 2020*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp 327–358
3. Colla CH, Mainor AJ, Hargreaves C, et al (2017) Interventions aimed at reducing use of low-value health services: A systematic review
4. Elshaug AG, Rosenthal MB, Lavis JN, et al (2017) Levers for addressing medical underuse and overuse: Achieving high-value health care. *The Lancet* 390:191–202. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)32586-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)32586-7)
5. Mafi JN, Parchman M (2018) Low-value care: An intractable global problem with no quick fix. *BMJ Qual Saf* 27:333–336. <https://doi.org/10.1136/bmjqs-2017-007477>
6. Verkerk EW, Tanke MAC, Kool RB, et al (2018) Limit, lean or listen? A typology of low-value care that gives direction in de-implementation. *International Journal for Quality in Health Care* 30:736–739. <https://doi.org/10.1093/intqhc/mzy100>
7. Brownlee S, Chalkidou K, Doust J, et al (2017) Evidence for overuse of medical services around the world. *The Lancet* 390:156–168. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)32585-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)32585-5)
8. Chan KS, Chang E, Nassery N, et al (2013) The state of overuse measurement: A critical review. *Medical Care Research and Review* 70:473–496. <https://doi.org/10.1177/1077558713492202>
9. Pronovost PJ, Lilford R (2011) A road map for improving the performance of performance measures. *Health Aff* 30:569–573. <https://doi.org/10.1377/hlthaff.2011.0049>
10. Grimshaw JM, Patey AM, Kirkham KR, et al (2020) De-implementing wisely: Developing the evidence base to reduce low-value care. *BMJ Qual Saf* 29:409–417. <https://doi.org/10.1136/bmjqs-2019-010060>
11. Maratt JK, Kerr EA, Klamerus ML, et al (2019) Measures used to assess the impact of interventions to reduce low-value care: A systematic review. *J Gen Intern Med* 34:1857–1864. <https://doi.org/10.1007/s11606-019-05069-5>
12. de Vries EF, Struijs JN, Heijink R, et al (2016) Are low-value care measures up to the task? A systematic review of the literature. *BMC Health Serv Res* 16:. <https://doi.org/10.1186/s12913-016-1656-3>
13. Baker DW, Qaseem A, Reynolds PP, et al (2013) Design and use of performance measures to decrease low-value services and achieve cost-conscious care. *Ann Intern Med* 158:55–59
14. Institute of Medicine (2001) *Crossing the Quality Chasm: A New Health System for the 21st Century*. National Academies Press, Washington, D.C.
15. Prasad V, Ioannidis JP (2014) Evidence-based de-implementation for contradicted, unproven, and aspiring healthcare practices. *Implementation Science* 9:. <https://doi.org/10.1186/1748-5908-9-1>
16. Rietbergen T, Spoon D, Brunsveld-Reinders AH, et al (2020) Effects of de-implementation strategies aimed at reducing low-value nursing procedures: A systematic review and

- meta-analysis. *Implementation Science* 15:1–18. <https://doi.org/10.1186/s13012-020-00995-z>
17. Sypes EE, de Groot C, Whalen-Browne L, et al (2020) Engaging patients in de-implementation interventions to reduce low-value clinical care: A systematic review and meta-analysis. *BMC Med* 18:1–15. <https://doi.org/10.1186/s12916-020-01567-0>
 18. Sypes EE, de Groot C, Clement FM, et al (2020) Understanding the public's role in reducing low-value care: A scoping review. *Implementation Science* 15:1–13. <https://doi.org/10.1186/s13012-020-00986-0>
 19. Niven DJ, Mrklas KJ, Holodinsky JK, et al (2015) Towards understanding the de-adoption of low-value clinical practices: A scoping review. *BMC Med* 13:. <https://doi.org/10.1186/s12916-015-0488-z>
 20. Choosing Wisely (2022) Choosing Wisely. <https://www.choosingwisely.org/>
 21. Smarter Medicine (2022) Smarter Medicine. <https://www.smartermedicine.ch/de/home.html>
 22. Born K, Kool T, Levinson W (2019) Reducing overuse in healthcare: advancing Choosing Wisely. *BMJ* l6317. <https://doi.org/10.1136/bmj.l6317>
 23. BAG (2020) Chronische Atemwegserkrankungen. <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/krankheiten/krankheiten-im-ueberblick/chronische-atemwegserkrankungen.html>
 24. Wieser S, Tomonaga Y, Riguzzi M, et al (2014) Die Kosten der nichtübertragbaren Krankheiten in der Schweiz - Schlussbericht. Winterthur
 25. Eisner MD, Blanc PD, Omachi TA, et al (2011) Socioeconomic status, race and COPD health outcomes. *J Epidemiol Community Health* (1978) 65:26–34. <https://doi.org/10.1136/jech.2009.089722>
 26. Vestbo J, Anderson JA, Calverley PMA, et al (2009) Adherence to inhaled therapy, mortality and hospital admission in COPD. *Thorax* 64:939–943. <https://doi.org/10.1136/thx.2009.113662>
 27. BFS (2022) Herz- und Kreislauf-Erkrankungen. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/gesundheit/gesundheitszustand/krankheiten/herz-kreislauf-erkrankungen.html>. Accessed 8 Nov 2022
 28. BFS (2021) Medizinische Statistik der Krankenhäuser. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/gesundheit/erhebungen/ms.html>
 29. Montalescot G, Sechtem U, Achenbach S, et al (2013) 2013 ESC guidelines on the management of stable coronary artery disease. *Eur Heart J* 34:2949–3003. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/eh296>
 30. Stolz D, Mkorombindo T, Schumann DM, et al (2022) Towards the elimination of chronic obstructive pulmonary disease: a Lancet Commission. *The Lancet* 400:921–972. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)01273-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)01273-9)
 31. Papi A, Bellettato CM, Braccioni F, et al (2006) Infections and Airway Inflammation in Chronic Obstructive Pulmonary Disease Severe Exacerbations. *Am J Respir Crit Care Med* 173:1114–1121. <https://doi.org/10.1164/rccm.200506-859OC>
 32. Bafadhel M, McKenna S, Terry S, et al (2011) Acute Exacerbations of Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Am J Respir Crit Care Med* 184:662–671. <https://doi.org/10.1164/rccm.201104-0597OC>

33. Baines KJ, Pavord ID, Gibson PG (2014) The role of biomarkers in the management of airways disease. *The International Journal of Tuberculosis and Lung Disease* 18:1264–1268. <https://doi.org/10.5588/ijtld.14.0226>
34. GOLD (2018) Global Strategy for the diagnosis, management, and prevention of Chronic Obstructive Pulmonary Disease
35. Lozano R, Naghavi M, Foreman K, et al (2012) Global and regional mortality from 235 causes of death for 20 age groups in 1990 and 2010: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *The Lancet* 380:2095–2128. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61728-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61728-0)
36. World Health Organization (2020) Global health estimates 2020: Deaths by cause, age, sex, by country and by region, 2000-2019
37. Tzanakis N, Hillas G, Perlikos F, Tsiligianni I (2015) Managing comorbidities in COPD. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* 95. <https://doi.org/10.2147/COPD.S54473>
38. Divo M, Cote C, de Torres JP, et al (2012) Comorbidities and risk of mortality in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med* 186:155–161. <https://doi.org/10.1164/rccm.201201-0034OC>
39. Lisspers K, Larsson K, Johansson G, et al (2018) Economic burden of COPD in a Swedish cohort: the ARCTIC study. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* Volume 13:275–285. <https://doi.org/10.2147/COPD.S149633>
40. Mannino DM, Higuchi K, Yu TC, et al (2015) Economic burden of COPD in the presence of comorbidities. *Chest* 148:138–150. <https://doi.org/10.1378/chest.14-2434>
41. Menzin J, Boulanger L, Marton J, et al (2008) The economic burden of chronic obstructive pulmonary disease (COPD) in a U.S. Medicare population. *Respir Med* 102:1248–1256. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2008.04.009>
42. Sullivan SD, Ramsey SD, Lee TA (2000) The economic burden of COPD. *Chest* 117:5S-9S. https://doi.org/10.1378/chest.117.2_suppl.5S
43. GOLD (2021) Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease
44. Effing TW, Vercoulen JH, Bourbeau J, et al (2016) Definition of a COPD self-management intervention: International expert group consensus. *European Respiratory Journal* 48:46–54. <https://doi.org/10.1183/13993003.00025-2016>
45. Zwerink M, Brusse-Keizer M, van der Valk PD, et al (2014) Self management for patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 119. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD002990.pub3>
46. van Boven JFM, Chavannes NH, van der Molen T, et al (2014) Clinical and economic impact of non-adherence in COPD: A systematic review. *Respir Med* 108:103–113. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2013.08.044>
47. OECD (2019) Health at a glance 2019: OECD indicators. OECD Publishing, Paris
48. Lungenliga Schweiz (2022) COPD nachweisen - Diagnose. <https://www.lungenliga.ch/de/krankheiten-ihre-folgen/copd/diagnose.html>
49. Gemeinsamer Bundesausschuss (2021) Richtlinie des Gemeinsamen Bundesausschusses zur Zusammenführung der Anforderungen an strukturierte Behandlungsprogramme nach § 137f Absatz 2 SGB V
50. Demeyer H, Louvaris Z, Frei A, et al (2017) Physical activity is increased by a 12-week semiautomated telecoaching programme in patients with COPD: a multicentre randomised controlled trial. *Thorax* 72:415–423. <https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2016-209026>

51. Rosenbaum PR, Rubin DB (1983) The central role of the propensity score in observational studies for causal effects. *Biometrika* 70:41–55
52. Ecoplan (2022) *Wirksamkeit der Prämienverbilligung - Monitoring 2020*. Bern
53. Bosworth HB, Granger BB, Mendys P, et al (2011) Medication adherence: A call for action. *Am Heart J* 162:412–424. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2011.06.007>
54. Faxon DP, Creager MA, Smith SC, et al (2004) Atherosclerotic Vascular Disease Conference: Atherosclerotic Vascular Disease Conference proceeding for healthcare professionals from a special writing group of the American Heart Association. *Circulation* 109:2595–2604. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000128517.52533.DB>
55. Benjamin EJ, Virani SS, Callaway CW, et al (2018) Heart Disease and Stroke Statistics—2018 Update: A Report From the American Heart Association. *Circulation* 137:e67e492. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000558>
56. Knuuti J, Ballo H, Juarez-Orozco LE, et al (2018) The performance of non-invasive tests to rule-in and rule-out significant coronary artery stenosis in patients with stable angina: a meta-analysis focused on post-test disease probability. *Eur Heart J* 39:3322–3330. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy267>
57. Acampa W, Gaemperli O, Gimelli A, et al (2015) Role of risk stratification by SPECT, PET, and hybrid imaging in guiding management of stable patients with ischaemic heart disease: expert panel of the EANM cardiovascular committee and EACVI. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 16:1289–1298. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jev093>
58. Clerc OF, Kaufmann BP, Possner M, et al (2017) Long-term prognostic performance of low-dose coronary computed tomography angiography with prospective electrocardiogram triggering. *Eur Radiol* 27:4650–4660. <https://doi.org/10.1007/s00330-017-4849-1>
59. Diamond GA, Forrester JS (1979) Analysis of Probability as an Aid in the Clinical Diagnosis of Coronary-Artery Disease. *New England Journal of Medicine* 300:1350–1358. <https://doi.org/10.1056/NEJM197906143002402>
60. Pryor DB (1993) Value of the History and Physical in Identifying Patients at Increased Risk for Coronary Artery Disease. *Ann Intern Med* 118:81. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-118-2-199301150-00001>
61. Genders TSS, Steyerberg EW, Alkadhi H, et al (2011) A clinical prediction rule for the diagnosis of coronary artery disease: validation, updating, and extension. *Eur Heart J* 32:1316–1330. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehr014>
62. Genders TSS, Steyerberg EW, Hunink MGM, et al (2012) Prediction model to estimate presence of coronary artery disease: retrospective pooled analysis of existing cohorts. *BMJ* 344:e3485–e3485. <https://doi.org/10.1136/bmj.e3485>
63. Athey S, Wager S (2021) Policy Learning With Observational Data. *Econometrica* 89:133–161. <https://doi.org/10.3982/ECTA15732>
64. Robins JM, Rotnitzky A, Zhao LP (1994) Estimation of regression coefficients when some regressors are not always observed. *Journal of the American Statistical Association* 89:846–866
65. Athey S, Tibshirani J, Wager S (2019) Generalized random forests. *The Annals of Statistics* 47:1148–1178. <https://doi.org/10.1214/18-AOS1709>
66. Breiman L (2001) Random Forests. *Mach Learn* 45:5–32

67. BAG (2022) Gesundheitspolitische Strategie des Bundesrates 2020-2030.
<https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/strategie-und-politik/gesundheit-2030/gesundheitspolitische-strategie-2030.html>
68. Sverdrup E, Kanodia A, Zhou Z, et al (2020) policytree: Policy learning via doubly robust empirical welfare maximization over trees. *J Open Source Softw* 5:2232.
<https://doi.org/10.21105/joss.02232>