

Aus dem Institut für Medizinische Informatik  
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Auswirkungen der Einhaltung eines Qualitätsindikators in der  
Intensivmedizin auf das ökonomische Fallergebnis – eine  
Sekundärdaten-gestützte Analyse.

-

Effects of adherence to a quality indicator in intensive care on  
the economic outcome per case – a secondary data based  
analysis.

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor rerum medicinalium (Dr. rer. medic.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Alexander Zuber, M.Sc. (WU)

aus München

Datum der Promotion: 25.06.2023

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>EINLEITENDE ANMERKUNG</b>	<b>I</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>II</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b>	<b>III</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>III</b>
<b>ABSTRAKT (DEUTSCH)</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRAKT (ENGLISCH)</b>	<b>3</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>5</b>
<b>2 Methodik</b>	<b>9</b>
<b>3 Ergebnisse</b>	<b>14</b>
<b>4 Diskussion</b>	<b>22</b>
<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>30</b>
<b>EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG</b>	<b>36</b>
<b>ANTEILSERKLÄRUNG AN DEN ERFOLGTEN PUBLIKATIONEN</b>	<b>37</b>
<b>PUBLIKATIONSSCHRIFT, ORIGINALBEITRAG ETC.</b>	<b>38</b>
<b>LEBENS LAUF</b>	<b>51</b>
<b>VOLLSTÄNDIGE PUBLIKATIONS LISTE</b>	<b>52</b>
<b>DANKSAGUNG</b>	<b>53</b>

## **Einleitende Anmerkung**

Teilergebnisse der vorliegenden Arbeit in Form von Tabellen und Abbildungen wurden veröffentlicht in:

Zuber A, Kumpf O, Spies C, Höft M, Deffland M, Ahlborn R, Kruppa J, Jochem R, Balzer F. Does adherence to a quality indicator regarding early weaning from invasive ventilation improve economic outcome? A single-centre retrospective study. *BMJ Open* 2022;12:e045327. doi:10.1136/bmjopen-2020-045327

Die Verwendung der Abbildung 1 und Tabellen 1, 2 und 3 erfolgt mit freundlicher Genehmigung von BMJ Open (Nichtkommerzielle Verwendung nach CC BY-NC Lizenz).

Der Manteltext der vorliegenden Arbeit stellt keine Abschrift der vorgenannten Publikation dar. Der Manteltext skizziert vielmehr den aktuellen Forschungsgegenstand und die Bedeutung der vorliegenden Arbeit für das engere Fachgebiet. Insbesondere die Diskussion widmet sich vertiefend den neuen Erkenntnissen sowie weiterführenden wissenschaftlichen Fragestellungen.

## Abkürzungsverzeichnis

APACHE II	Acute Physiology and Chronic Health Evaluation
ARDS	Acute Respiratory Distress Syndrome (Akutes Lungenversagen)
CHEERS	Consolidated Health Economic Evaluation Reporting Standards
CI	Confidence Interval (Konfidenzintervall)
G-DRG	Diagnosis Related Groups (Deutsche Diagnose-bezogene Gruppen)
HAG	High-Adherence Group (Gruppe mit erfülltem Qualitätsindikator)
ITS	Intensivstation
IMC	Intermediate Care Station
InEK	Institut für das Entgeltsystem im Krankenhaus
IQR	Interquartilsabstand
KHEntgG	Krankenhausentgeltgesetz
KHG	Krankenhausfinanzierungsgesetz
KPI	Key Performance Indikator
LAG	Low-Adherence Group (Gruppe mit nicht-erfülltem Qualitätsindikator)
VWD	Verweildauer
OPS	Operationen- und Prozeduren-Schlüssel
PDMS	Patientendaten Management System
PICS	Post-Intensive-Care-Syndrom
QI	Qualitätsindikator
QM	Qualitätsmanagement
SAPS II	Simplified Acute Physiology Score
SBT	Spontaneous Breathing Trial (Spontanatmungsversuch)
SOFA	Sepsis-related organ failure assessment score
Studien-ITS	Studienintensivstation
VAP	Ventilator-assoziierte Pneumonie

## Tabellenverzeichnis

		Seite
Tab. 1	Patient:innendemographie und Ergebnisparameter im Vergleich der Qualitätsindikator-Gruppen	16
Tab. 2	Multiple lineare Regressionsanalyse hinsichtlich Erfüllung des Qualitätsindikators „Frühzeitige Entwöhnung von invasiver Beatmung“ (n=583)	17
Tab. 3	Finanzielle Demographie im Median im Zeitverlauf hinsichtlich Erfüllung des Qualitätsindikators „Frühzeitige Entwöhnung von invasiver Beatmung“ (n=583)	18
Tab. 4	Bivariate Korrelationskoeffizienten im Zeitverlauf hinsichtlich Erfüllung des Qualitätsindikators „Frühzeitige Entwöhnung von invasiver Beatmung“ (n=583)	20
Tab. 5	Zusammenfassende gruppierte Darstellung hinsichtlich Erfüllung des Qualitätsindikators „Frühzeitige Entwöhnung von invasiver Beatmung“ (n=583)	21

## Abbildungsverzeichnis

		Seite
Abb. 1	Ein- und Ausschlusskriterien	14
Abb. 2	Streudiagramme mit Anpassungslinie (2012-2017)	19

## **Abstrakt (deutsch)**

### **Einleitung**

In Deutschland wird zunehmend angestrebt, die Vergütung der stationären Krankenversorgung enger mit der Erfüllung von Qualitätskriterien zu verknüpfen, um Effektivität, Effizienz und Transparenz gewährleisten zu können. Qualitätsindikatoren können hierfür einen Lösungsansatz darstellen.

Das Ziel, der dieser Dissertation zugrundeliegenden Studie, ist die explorative Analyse welche Auswirkung die Erfüllung eines Qualitätsindikators auf das wirtschaftliche und klinische Ergebnis hat. In Zuber et al. [1] haben wir über die Auswirkung frühzeitiger Entwöhnung von maschineller Beatmung auf das ökonomische Fallergebnis berichtet. Zudem wurde der Qualitätsindikator in weiterführenden Analysen genauer untersucht.

### **Methoden**

In einer retrospektiven deskriptiven Studie wurden Routinedaten aus dem Zeitraum 2012 bis 2017 von maschinell beatmeten Patient:innen, die auf einer hochspezialisierten Intensivstation für Beatmungsentwöhnung lagen, betrachtet. Beatmungsentwöhnung setzt die Einhaltung eines Weaning-Protokolls voraus. Unter Berücksichtigung der täglichen Einhaltung wurde der Qualitätsindikator zur frühzeitigen Entwöhnung von der invasiven Beatmung berechnet (Schwellenwert  $\geq 65\%$ ), und anschließend zwei Gruppen gebildet: Eine Gruppe, die den Schwellenwert des Qualitätsindikators erfüllte, indem das Weaning-Protokoll eingehalten wurde (HAG) und eine Gruppe, die diesem Kriterium nicht entsprach (LAG). Daraufhin wurden Regressions- und Verlaufsanalysen zur Identifizierung und Bewertung der Prädiktoren durchgeführt.

### **Ergebnisse**

Es wurden 583 Patient:innen in die Studie eingeschlossen. Die Fallgruppe, die die Kriterien des Qualitätsindikators erfüllte ( $n=205$ ), konnte durch geringere Fallkosten bessere ökonomische Ergebnisse im Median um 697 Euro im Rahmen einer univariaten Analyse erzielen ( $P < 0.001$ ). Sie wies zudem bessere klinische Resultate auf, indem die Beatmungsstunden im Median um 87 Stunden kürzer waren und die Mortalität um 48 Fälle geringer ( $P < 0.001$ ) im Vergleich zu Patient:innen, die den Qualitätsindikator nicht erfüllten ( $n=378$ ).

In der multivariablen Analyse waren Verweildauer auf der Intensivstation (-529 Euro) und im Gesamtaufenthalt (-143 Euro) signifikant negativ mit dem wirtschaftlichen Ergebnis assoziiert ( $P < 0.001$ ). Zudem beeinflusste ein klinischer Parameter das ökonomische Ergebnis signifikant: So steigerte der täglich erhobene SOFA-Score das Fallergebnis um 1.608 Euro je Punkt ( $P < 0.001$ ). Es konnte ein Mengeneffekt – unabhängig der erbrachten Case-Mix-Punkte – beobachtet werden.

## Fazit

Die Erfüllung eines Qualitätsindikators ist mit einer Verbesserung der ökonomischen und klinischen Ergebnisse verbunden, jedoch nicht der ausschlaggebende Prädiktor [1]. Die Einhaltung eines Prozessindikators in der Intensivmedizin bietet Anreize für die Erzielung verbesserter Behandlungsergebnisse. Zukünftige Forschungsfragen sollten die Weiterentwicklung der Verzahnung von Qualitätsindikatoren und der Vergütung und Transparenz der Krankenversorgung untersuchen.

## Abstrakt (englisch)

DOI: [10.1136/bmjopen-2020-045327](https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-045327)

### Introduction

In Germany, the reimbursement of inpatient health care is increasingly linked to the fulfillment of selected quality criteria. In order to enable and guarantee effectiveness, efficiency and transparency, integrated control mechanisms are needed. Quality indicators may become a solution.

The aim of the study on which this dissertation is based is the exploratory analysis of the impact that the fulfillment of a quality indicator has on the economic and clinical result. In Zuber et al. [1] we reported our findings on effects of early weaning on the economic outcome on case level. In addition, we further investigated the impact of the quality indicator.

### Methods

In a retrospective descriptive study, routine data of mechanically ventilated patients who were in a highly specialized intensive care unit for ventilation weaning between 2012 and 2017 was considered. Weaning from ventilation requires adherence to a weaning protocol. Taking into account the daily compliance of the protocol, a quality indicator for the adherence to weaning from invasive ventilation was calculated (threshold value  $\geq 65\%$ ), and then two groups were formed. A HAG, fulfilling the criteria of the quality indicator and a LAG, not fulfilling the quality adherence. In addition, regression and descriptive analyses were performed to identify and evaluate the predictive variables.

### Results

583 patients were included in the study. The group that fulfilled the criteria of the quality indicator - by adhering to the weaning protocol - ( $n = 205$ ) was able to achieve better median economic results of 697 Euro per case in a univariate analysis as costs per case were lower ( $P < 0.001$ ). This group also showed better clinical results as ventilation hours were shorter by 87 hours in median and the mortality rate was 48 cases lower ( $P < 0.001$ ) compared to patients with low adherence to the quality indicator ( $n = 378$ ).

In the multiple analysis, length of stay in the intensive care unit (-529 Euro) and in the hospital (-143 Euro) were significantly associated with the economic result ( $P < 0.001$ ). In



addition, the clinical parameter of the mean daily measured SOFA score was significant by adding 1.608 Euro to the economic result ( $P < 0.001$ ). In addition, a volume effect could be observed as higher profits were independent of case mix points achieved.

## Conclusion

The adherence of a quality indicator is associated with slight improvements in the economic and clinical results, but it is not the decisive factor [1]. Adherence to a process indicator in intensive care medicine provides incentives for improved treatment outcomes. Future research questions should examine the further development of the interlinking of quality indicators, reimbursement and transparency of patient care.

## 1 Einleitung

Der Sachverständigenrat Gesundheit zur Begutachtung der Entwicklung im Gesundheitswesen hat im Jahr 2018 in einer Publikation mit dem Titel „Bedarfsgerechte Steuerung der Gesundheitsversorgung“ unter anderem die Fehlanreize des Diagnosis-Related-Group (DRG)-Systems, einem pauschalierenden Vergütungssystem (Fee-for-Service), angemahnt. So erläutert der Rat, dass insbesondere Universitätskliniken und Maximalversorger von Fehlanreizen der Über- oder Unterversorgung betroffen sind. Deshalb bedarf es weiterhin Maßnahmen zur Weiterentwicklung des Entgeltsystems [2].

Mit Inkrafttreten des MDK-Reformgesetzes 2020 sind deutsche Krankenhäuser dazu verpflichtet, Strukturmerkmale zu erfüllen, bevor sie mittels eines OPS-Codes abgerechnet werden können [3]. Beispiele für betroffene Prozeduren sind die Intensivmedizinische Komplexbehandlung oder die Beatmungsentwöhnung bei maschineller Beatmung (Weaning). Regelmäßige Strukturprüfungen stellen eine Möglichkeit der Qualitätssicherung dar, weil sie die Voraussetzungen bereits vor der Leistungserbringung prüfen [4]. Sie verknüpfen entsprechende Qualitätskriterien mit der Vergütungssystematik im G-DRG-System. Das sieht auch eine Reform des Krankenhausstrukturgesetzes vor, indem Indikatoren wie Mindestmengen zur Steuerung der medizinischen Versorgung eingesetzt werden. Ohne deren Erfüllung besteht kein Vergütungsanspruch [5].

Eine hohe Qualität in der medizinischen Behandlung erfordert zudem ein strukturiertes Qualitätsmanagement unter Verwendung geeigneter Hilfsmittel, um die Behandlungsqualität quantifizierbar, transparent und bewertbar zu machen. Ein Trend, der seit Jahren Einzug im deutschen Gesundheitssystem hält [4,6].

Aufgrund der aufwendigen Qualitätsüberwachung von Strukturmerkmalen, eignen sich besonders standardisierte Indikatoren als Hilfsmittel im Bewertungsprozess [7]. Qualitätsindikatoren (QI), insbesondere vom Typ Prozessindikatoren, können zentrale Aspekte der Behandlungsqualität effizient abbilden und eignen sich gut, um standardisierte Prozesse auch vergleichbar zu machen [6,8]. Sie sind mittlerweile ein etablierter Bestandteil im Qualitätsmanagement deutscher Krankenhäuser [9]. Gerade die Intensivmedizin eignet sich besonders für Qualitätsprozessprüfungen, da die Datenlage sehr umfassend und der Standardisierungsgrad der Prozesse sehr hoch sind [6], obwohl die Behandlungsstandards weltweit sehr unterschiedlich sind [10].

Mit über 2,1 Millionen intensivpflichtigen Behandlungsfällen pro Jahr hat Deutschland eine der höchsten intensivmedizinischen Behandlungsdichten in entwickelten Ländern [11]. Gleichzeitig stellt die Intensivmedizin in Industriestaaten, unabhängig der Unterschiede der Gesundheitssysteme, seit Jahrzehnten einen der komplexeren Fachbereiche und größten Kostenfaktoren im Krankenhaus dar. Dies stellten sowohl ältere [12,13], als auch jüngere Publikationen [14,15] fest. Die Arbeit von Kaier et al. identifizierte hierbei vor allem die maschinelle Beatmung als primären Kostentreiber im Rahmen der intensivpflichtigen Behandlung. Zwar wurde die Analyse unabhängig der entsprechenden Rückvergütung der Krankenkassen an das Krankenhaus durchgeführt, dennoch konnten nach der Initiierung einer maschinellen Beatmung je Fall signifikante Mehrkosten zugeordnet werden [16]. Überwiegend ist es hierbei die personelle Ausstattung, die je nach Spezialisierung einer Einrichtung den größten Kostenblock bzw. Kostenart darstellt [17]. Das DRG-System ermöglicht dem Krankenhausmanagement eine detaillierte und standardisierte Budgetierung- und Managementgrundlage, um Erlöse und Kosten in einer komplexen Organisation zu reglementieren. DRGs werden jährlich aktualisiert und haben einen unmittelbaren Einfluss auf Management-Entscheidungen, weshalb eine Vollkostenrechnung auf Patient:innenebene im Krankenhaus für eine bessere ökonomische Entscheidungsgrundlage angestrebt wird [18]. Die gute Vergleichbarkeit, die mittels der Fallpauschalen erzielt werden kann, erleichterte unsere Forschungsarbeit mit Routinedaten.

Obwohl DRGs mit intensivmedizinischer Komplexbehandlung oder langer Beatmungsdauer im G-DRG-System relativ hoch vergütet werden, besteht klinisch die Notwendigkeit die maschinelle Beatmung so früh wie möglich zu beenden, da eine längere Beatmungszeit mit klinischen Risiken wie Ventilator-assoziierte Pneumonie (VAP) oder Post-Intensive Care Syndrom (PICS) verbunden ist. Daher sollte sie frühestmöglich beendet werden [19,20]. Seit 2010 entwickelt eine Expertengruppe der Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin e.V. (DIVI) QI, die die konsentrierte Strategie zur Verbesserung der intensivmedizinischen Behandlungsqualität widerspiegeln. Sie enthält die folgenden zehn Qualitätsindikatoren:

- I. Tägliche multiprofessionelle und interdisziplinäre klinische Visite mit Dokumentation von Tageszielen
- II. Management von Sedierung, Analgesie und Delir

- III. Patientenadaptierte Beatmung
- IV. Frühzeitige Entwöhnung von einer invasiven Beatmung (Weaning)
- V. Überwachung der Maßnahmen zur Infektionsprävention
- VI. Maßnahmen zum Infektionsmanagement
- VII. Frühe enterale Ernährung
- VIII. Dokumentation einer strukturierten Patienten- und Angehörigenkommunikation
- IX. Frühmobilisation
- X. Leitung der Intensivstation

In dieser Studie werden der Qualitätsindikator „Frühzeitige Entwöhnung von einer invasiven Beatmung (Weaning)“ und dessen klinische und ökonomische Effekte analysiert. QI IV repräsentiert hierbei einen Prozessindikator [4,8,9].

Qualitätsindikatoren in der Intensivmedizin lassen sich in drei verschiedene Typen kategorisieren: Struktur-, Prozess- und Ergebnisindikatoren [7]. Strukturindikatoren reflektieren die Differenz zwischen dem IST (vorhanden) und dem SOLL-Zustand (gefordert). Prozessindikatoren messen die operativen Abweichungen von Anforderungen Patient:innen-naher Behandlungsabläufe. Ergebnisindikatoren fokussieren sich auf den Vergleich erzielter Resultate. Alle drei Typen ermöglichen die Abbildung von Qualität aus unterschiedlichen Perspektiven.

Indikatoren zur Messung und Abbildung von Qualität können prinzipiell auch negativen Einfluss auf die Krankenversorgung haben. Eine Verknüpfung von Ergebnisindikatoren wie zum Beispiel der 30-Tage Wiederaufnahmerate an die Vergütung birgt den Reiz das Aufnahme- und Entlassmanagement primär aus ökonomischer anstelle von klinischer Perspektive zu beeinflussen. Zudem werden Ergebnisindikatoren stark von Prozessindikatoren beeinflusst, die eine regelmäßige Aktualisierung auf klinische Alltagstauglichkeit erfordern. Es bedarf also einer detaillierteren und regelmäßigen Evaluation, ob und welche Qualitätsindikatoren sich auch für eine leistungsorientierte Vergütung (Pay-for-Performance) qualifizieren [21]. Den größten Nutzen für Patient:innen, also das Behandlungsergebnis, haben prozessbasierte Indikatoren [22]. Diese Arbeit konzentriert sich auf den intensivmedizinischen Prozessindikator (QI IV), der sich mit der Beatmungsentwöhnung bei maschineller Beatmung beschäftigt. Der QI entspricht den evidenz- und konsensbasierten Leitlinienempfehlungen [23].

In der dieser Dissertation zugrunde liegenden Studie wurden daher anhand von Routinedaten eines Referenzzentrums für Akutes Lungenversagen (ARDS) an einem großen universitären Maximalversorger in Deutschland, der Charité – Universitätsmedizin Berlin, die ökonomischen Effekte der frühzeitigen Entwöhnung invasiv beatmeter Patient:innen beurteilt. Die Analyse basiert auf dem primären Endpunkt der Wirtschaftlichkeit je Fall. Abhängig vom QI wird das ökonomische Ergebnis ermittelt. Sekundäre Endpunkte sind klinische Parameter wie Beatmungsdauer, Verweildauer und Schweregrad.

## 2 Methodik

Die folgenden Abschnitte über Methodik, Ergebnisse und Diskussion fassen die zentralen Ergebnisse der Publikation von Zuber et al. [1] zusammen. Zudem werden zwei weiterführende Analysen dargestellt und diskutiert, die nicht Teil der Publikation waren.

### *Studiendesign*

Administrative Routinedaten eines Krankenhauses bestehen im Wesentlichen aus soziodemographischen und Abrechnungsdaten, welche primär für Zwecke der Kostenerstattung mit den Krankenkassen nach §21 Krankenhausentgeltgesetz (KHEntgG) erhoben werden. Dazu gibt es im Bereich der Routinedaten auch Abteilungsspezifische computerisierte Informationssysteme, die den Krankenversorgungsalltag in Echtzeit unterstützen und deutlich detailliertere medizinische Dokumentation und Rückschlüsse zulassen. Zum Beispiel das Patientendaten Management System im Bereich der Intensivmedizin [24]. Die Nutzung von Routinedaten zur Versorgungsforschung stellt in den letzten Jahren einen zunehmend bedeutenden Beitrag zur Wissenschaft dar [25,26]. Da Routinedaten im Krankenhaus sehr umfangreich sind und zahlreiche Parameter erfassen, die sowohl medizinische als auch organisatorische Informationen beinhalten, eignen sie sich sehr gut für skalierbare Forschungsansätze mit Sekundärdaten [27].

Die dieser Dissertation zugrundeliegende Studie als auch die weiterführenden Analysen nutzen sowohl administrative als auch medizinische Routinedaten der Charité – Universitätsmedizin Berlin. Es wurde eine umfangreiche Stichprobe von invasiv-beatmeten Patient:innen erhoben und einer Sekundärdatenanalyse unterzogen. Die vorliegende Stichprobe umfasst volljährige Patient:innen, die zwischen dem 1. Januar 2012 und dem 31. Dezember 2017 auf der Studienintensivstation (Studien-ITS) stationär aufgenommen wurden.

Ausschlusskriterien waren eine Beatmungsdauer von unter 95 Stunden zur Berücksichtigung des Mindestschwellenwertes der anästhesiologischen DRGs zur maschinellen Beatmung, nicht-invasive Beatmung, Therapiebegrenzung, Aufnahme vor oder Entlassung nach dem Untersuchungszeitraum, unvollständige Patientenakten oder Unmöglichkeit einer Beatmungsentwöhnung.

Die Charité – Universitätsmedizin Berlin ist ein universitärer Maximalversorger in Deutschland. Jährlich werden insgesamt etwa 155.000 stationäre Patient:innen

behandelt. Sie hat einen Schwerpunkt in der Intensivmedizin und versorgt mitunter den gesamten Nordosten Deutschlands [28].

### *Variablen*

Der primäre Studienendpunkt war das ökonomische Ergebnis je Fall in Euro für den betrachteten Zeitraum. Für die Berechnung wurden sämtliche fallbezogene Erlöse den zugeordneten Kosten gegenübergestellt. Zudem wurden das klinische Ergebnis und die Adhärenz der QI-Erfüllung der frühzeitigen Entwöhnung in der Kohorte gesamt und für die einzelnen Jahre bewertet.

Im Rahmen des Entwöhnungsverfahrens (Weaning und andere Maßnahmen zur Vermeidung von Ventilator-assoziierten Pneumonien) bildet der QI ab, mit welcher Frequenz die täglichen Entwöhnungsmaßnahmen durchgeführt wurden bzw. dokumentiert sind. Für die Durchführung einer Weaning-Aktivität muss die oder der Patient:in zunächst medizinisch dafür qualifiziert sein. Hierfür existiert der PDMS-Status „Ready to wean“. Dieser Status wird systemisch vergeben, sobald die primäre Erkrankung eine Besserung aufweist. Ab diesem Zeitpunkt im klinischen Verlauf bis zur Entlassung von der Intensivstation greift das Weaning-Protokoll und wird für die tägliche QI-Adhärenz herangezogen, um den Prozessindikator in seiner Erfüllung beurteilen zu können.

In der vorliegenden Studie wurde zur Definition der QI-Erfüllung ein Schwellenwert von 65% verwendet. Nachtigall et al. setzten in ihrer Arbeit zur SOP-Adhärenz einen Schwellenwert von 70% ein [20]. Nach einer Expertendiskussion wurde dieser Wert um eine Toleranzgrenze von 5% erweitert, um etwaige Dokumentationslücken im Rahmen der komplexen Patient:innen-nahen Arbeitsumgebung auszugleichen. Einen einheitlichen evidenzbasierten Schwellenwert für die Erfüllung dieses QI gibt es noch nicht. Die Analysen wurden somit unter Berücksichtigung von zwei Gruppen durchgeführt, einer hohen Adhärenz Gruppe (HAG), die den QI mit gleich oder mehr als 65% erfüllt und einer niedrigen Adhärenz Gruppe (LAG), die weniger als 65% Erfüllung aufweist.

Da es sich hierbei um die erste detaillierte Betrachtung des gewählten QI-Indikators in Deutschland handelt, wurden deskriptive Analysemethoden eingesetzt. Das ökonomische Ergebnis wurde anhand der folgenden unabhängigen Variablen bewertet: 1. Alter (ohne Altersgruppen), 2. Geschlecht (männlich / weiblich), 3. Schweregrad bei

Aufnahme (Scores: APACHE II, SAPS II, SOFA), 4. Schweregrad im Verlauf (Score: Durchschnittlicher SOFA-Score), 5. Aufnahmegrund auf der Intensivstation (Notfall, Notfall-OP, Medizinisch), 6. Beatmungsdauer auf der Intensivstation, 7. Beatmungsdauer im Krankenhaus, 8. Anzahl der Spontanatmungsversuche, 9. Anzahl der Reintubationen, 10. Entlassungsart (andere ITS, IMC, Reha, Tod), 11. Verweildauer auf der ITS und 12. Verweildauer im Krankenhaus. Intensivmedizinische Verlaufsdaten wurden mittels strukturierter Abfragen aus dem Computer Organized Patient Report Assistant (COPRA; COPRA System GmbH, Berlin) gezogen. Dieses System verhindert nachträgliche Änderungen in der Dokumentation nach der Entlassung von der Intensivstation [19,24].

Die Patientendaten wurden pseudonymisiert aus den Routinedaten zweier Systeme gewonnen. Zusammengeführt wurden hierfür detaillierte medizinische Daten aus dem Patientendaten Management System (PDMS) und detaillierte Kostendaten aus dem Krankenhaus-Informationssystem (KIS). Jährlich ermittelt eine detaillierte Fallkostenkalkulation den entsprechenden Ressourcenverbrauch auf Fallebene. Hierbei werden auch Gemeinkosten wie die medizinische Infrastruktur auf einzelne Kostenträger (Behandlungsfälle) systematisch heruntergerechnet. Die Konsistenz der Daten zwischen den verschiedenen Jahren wurde überprüft. Der Analyse lag eine Stichprobe von 583 Patient:innen zugrunde, die die Einschlusskriterien erfüllten. Für die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen QI-Erfüllung und ökonomischen Endergebnissen auf Fallebene wurden die zwei Gruppen sowohl gegenübergestellt als auch kumulativ analysiert.

### *Statistische Analysen*

Die Auswertung der Daten erfolgte mit dem statistischen Software Programm SPSS. Sämtliche Daten wurden unter Berücksichtigung der Consolidated Health Economic Evaluation Reporting Standards (CHEERS) analysiert [29].

Kategoriale Variablen wurden in Prozentanteilen dargestellt, kontinuierliche Variablen als Median mit Interquartilsabstand (IQR). Die Charakteristika der Studienpopulation werden deskriptiv, getrennt nach dem Befragungsintervall für die zwei Gruppen präsentiert. Im Rahmen der deskriptiven Auswertung wurde neben dem T-Test für unabhängige Stichproben auch der Chi-Quadrat-Test verwendet. Darüber hinaus wurde als komplexeres Modell eine multiple lineare Regression als statistisches Verfahren eingesetzt. Das Ziel war die explorative Darstellung der Ausprägung der unabhängigen



Prädiktoren. Bei den vorliegenden Daten ist kein Hinweis auf eine Verletzung der Homoskedastizitätsannahme vorhanden. Das statistische Signifikanzniveau wurde auf  $P < 0,05$  (zweiseitig) festgelegt (95% Konfidenzintervall). Der Zusammenhang zwischen Variablen kann grundsätzlich durch die Anwendung der Regression wiedergegeben werden. Die lineare Regression ist dabei eine Methode der multiplen Regression und wird in der Versorgungsforschung unter Verwendung von Routinedaten regelmäßig eingesetzt [30]. Routinedaten eignen sich insbesondere für prädiktive Forschungsfragen im Bereich der Intensivstation [31].

### *Weiterführende Analysen*

Unsere Analyse zu den Effektgrößen der Prädiktoren erlaubt es uns nicht, eine Bewertung nach prozentualer Erfüllung abzuleiten. Um auszuschließen, dass die demografische Zusammensetzung unserer Teilnehmer:innenstichprobe die externe Validität unserer Ergebnisse zur Adhärenz des Qualitätsindikators beeinflusst, haben wir eine grafische Korrelationsanalyse (Abb. 2), eine numerische bivariate Korrelationsanalyse nach Jahren (Tab. 4) und eine deskriptive Übersichtstabelle zur Stratifikation nach Erfüllungsgrad (Tab. 5) durchgeführt. Die Korrelationsmatrizes zeigen die Richtung eines Zusammenhangs, welcher anhand der Korrelationskoeffizienten in Tabelle 4 genauer untersucht wird. Dort wurden zusätzlich die Parameter, die in der Regressionsanalyse signifikant waren, analysiert. Weiterhin wurde der quadrierte Korrelationskoeffizient nach Pearson berechnet. Die Korrelation zwischen Qualität und den klinischen und ökonomischen Parametern sollte berechnet werden. Hypothese war, dass eine gute Korrelation zwischen Qualitätsindikator und finanziellem Ergebnis besteht. Um die Faktoren auf Multikollinearität zu untersuchen, wurde in einem weiteren Schritt eine Korrelationsmatrix erstellt. Die Korrelationsmatrix der fünf für das Modell wichtigsten Faktoren ist in Tabelle 4 dargestellt. Aufgrund der wenigen signifikanten Korrelationen wurde kein Bestimmtheitsmaß nach Spearman ( $r^2$ ) herangezogen. Stattdessen wurde eine stratifizierte Darstellung hinsichtlich der Erfüllung des Qualitätsindikators erstellt (Tab. 5).

In der weiterführenden Post-hoc-Analyse wurde die Kohorte in 11 Gruppen mit unterschiedlichen Qualitätsstufen unterteilt. Abgeleitet vom Schwellenwert der HAG zur LAG (65%), wurden elf Gruppen gebildet. Ausgewiesene Median-Werte dienen zur detaillierten Betrachtung der aus der Regression signifikanten Parameter. Die

vorgenommene Stratifizierung erlaubt es, eine detaillierte Bewertung der Zielparameter durchzuführen.

### 3 Ergebnisse

Der folgende Abschnitt fasst die Hauptergebnisse der Publikation Zuber et al. [1] zusammen. In einem nachstehenden Abschnitt werden zwei zusätzliche Analysen präsentiert, die nicht Teil der Publikation waren. Während die Publikation die aggregierten Auswirkungen über den gesamten Zeitraum analysiert, wurde der Qualitätsindikator in der Dissertation speziell hinsichtlich zeitlichen Verlaufs und Erfüllungsgrad untersucht.

#### Zusammenfassung der Ergebnisse der Publikation

Im untersuchten Zeitraum betrug die Zahl der Patient:innen auf der Studien-ITS 3.063. Im Rahmen der dieser Dissertation zugrunde liegenden Studie wurden 583 Patient:innen eingeschlossen und untersucht (s. Abbildung 1). 205 Patient:innen erfüllten den QI mit gleich oder mehr als 65% Adhärenz (HAG). Die übrigen 378 Patient:innen wurden der zweiten Gruppe (LAG) zugeordnet.

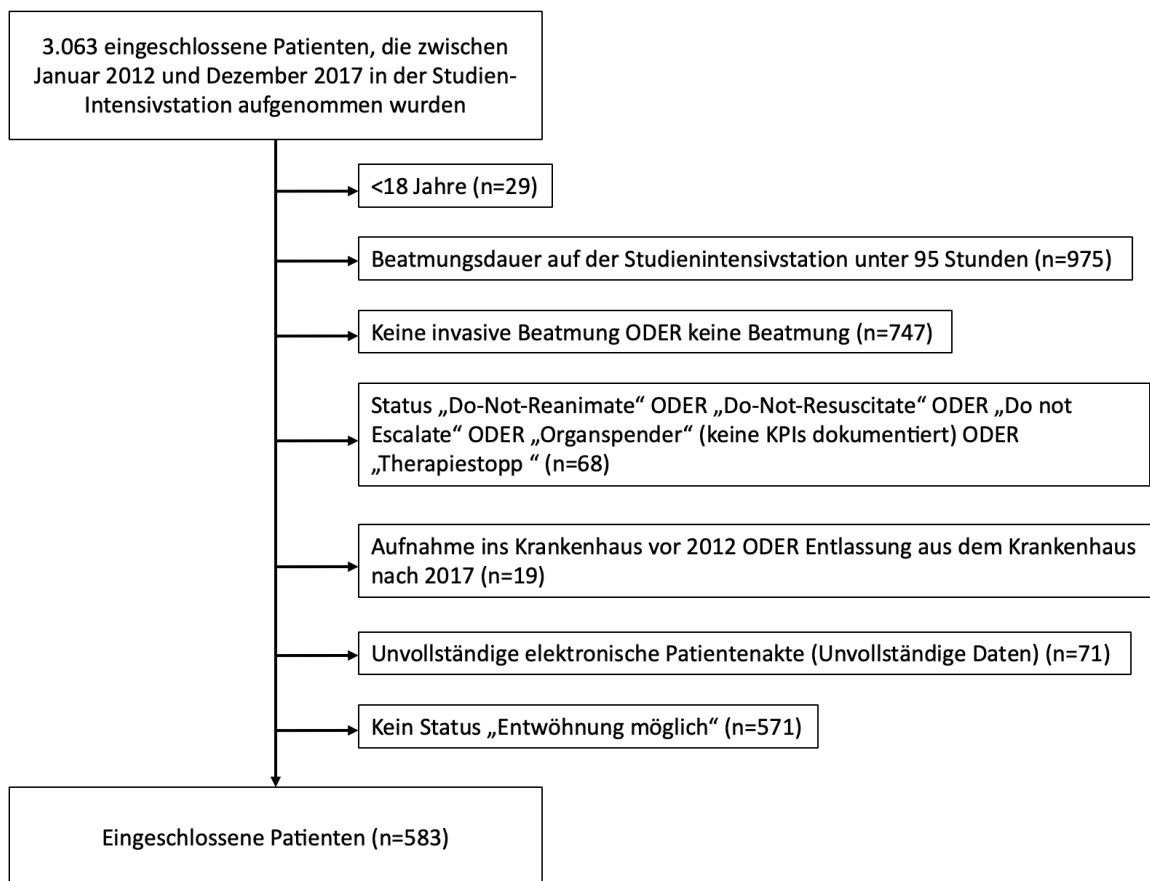


Abbildung 1 Ein- und Ausschlusskriterien, Quelle: Zuber et al. (2022) [1]

Die Demographie der Kohorte war in Bezug auf das Alter ausgewogen. Beim Geschlecht war die Anzahl der Männer (64,7%) deutlich größer als die Anzahl der Frauen (35,3%). Die Patient:innen waren im Median 57 Jahre alt. Die Aufnahme- Punktezahlwerte waren im Median sehr ausgeglichen. Beim täglich erhobenen SOFA-Score, der durch die Liegedauer im Durchschnitt berechnet wurde, konnte ein höherer Schweregrad bei der HAG-Gruppe festgestellt werden. Die meisten Patient:innen wurden aus medizinischen Gründen auf die Studien-ITS aufgenommen (290). Daneben wurden 232 Patient:innen aufgrund einer Notfalloperation und 61 nach einer elektiven Operation aufgenommen. Betrachtet man die relative Verteilung innerhalb der Gruppen, so ist diese auch sehr ausgewogen (Tab. 1).

Die Ergebnis-Parameter der untersuchten Population wiesen einen erheblichen Unterschied in der Beatmungsdauer auf der Studien-ITS aus. Während die HAG im Median 389 Stunden beatmet wurde, waren es in der LAG 476 Stunden. Etwas geringer fiel die relative Abweichung bei den Beatmungsstunden im gesamten Krankenhaus aus. So waren es im Median 535 Stunden bei der HAG und 597 Stunden bei der LAG. Sowohl die Anzahl der Spontanatmungsversuche als auch der Intubationen ergab keine relevanten Abweichungen im Median. Signifikant ausgeprägt war die Verteilung der Entlassungsart von der Studien-ITS. Während die Entlassungen auf andere Stationen relativ gleich verteilt waren, wies die HAG (2) weniger Todesfälle auf als die LAG (50) auf (Tab. 1).

Die Verweildauer der HAG-Patient:innen auf der Studien-ITS war im Median (16) signifikant kürzer als bei LAG-Patient:innen (21). Ebenfalls war die Verweildauer im Krankenhaus bei HAG-Patient:innen (26) kürzer als bei LAG-Patient:innen (36). Ein signifikanter Unterschied lässt sich beim primären Zielparameter beobachten. So beträgt der Median-Verlust in der LAG-Gruppe -3.696 Euro im Vergleich zu -1.030 Euro in der HAG-Gruppe (Tab. 1).

**Tab. I. Patient:innendemographie und Ergebnisparameter im Vergleich der Qualitätsindikator-Gruppen**

	<b>Gesamt</b>	<b>LAG</b> <b>QI &lt; 65%</b>	<b>HAG</b> <b>QI ≥ 65%</b>	<b>P-Wert</b>
	<b>n = 583</b>	<b>n = 378</b>	<b>n = 205</b>	
<b>Demographie</b>				
Alter [Jahre]	57 [40;70]	57 [40;70]	55 [42;69]	0,770
Geschlecht [m]	377 (64,7%)	233 (61,6%)	144 (70,2%)	0,038
ITS Scores bei Aufnahme				
· APACHE II	21 [14;27]	21 [15;27]	21 [14;27]	0,986
· SAPS II	47 [34;61]	47 [35;60]	47 [34;62]	0,860
· SOFA	9 [7;12]	9 [7;12]	9 [7;13]	0,526
Durchschn. SOFA	8,2 [6,6;10,3]	8 [6,5;10,1]	8,4 [6,8;10,7]	0,140
Aufnahmeart Studien-ITS				
· Medizinisch	290 (49,7%)	190 (50,3%)	100 (48,8%)	0,651
· Notfalloperation	232 (39,8%)	146 (38,6%)	86 (41,9%)	
· Elektive Operation	61 (10,5%)	42 (11,1%)	19 (9,3%)	
<b>Ergebnis-Parameter</b>				
Beatmungsdauer Studien-ITS [Std.]	431 [250;709]	476 [248;769]	389 [247;608]	<0,001
Beatmungsdauer Krankenhaus [Std.]	578 [338;924]	597 [310;992]	535 [361;821]	0,017
Anzahl Spontanatmungsversuche (SBTs)	1 [0;2]	1 [0;2]	1 [0;2]	0,456
Anzahl Intubationen	0 [0;1]	0 [0;1]	0 [0;1]	0,531
Entlassungsart Studien-ITS				
· ITS	161 (27,6%)	100 (26,5%)	61 (29,8%)	<0,001
· IMC / Normalstation	260 (44,6%)	172 (45,5%)	88 (42,9%)	
· Rehabilitation	110 (18,9%)	56 (14,8%)	54 (26,3%)	
· ITS-Mortalität	52 (8,9%)	50 (13,2%)	2 (1,0%)	
Verweildauer Studien-ITS [Tage]	19 [11;32]	21 [12;35]	16 [11;25]	<0,001
Verweildauer Krankenhaus [Tage]	33 [20;54]	36 [22;61]	26 [18;48]	0,001
Gewinn / Verlust [€]	-2.999 [-15.946;7.730]	-3.696 [-21.170;6.828]	-1.030 [-11.134;9.449]	<0,001

Quelle: Zuber et al. (2022) [1]

Im linearen Regressionsmodell hatte der QI als kontinuierlicher Prädiktor keinen signifikanten Einfluss auf das ökonomische Ergebnis. Allerdings zeigte sich, dass die Verweildauer auf der Studien-ITS, die Verweildauer im Krankenhaus, der durchschnittliche Schweregrad auf der Studien-ITS (SOFA-Score) und die Tageskosten signifikante Prädiktoren des Zielparameters sind. Die stärksten signifikanten Effekte (1.608 Euro) zeigte der durchschnittliche SOFA-Score auf die abhängige Variable je Punktwert [95%-CI: 892€; 2.323€]. Darüber hinaus reduzierte jeder Tag VWD auf der Studien-ITS das ökonomische Ergebnis um 529 Euro. Sowohl Alter, Geschlecht als die Anzahl der Reintubationen sind keine signifikanten Prädiktoren im Modell (Tab. 2).

**Tab. 2 - Multiple lineare Regressionsanalyse hinsichtlich Erfüllung des Qualitätsindikators „Frühzeitige Entwöhnung von invasiver Beatmung“ (n=583)**

Prädiktoren	B (95% CI)	SE	P-Wert
Alter [Jahre]	-16 (-119; 87)	52	0,765
Geschlecht [männlich]	1.139 (-2.628; 4.906)	1,918	0,553
Qualität <sup>1</sup> [%]	3.732 (-2.457; 9.920)	3,151	0,237
Verweildauer Studien-ITS [Tage]	-529 (-671; -387)	72	<0,001
Verweildauer Krankenhaus [Tage]	-143 (-213;-71)	36	<0,001
Reintubationen	-928 (-2.457; 602)	779	0,234
Durchschnitts-SOFA	1.608 (892; 2.323)	364	<0,001
Tageskosten [€]	-7.6 (-11; -4)	2	<0,001

<sup>1</sup> Qualität, Erfüllung des Qualitätsindikators "Frühzeitige Entwöhnung von invasiver Beatmung"

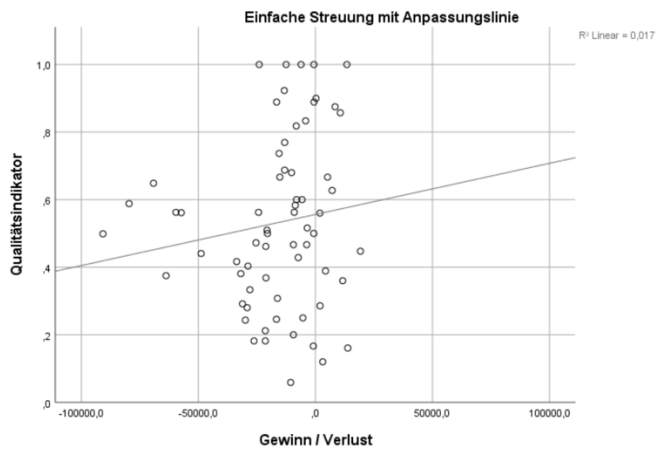
Quelle: Zuber et al. (2022) [1]

Bei Betrachtung der kumulierten Parameter im Zeitverlauf fällt auf, dass die Anzahl der eingeschlossenen Patient:innen mit einem im Median verbesserten ökonomischen Ergebnis zusammenhängt. Die Entwicklung der Patient:innenanzahl ist seit 2012 deutlich gestiegen. In den Jahren 2015 (n=114) und 2016 (n=125) konnten Gewinne erzielt werden. In allen anderen Jahren wurden Verluste gemacht (im Median). Im Zeitverlauf wird zudem deutlich, dass die Beatmungsdauer von Jahr zu Jahr gesunken ist. Der Case-Mix reduzierte sich parallel zu den Beatmungstunden und war im profitabelsten Jahr 2016 am niedrigsten (Tab 3.).

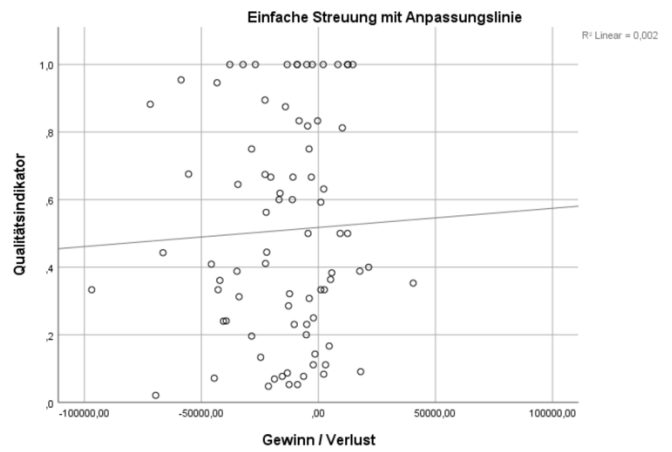
**Tab. 3 - Finanzielle Demographie im Median im Zeitverlauf hinsichtlich Erfüllung des Qualitätsindikators „Frühzeitige Entwöhnung von invasiver Beatmung“ (n=583)**

Variable	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Anzahl Patient:innen	65	82	100	114	125	97
Durchschnitts-SOFA	7,5 [5,6; 9,3]	8,3 [6,7; 11,0]	8,2 [6,5; 10,1]	8,1 [6,6; 9,6]	8,9 [7,0; 10,7]	8,3 [6,7; 11,0]
Beatmungsdauer [Std.]	660 [480; 977]	451 [230; 667]	400 [206; 673]	439 [261; 720]	374 [239; 602]	364 [210; 619]
Case-Mix	22,7 [19,1; 30,1]	18,0 [11,0; 23,9]	19,6 [11,6; 28,1]	18,8 [10,9; 23,8]	17,7 [11,6; 29,1]	23,2 [13,9; 32,2]
Gewinn / Verlust je Fall [€]	-12.517 [-24.848; -806]	-11.011 [-28.547; 999]	-945 [-14.141; 8.843]	390 [-11.340; 12.201]	3.439 [-7.494; 8.784]	-3.136 [-22.012; 8.284]

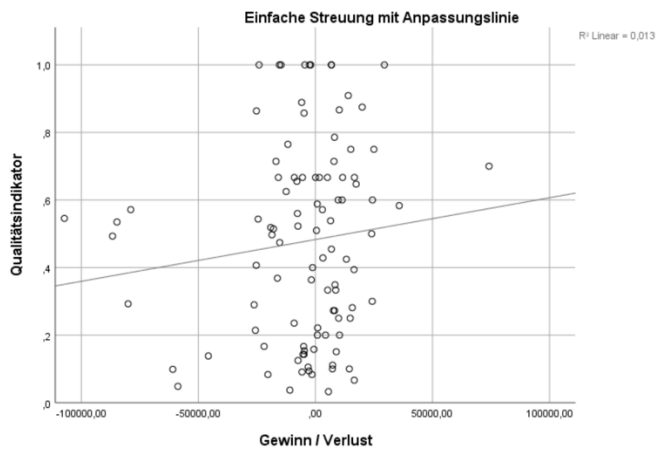
Quelle: Zuber et al. (2022) [1]



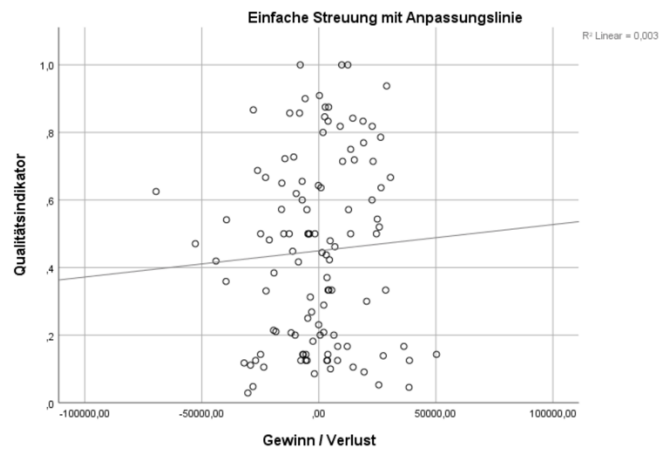
2012



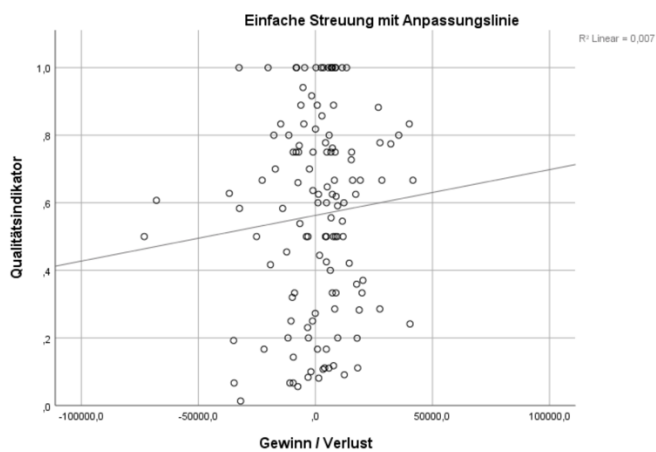
2013



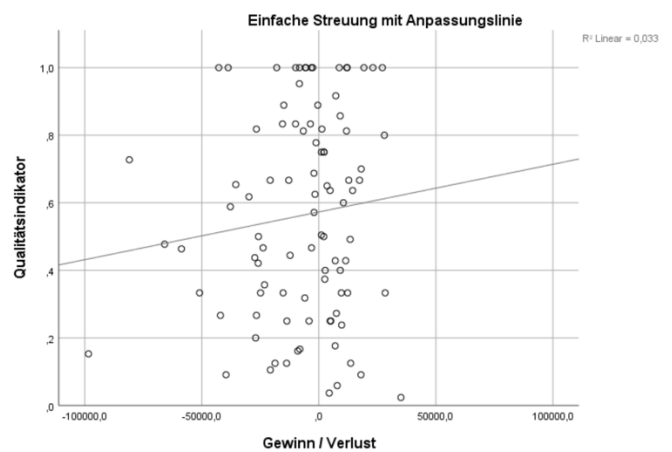
2014



2015



2016



2017

Abbildung 2 Streudiagramme mit Anpassungslinie (2012-2017)



## Ergebnisse der weiterführenden Analysen

In Streudiagramm-Matrizes (Abb. 2) konnten wir grafisch darlegen, dass in allen Jahren ein leicht positiver Trend zwischen der Qualität und dem ökonomischen Ergebnis zu erkennen ist. Auf einer festgesetzten Skala zeigte sich für alle Jahre ein relativ ähnliches Muster. In den Jahren 2012 und 2017 lassen sich die größten Effekte erkennen, bestätigt durch die numerische Korrelationsmatrix in Tabelle 4. Im Gegensatz dazu zeigten sich zwei signifikante Zusammenhänge des Qualitätsindikators in Tabelle 4. In 2012 gab es einen positiven signifikanten Zusammenhang um  $r=0,270$ ;  $P<0,05$  mit der Beatmungsdauer auf der Intensivstation. In 2013 konnte eine signifikant positive Korrelation ( $r=YY$ ;  $P<0,05$ ) zum durchschnittlichen SOFA-Score festgestellt werden. Insgesamt ergaben die Korrelationen in den Untergruppen ein einheitliches Bild.

**Tab 4. Bivariate Korrelationskoeffizienten im Zeitverlauf hinsichtlich Erfüllung des Qualitätsindikators „Frühzeitige Entwöhnung von invasiver Beatmung“ (n=583)**

		Gewinn / Verlust	Beatmungs- dauer	AvSOFA	Case-Mix	Tages- kosten	
Qualität in %	<b>2012</b>	Korrelation nach Pearson	0,132	0,270*	0,069	0,061	0,087
		Signifikanz (2-seitig)	0,294	0,030	0,583	0,631	0,491
		N	65	65	65	65	65
	<b>2013</b>	Korrelation nach Pearson	0,046	0,086	0,248*	0,28	0,184
		Signifikanz (2-seitig)	0,684	0,440	0,024	0,801	0,097
		N	82	82	82	82	82
	<b>2014</b>	Korrelation nach Pearson	0,112	-0,084	0,066	-0,013	-0,015
		Signifikanz (2-seitig)	0,265	0,407	0,513	0,899	0,884
		N	100	100	100	100	100
	<b>2015</b>	Korrelation nach Pearson	0,56	0,041	0,017	-0,065	0,165
		Signifikanz (2-seitig)	0,555	0,666	0,858	0,495	0,079
		N	114	114	114	114	114
	<b>2016</b>	Korrelation nach Pearson	0,081	0,022	0,045	-0,052	0,139
		Signifikanz (2-seitig)	0,369	0,805	0,617	0,562	0,121
		N	125	125	125	125	125
	<b>2017</b>	Korrelation nach Pearson	0,182	0,188	0,080	0,114	0,075
		Signifikanz (2-seitig)	0,74	0,066	0,435	0,266	0,468
		N	97	97	97	97	97

\*. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

Neben dem zeitlichen Verlauf (Tab. 4) des Qualitätsindikators, kann auch die Gruppierung des Erfüllungsgrads zur Detailanalyse unterstützen. Bei Betrachtung der Tabelle 5 zeigt sich eine gleichmäßige Verteilung der Fälle sowie geringe Unterschiede

der Altersstruktur innerhalb der 11 Gruppen. Hinsichtlich der klinischen Parameter Beatmungsdauer und durchschnittlicher SOFA-Score können Differenzen festgestellt werden. So betrug die Beatmungsdauer im Median bei der Gruppe 95-100% 290 Stunden, während insbesondere die weiteren Gruppen der HAG (zwischen 65-94%) mit 446, 469 und 529 Stunden länger beatmet wurden. Die Gruppen der LAG (unter 65%) wiesen bis auf die Gruppe 25-34% ebenfalls höhere Beatmungsdauern aus. Beim durchschnittlichen SOFA-Score lässt sich feststellen, dass die Gruppe 95-100% den zweithöchsten Wert aufweist, nach der Gruppe 65-74%. Die Case-Mix-Punkte der Gruppen sind stark variierend. So weist die Gruppe 0-4% den höchsten Case-Mix von 27,7 auf. Gleichzeitig beträgt der Case-Mix der Gruppe 95-100% lediglich 14,6%. Auch die Tageskosten schwanken innerhalb der Gruppen zwischen 1.962 Euro und 2.364 Euro. Ein Zusammenhang zu den anderen Parametern lässt sich nicht feststellen.

**Tab. 5 – Zusammenfassende gruppierte Darstellung hinsichtlich Erfüllung des Qualitätsindikators „Frühzeitige Entwöhnung von invasiver Beatmung“ (n=583)**

	Gruppe	Anzahl	Alter	Beatmungsdauer	Gewinn / Verlust	AvSOFA	Case-Mix	Tageskosten
Qualität in %	0-4%	7	50 [35;79]	436 [205;751]	-10.913 [-31.969;97.160]	7,9 [5,1;10,9]	27,7 [18,7;43,3]	2.064 [1.754;2.650]
	5-14%	77	55 [38;69]	322 [228;510]	-2.217 [-10.597;7.992]	7,7 [6;9,5]	14,8 [10,9;23]	1.962 [1.502;2.723]
	15-24%	55	51 [36;65]	453 [206;693]	-661 [-11.839;9.523]	7,3 [5,6;9,8]	19,1 [12,3;25,8]	2.044 [1.682;2.695]
	25-34%	61	62 [38;73]	299 [163;690]	5.222 [-8.932;20.418]	9 [6,7;10,8]	18 [10,7;31,7]	2.061 [1.723;2.799]
	35-44%	54	66.5 [47;73]	651 [427;1.004]	3.340 [-22.598;17.681]	8,1 [6,8;10,1]	26,9 [19,3;38,6]	2.063 [1.660;2.493]
	45-54%	62	56 [38;70]	597 [331;981]	-3.632 [-18.591;11.816]	8,3 [6,8;10,2]	22,8 [15,1;33,7]	2.230 [1.783;2.799]
	55-64%	62	59.5 [43;71]	529 [372;709]	946 [-14.011;11.498]	7,8 [6,6;10,8]	21,1 [11,7;28,2]	2.188 [1.915;2.466]
	65-74%	51	50 [42;62]	530 [310;809]	1.676 [-15.199;23.179]	9,3 [6,8;11]	22,1 [14,2;30]	2.319 [1.768;2.866]
	75-84%	55	62 [38;73]	469 [262;611]	8.418 [-4.602;29.043]	7,5 [6,5;9,7]	18,9 [11,6;25]	2.203 [1.722;2.778]
	85-94%	35	61 [45;72]	446 [336;671]	258 [-8.242;10.625]	7,9 [6,6;9,2]	19,3 [11,6;23,8]	2.232 [1.928;2.646]
	95-100%	64	55 [41;68]	290 [179;442]	6.515 [-8.156;22.067]	9,1 [7,5;11,4]	14,6 [11,3;23,2]	2.364 [1.716;2.732]

## 4 Diskussion

Das Ergebnis der Publikation legt nahe, dass das ökonomische Ergebnis eines Behandlungsfalles von der Einhaltung des Qualitätsindikators der frühzeitigen Entwöhnung von invasiver Beatmung positiv beeinflusst wird [1]. Das Ergebnis der weiterführenden Analysen bestätigt, dass ein leicht positiver Trend zwischen Qualität und Ökonomie, bei gleichmäßiger Verteilung, besteht. Dieses Ergebnis deckt sich auch mit der Feststellung von Deffland et al. im Jahr 2020 [32]. Unsere Daten zeigen, dass Patient:innen der HAG bessere klinische und ökonomische Parameter aufweisen. Darüber hinaus konnte die Erfüllung des Qualitätsindikators allerdings nicht als signifikanter Treiber identifiziert werden, sodass es weiterer Modelle bedarf. Die Steigerung der Prozessqualität stellt ein wesentliches und messbares Medium zur Steigerung der Qualität dar. Die Einhaltung der DIVI-Empfehlung zur frühzeitigen Entwöhnung von invasiver Beatmung auf der Intensivstation sind von hoher Relevanz. Es besteht weiterhin die Notwendigkeit, sich stärker mit Fehlanreizen im pauschalisierten Vergütungssystem auseinanderzusetzen.

In der modernen Medizin entsteht ein beachtlicher Teil der Kosten im Bereich der Intensivmedizin. Die Intensivmedizin ist geprägt durch die Behandlung von lebensbedrohlich erkrankten Patient:innen mit hohen apparativen, personellen und organisatorischen Standards. Die Kostenstruktur eines Maximalversorgers weist zudem auf, dass ca. 20 % der Krankenhauskosten auf den Intensivstationen von besonders aufwändigen Patient:innen generiert werden [15,33]. Insbesondere mit Mortalität und maschineller Beatmung sind erhöhte Kosten verbunden. Dies beruht auf erhöhtem personellen und materiellen Aufwand [16,34], aber auch auf der erhöhten Liegedauer auf der Intensivstation [35] oder der Aufnahmeart in Kombination mit dem Schweregrad [17]. Eine nähere Betrachtung der Intensivmedizin, deren Qualitäts- und Kostenmanagement erscheint somit unabdingbar. Die große ökonomische Bedeutung der Intensivmedizin erfordert wissenschaftliche Evidenz. Darüber hinaus bedarf es mehr Transparenz für eine bessere Vergleichbarkeit zwischen Fällen, Abteilungen und Häusern sowie entsprechendem Wettbewerb. Insgesamt ist in vielen Einrichtungen und in der Literatur das Verhältnis von Kosten, Kostentreibern und Behandlungsqualität nicht transparent nachvollziehbar [36]. Die zugrunde liegende Arbeit soll dazu beitragen, diese Informationslücke zu schließen, indem sie medizinische Daten der Intensivmedizin in den Kontext der Ökonomie setzt. Es ist anzunehmen, dass medizinische Qualität dabei in

unmittelbarem Zusammenhang mit wirtschaftlichem Handeln bzw. Effizienz steht. Es scheint, als ob die medizinische Qualität leiden kann, wenn vorhandene Mittel ineffizient eingesetzt werden [7].

Es gibt eine Vielzahl von Faktoren, die die medizinische Qualität beeinflussen können, insbesondere in der hochkomplexen Intensivmedizin. Theoretische evidenzbasierte Therapiestandards und -konzepte stellen hierbei die Grundlage im Sinne einer Strukturqualität dar. Entscheidend ist zudem die praktische Umsetzung der Therapiestandards im Versorgungsalltag, sodass die medizinische Qualität auch bei Patient:innen ankommt [4]. Dies entspricht der Prozessqualität.

Dank moderner PDMS sind zahlreiche Parameter heutzutage in Echtzeit messbar geworden. In Zukunft könnte der Verbreitungsgrad dieser Systeme aufgrund einer gesetzlich verankerten Digitalisierungsinitiative deutschlandweit zunehmen [37]. Ein etabliertes PDMS ermöglicht einen detaillierten Dokumentationsgrad sowie schnelles visuelles Feedback der wichtigsten klinischen Parameter für die behandelnden Berufsgruppen [19,24]. Im Rahmen der entsprechenden medizinischen Analysen, sowohl national als auch am Universitätsklinikum, spielen Qualitätskennzahlen eine bedeutende Rolle zur Beurteilung der Behandlungsqualität. So wurde in der Intensivmedizin, gefördert durch die DIVI, eine Reihe von QI festgelegt, um sowohl Strukturen als auch Prozesse einheitlich messen, bewerten und verbessern zu können [9].

Bei der Einführung von Qualitätsindikatoren auf Basis von Routinedaten ist unbedingt darauf zu achten, dass die Validität der Sekundärdaten höchstmöglich ist. Ansonsten werden Ergebnisse nicht valide sein und irreführende Entscheidungsgrundlagen liefern [38]. Schlechte Datenvalidität stellt ein großes, bereits bekanntes Problem dar. Neben der korrekten Fallzuordnung können auch technisch subtile Probleme in komplexen Datenmodellen auftreten. Speziell für die Steigerung der medizinischen Qualität stellen Qualitätsindikatoren ein zentrales Mittel zum Zweck dar. Die Datenvalidität unserer Arbeit ist aufgrund der langjährigen etablierten Systemlandschaft als hoch einzustufen [24].

Medizinische Qualität spielt in Deutschland eine zunehmend wichtige Rolle. Faktoren hierfür sind öffentliches Interesse an Transparenz, steigender ökonomischer Druck auf Krankenhäuser und wachsende Anforderungen von Krankenkassen. Das Krankenhaus-Management entscheidet auf der Grundlage des DRG-Systems [18]. Krankenhäuser werden systematisch dazu gedrängt ihre internen Prozesse sowie ihr Berichtswesen zu

verbessern, um langfristig ökonomisch erfolgreich am System teilnehmen zu können [39,40]. Die systemischen Einflüsse durch das Vergütungsmodell sind entsprechend groß und könnten in Erweiterung auch ein nationales Qualitätsmodell darstellen. Zwar betonen die Autoren der DIVI-QI, dass diese nicht für ökonomische Ziele instrumentalisiert werden sollten. Dennoch betonen sie synergetische Interessen der klinischen Qualität und der ökonomischen Effizienz [4,22]. Stärker als in anderen Systemen sind deutsche Krankenhäuser von der Vergütung mit DRGs abhängig. Während in anderen Ländern ca. 50% der Behandlungsfälle eines Krankenhauses mit DRGs vergütet werden, sind es in Deutschland ca. 80%. Dieser Unterschied lässt sich darauf zurückführen, dass andere Systeme Zu- und Abschläge oder Sicherstellungsfinanzierung von Maximalversorgern berücksichtigen [41].

Die Erkenntnisse der dieser Dissertation zugrunde liegenden Arbeit bestätigen zumindest im Ansatz die systemischen Entwicklungen zu einem leistungsorientierten Vergütungsmodell am Beispiel der Intensivmedizin, aus der Perspektive eines Krankenhauses. So zeigte sich ein besseres ökonomisches Ergebnis in der Gruppe der HAG-Patient:innen, die gleichzeitig signifikant weniger Todesfälle aufwiesen. Betrachtet man neben der Mortalität die Beatmungsstunden und Verweildauer als weitere Surrogatparameter für das klinische Ergebnis, so konnte auch hier die HAG ein besseres Ergebnis erzielen. Bisher konnte dies noch keine Arbeit auf der Basis einer etablierten Fallkostenrechnung zeigen. Somit unterstützen diese Ergebnisse Anreize für die Etablierung von QI auf der Intensivstation. In Zukunft werden im Rahmen der demografischen Entwicklung Krankheitsbilder zunehmend komplexer und verursachen voraussichtlich entsprechend mehr Aufwand. [42]. Angesichts dieser wachsenden Herausforderung für die Intensivmedizin stellen praxisnahe und digitalisierte Prozess-QI eine fördernde Unterstützung des Qualitätsmanagements dar.

Ein typisches Problem in der Anwendung national aussagekräftiger QI liegt in der Inkonsistenz der Entwicklung. So ergab eine zufällige Stichproben-Analyse gültiger S3-Leitlinien, dass die QI-Entwicklungsmethodik nicht einheitlich erfolgte, dies allerdings notwendig sei, um national akzeptierte und vor allem evidenzbasierte QI sicherzustellen [43]. Für die Zukunft der datengetriebenen Intensivmedizin könnte es eine Chance sein, die bereits seit 2010 konsentierten und einheitlich entwickelten QI zu operationalisieren, um die Behandlungsqualität und insbesondere deren Bewertung systemisch und einrichtungsübergreifend zu ermöglichen [23,44]. Zudem könnten einerseits die

Behandlungstransparenz verbessert und andererseits die hohe Kostenintensität gegenüber anderen Krankenhausbereichen gerechtfertigt werden.

Die intensivmedizinische Versorgung ist geprägt durch aufwändige und kostenintensive Behandlungsfälle, die mit erhöhter Wahrscheinlichkeit Probleme bei der medizinischen Behandlungsqualität erfahren [45]. Die vorliegenden Ergebnisse in Tabelle 1 zeigen, dass die behandelten Fälle eine ökonomische Belastung für die untersuchte Organisation darstellen, unabhängig von der QI-Erfüllung [1]. In einer Meta-Studie wurde gezeigt, dass beatmete ITS-Patient:innen in Deutschland tägliche Kosten von 1.580 Euro generierten [46]. In Verbindung mit Tabelle 2, die einen signifikanten negativen Einfluss steigender Tageskosten auf das ökonomische Gesamtergebnis darstellt, kann somit ein negativer Einfluss steigender Beatmungsdauer auf den Gewinn bestätigt werden. Aufwändige und kostenintensive Fälle in der Intensivmedizin sind überwiegend mit intensivmedizinischer Komplexbehandlung oder maschineller Beatmung verbunden. Grundsätzlich führen höhere Punktwerte bei diesen Parametern zu einer höheren Fallschwere und schließlich höheren Vergütung nach dem pauschalierenden DRG-System (Fee-for-Service). Dem gegenüber stehen individuell aufwändige Behandlungen.

Eine systemische Qualitätsförderung hin zu einem qualitätsbasierten Vergütungsmodell (Pay-for-Performance) und weg von einem pauschalierenden Vergütungssystem (Fee-for-Service) könnte einen positiven monetären Anreiz für Kliniken zur Erfüllung der Qualitätsanforderungen haben. Bei der Operationalisierung können evidenzbasierte QI eine wesentliche Rolle spielen, gerade wenn es um die Messung des Behandlungserfolges geht. Eine logische Konsequenz wäre eine zunehmende Spezialisierung und folglich Konsolidierung intensivmedizinischer Einrichtungen in Deutschland.

Nach Nguyen et al. profitieren Intensivmedizin-pflichtige Patient:innen unabhängig des Vergütungssystems von großen Einrichtungen, die vermehrt Intensivprozeduren durchführen und somit Skaleneffekte erreichen [47]. Die zeitliche Verlaufsanalyse der in dieser Arbeit untersuchten Kohorte bestätigt diese Feststellung innerhalb eines Krankenhauses. In den Jahren 2015 und 2016 wurden die meisten Fälle behandelt und die besten ökonomischen Ergebnisse je Fall erzielt, was auf einen Mengeneffekt rückschließen lässt (Tab. 3) [1].

Hinsichtlich der weiterführenden Analysen konnten wir die positiven Zusammenhänge des Qualitätsindikators mit klinischen und ökonomischen Zielparametern bestätigen. Eine signifikante Beobachtung ließ sich allerdings nicht feststellen. In Tabelle 5 konnten wir zeigen, dass die ökonomischen Ergebnisse der HAG-Gruppen deutlich besser waren als in den niederen LAG-Gruppen bei gleichzeitig niedrigeren Case-Mix-Punkten oder geringeren Beatmungsstunden. Das bedeutet, dass die Betrachtung dieser Zielgrößen für die Wirtschaftlichkeit eines Behandlungsfalles nicht relevant ist. Vielmehr sind die Fallzahlen (Auslastung) und die Erfüllung des Qualitätsindikators mit den finanziellen Endergebnissen verbunden. Die gleichmäßige Verteilung der Fälle innerhalb der Erfüllungsgruppen in Tabelle 5 zeigt, dass die Einhaltung der DIVI-Richtlinien nicht inhärent vorausgesetzt sind und eine große Anstrengung bedeutet. Darüber hinaus ist die untersuchte Studien-ITS spezialisiert auf ARDS-Fälle, die schwere intensivmedizinische Verläufe verzeichnen. Das Ausmaß an Spezialisierung und der Zielsetzung der Studien-ITS sollte bei der Bewertung und Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Ziele spielen im Qualitätsmanagement eine wichtige Rolle [7]. Sie dienen der kommunikativen Übersetzung strategischer Vorgaben zur Qualitätsverbesserung. Um festgelegte Ziele verständlich in den Klinikalltag zu bringen, benötigt das Personal ein Kommunikationssystem transparenter und tagesaktueller Kennziffern, für deren Verbesserung operativ Verantwortung übernommen werden kann [48]. Die klare Darstellung von QI unterstützt hierbei als Kommunikationsmittel für tagtägliche und langfristige Ziele sowie deren Erreichung [9]. Zur optimalen Zielerreichung sollten für den Behandler am Bett die definierten QI und deren Erreichung zum Beispiel über ein elektronisches Feedbacktool automatisiert so einfach wie möglich zurückgespielt werden [24].

Im Rahmen der effizienten Nutzung intensivmedizinischer Ressourcen besteht ein leicht positiver Zusammenhang zwischen klinischem und ökonomischem Outcome. Aus ökonomischer Perspektive ist eine Verbesserung der klinischen Ergebnisse also wünschenswert. Diese Aussage wird auch durch die Literatur gestützt, die eine frühestmögliche Entlassung intensivmedizinischer Patient:innen auf nachgelagerte Stationen empfiehlt. Ziel ist eine Vermeidung unnötig langer, gefährlicher oder teurer ITS-Aufenthalte, weil beispielsweise Krankenhausinfektionen auftreten können [19,20]. Beim Auftreten solcher Infektionen haben insbesondere Pneumonien negative ökonomische

Effekte. Patient:innen mit einer im Krankenhaus erworbenen Pneumonie können einen Verlust von 8.464 Euro je Fall nach Kaier et al. bedeuten. Die Vermeidung von Krankenhausinfektionen ist aus der Krankenhausperspektive also von wichtiger ökonomischer Bedeutung [49].

In den ersten Jahren des beobachteten Zeitraums lassen sich die größten negativen Ergebnisse je Fall erkennen (Tab. 3). Dies liegt einerseits an wenigen Ausreißern, wie die IQR in 2012 und 2013 andeuten. Andererseits kann dies eventuell auf eine verbesserte Beatmungsentwöhnung zurückgeführt werden, da der Bereich „Weaning“ eine zunehmend wichtige Rolle in der Intensivmedizin spielt.

Im Rahmen der Covid19-Pandemie wurden Krankenhäuser nach §24 Krankenhausfinanzierungsgesetz (KHG) dazu verpflichtet, unterjährig Daten an das InEK zu liefern und täglich Fallzahlen über freie und belegte Behandlungskapazitäten in der Intensivmedizin an das DIVI-Register zu melden. Somit konnten primär Beatmungsplätze deutschlandweit organisiert werden [50]. Die kurzfristige, aber sehr erfolgreiche Umsetzung der Datenlieferungen über das aufgebrachte Leistungsgeschehen während der Pandemie könnte eine Blaupause für künftige Datenlieferungen zu Qualitätsindikatoren sein. Die Behandlungsqualität würde somit deutschlandweit transparenter und potentiell erlösrelevant, denn selbst in Industriestaaten sind die Behandlungsmethoden in der Intensivmedizin immer noch sehr heterogen [10].

Diese Sekundärdatenanalyse hat eine Reihe von Stärken und Schwächen. Sie ist die erste verfügbare Bewertung, die sich auf den Zusammenhang zwischen der Erfüllung eines etablierten QI und dem ökonomischen Ergebnis auf Fallkostenbasis konzentriert. Sie basiert auf einer großen, vielfältigen Stichprobe aus einem universitären Referenzzentrum für Akutes Lungenversagen (ARDS). Eine Übertragung der Beobachtungen auf eine andere Intensivstation ist nicht automatisch möglich. Stratifizierte Analysen auf Basis einer Fallkostenkalkulation wurden bei der Bewertung medizinischer Qualität noch kaum durchgeführt. Sie könnten aber nützliche Erkenntnisse, zum Beispiel für die Versorgungsforschung oder die Politik liefern [32]. Dagegen sind die verwendeten Routinedaten limitiert in ihrer Aussagekraft und lassen keine Rückschlüsse auf weitere Ergebnisparameter wie Lebensqualität der behandelten Patient:innen zu. In Zukunft könnte die Kombination aus medizinischer Qualität, ökonomischem Ergebnis und



individueller Lebensqualität verbesserte Aussagen zu den Prädiktoren, also den Prozessindikatoren wie der frühzeitigen Beatmungsentwöhnung, ermöglichen [8]. Zudem könnten künftig Abstufungen innerhalb der DRGs (sog. Splits) berücksichtigt werden, um die Erlöskorridore je DRG besser bewerten zu können.

Da die vorliegenden Daten nur einen einzigen QI analysieren, liegt es an künftigen Arbeiten, diesen in Verbindung mit den weiteren QI der Leitlinienempfehlungen, insbesondere weiteren Prozessindikatoren zu bringen. Zudem war die analysierte Stichprobe nicht repräsentativ für alle beatmeten Patient:innen in Deutschland. Für eine solche Analyse wären Sekundärdaten aus verschiedenen Maximalversorgern in Deutschland notwendig. Die deskriptive Analyse stellt ein relevantes Werkzeug zur Qualitätsverbesserung dar, insbesondere bei Vergleichen mit ähnlichen externen Einrichtungen [51].

Die Ergebnisse der Arbeit zeigen im Ansatz, dass die Politik ein qualitäts-orientiertes Vergütungsmodell unter Berücksichtigung von Prozessindikatoren für die Intensivmedizin in Betracht ziehen kann. Neben den Patient:innen können so auch Leistungserbringer ökonomisch von höherer Qualität und Mindestmengen profitieren. Zuerst sollte allerdings die digitale Infrastruktur zur flächendeckenden Erhebung von QI ermöglicht werden. QI werden in der Medizin verwendet, um Qualität in Zahlen auszudrücken und Verbesserungen messbar zu machen. Dafür eignen sich insbesondere Standardprozesse, da diese am ehesten in Kennzahlen ausgedrückt werden können. QI dienen als Kennzahlen somit der einfacheren Operationalisierung im Qualitätsmanagement im Vergleich zu Strukturmerkmalen oder Mindestmengen [6]. Zudem trägt die gewonnene Transparenz über Behandlungsqualität zur allgemeinen Versorgungsforschung bei und folglich zu einer verstärkten Orientierung an der Patient:innenperspektive [26].

Abschließend lässt sich festhalten, dass innerhalb der Grenzen der explorativen Analyse medizinischer und administrativer Routinedaten eine bessere Prozessqualität beim Weaning zu besseren ökonomischen Ergebnissen führte. Zugleich weist die Erfüllung des QI keine signifikanten Effekte auf das ökonomische Resultat im Rahmen der durchgeführten Regressionsanalyse auf. Zukünftig sollte der Anreiz für die Erfüllung von Prozessindikatoren eng mit der entsprechenden Vergütung verknüpft werden. Qualitätsindikatoren werden in Zukunft aufgrund ihrer einfachen Messbarkeit und Transparenz eine zunehmend wichtige Rolle spielen: Einerseits für die medizinische

Bewertung von Qualität, andererseits für die Schaffung von Transparenz für Öffentlichkeit und Vergütung.

Obwohl Routinedaten viel Kritik erfahren, mitunter aufgrund einer mangelnden Validität der Ausgangsdaten, beschreiben sie die Versorgungsergebnisse von Patient:innen sehr präzise. Zukünftige Forschungsarbeiten sollten das Ziel verfolgen, dass Routinedaten auch im klinischen Alltag unter Realbedingungen aussagekräftiger werden, zum Beispiel durch den vermehrten Einsatz von Indikatoren. Die Vorteile der schnellen und kostengünstigen Sekundärdaten können neben klinischen auch politische Entscheidungen positiv beeinflussen.

## Literaturverzeichnis

- 1 Zuber A, Kumpf O, Spies C, Höft M, Deffland M, Ahlborn R, Kruppa J, Jochem R, Balzer F. Does adherence to a quality indicator regarding early weaning from invasive ventilation improve economic outcome? A single-centre retrospective study. *BMJ Open* 2022;**12**:e045327. doi:10.1136/bmjopen-2020-045327
- 2 Sachverständigenrat zur Begutachtung der Entwicklung im Gesundheitswesen. Bedarfsgerechte Steuerung der Gesundheitsversorgung. 2018. doi:10.5771/1611-5821-2018-6-37
- 3 Bundesministerium für Gesundheit. MDK-Reformgesetz. 2019. 2020.<https://www.bundesgesundheitsministerium.de/mdk-reformgesetz.html> (accessed 30 Sep 2021).
- 4 Brinkmann A, Braun JP, Riessen R, Dubb R, Kaltwasser A, Bingold TM. [Quality assurance concepts in intensive care medicine]. *Med Klin Intensivmed Notfmed* 2015;**110**:575-580,582-583. doi:10.1007/s00063-015-0095-y
- 5 Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. Sozialgesetzbuch (SGB) Fünftes Buch (V) - Gesetzliche Krankenversicherung. Gesetze im Internet. 2021.[https://www.gesetze-im-internet.de/sgb\\_5/\\_\\_\\_136b.html](https://www.gesetze-im-internet.de/sgb_5/___136b.html)
- 6 Kumpf O. [Quality indicators in intensive care medicine : Background and practical use]. *Med Klin Intensivmed Notfmed* Published Online First: December 2019. doi:10.1007/s00063-019-00630-w
- 7 Donabedian A. The quality of care. How can it be assessed? *JAMA* 1988;**260**:1743–8. doi:10.1001/jama.260.12.1743
- 8 Adrion C, Weiss B, Paul N, Berger E, Busse R, Marschall U, Caumanns J, Rosseau S, Mansmann U, Spies C. Enhanced Recovery after Intensive Care (ERIC): study protocol for a German stepped wedge cluster randomised controlled trial to evaluate the effectiveness of a critical care telehealth program on process quality and functional outcomes. *BMJ Open* 2020;**10**:e036096. doi:10.1136/bmjopen-2019-036096
- 9 Kumpf O, Braun J-P, Brinkmann A, Bause H, Bellgardt M, Bloos F, Dubb R, Greim C, Kaltwasser A, Marx G, Riessen R, Spies C, Weimann J, Wobker G, Muhl E, Waydhas C. Quality indicators in intensive care medicine for Germany -

- third edition 2017. *Ger Med Sci* 2017;**15**:Doc10. doi:10.3205/000251
- 10 Wunsch H, Angus DC, Harrison DA, Collange O, Fowler R, Hoste EAJ, de Keizer NF, Kersten A, Linde-Zwirble WT, Sandiumenge A, Rowan KM. Variation in critical care services across North America and Western Europe. *Crit Care Med* 2008;**36**:2787–93, e1-9. doi:10.1097/CCM.0b013e318186aec8
  - 11 Rhodes A, Ferdinande P, Flaatten H, Guidet B, Metnitz PG, Moreno RP. The variability of critical care bed numbers in Europe. *Intensive Care Med* 2012;**38**:1647–53. doi:10.1007/s00134-012-2627-8
  - 12 Chalfin DB, Cohen IL, Lambrinos J. The economics and cost-effectiveness of critical care medicine. *Intensive Care Med* 1995;**21**:952–61. doi:10.1007/BF01712339
  - 13 Martin E. Sind Fortschritte in der Intensivmedizin noch finanzierbar. *J Anästh Intensivbehand* 1998;**8**–11.
  - 14 Halpern NA, Pastores SM. Critical care medicine in the United States 2000-2005: an analysis of bed numbers, occupancy rates, payer mix, and costs. *Crit Care Med* 2010;**38**:65–71. doi:10.1097/CCM.0b013e3181b090d0
  - 15 Milbrandt EB, Kersten A, Rahim MT, Dremsizov TT, Clermont G, Cooper LM, Angus DC, Linde-Zwirble WT. Growth of intensive care unit resource use and its estimated cost in Medicare. *Crit Care Med* 2008;**36**:2504–10. doi:10.1097/CCM.0b013e318183ef84
  - 16 Kaier K, Heister T, Wolff J, Wolkewitz M. Mechanical ventilation and the daily cost of ICU care. *BMC Health Serv Res* 2020;**20**:267. doi:10.1186/s12913-020-05133-5
  - 17 Moerer O, Plock E, Mgbor U, Schmid A, Schneider H, Wischnewsky MB, Burchardi H. A German national prevalence study on the cost of intensive care: an evaluation from 51 intensive care units. *Crit Care* 2007;**11**:R69. doi:10.1186/cc5952
  - 18 Vogl M. Assessing DRG cost accounting with respect to resource allocation and tariff calculation: the case of Germany. *Health Econ Rev* 2012;**2**:15. doi:10.1186/2191-1991-2-15
  - 19 Kastrup M, von Dossow V, Seeling M, Ahlborn R, Tamarkin A, Conroy P, Boemke

- W, Wernecke K-D, Spies C. Key performance indicators in intensive care medicine. A retrospective matched cohort study. *J Int Med Res* 2009;**37**:1267–84. doi:10.1177/147323000903700502
- 20 Nachtigall I, Tamarkin A, Tafelski S, Deja M, Halle E, Gastmeier P, Wernecke KD, Bauer T, Kastrup M, Spies C. Impact of adherence to standard operating procedures for pneumonia on outcome of intensive care unit patients. *Crit Care Med* 2009;**37**:159–66. doi:10.1097/CCM.0b013e3181934f1b
- 21 Fischer C, Lingsma HF, Marang-van de Mheen PJ, Kringos DS, Klazinga NS, Steyerberg EW. Is the readmission rate a valid quality indicator? A review of the evidence. *PLoS One* 2014;**9**:e112282. doi:10.1371/journal.pone.0112282
- 22 Kumpf O, Bloos F, Bause H, Brinkmann A, Deja M, Marx G, Kaltwasser A, Dubb R, Muhl E, Greim C-A, Weiler N, Chop I, Jonitz G, Schaefer H, Felsenstein M, Liebeskind U, ... Braun J-P. Voluntary peer review as innovative tool for quality improvement in the intensive care unit--a retrospective descriptive cohort study in German intensive care units. *Ger Med Sci* 2014;**12**:Doc17. doi:10.3205/000202
- 23 Kumpf O, Nothacker M, Braun J, Muhl E. The future development of intensive care quality indicators - a methods paper. *Ger Med Sci* 2020;**18**:Doc09. doi:10.3205/000285
- 24 Kastrup M, Nolting MJ, Ahlborn R, Braun J-P, Grubitzsch H, Wernecke K-D, Spies C. An electronic tool for visual feedback to monitor the adherence to quality indicators in intensive care medicine. *J Int Med Res* 2011;**39**:2187–200. doi:10.1177/147323001103900615
- 25 Mansky T, Robra B-P, Schubert I. Vorhandene Daten besser nutzen. Für die sektorübergreifende Zusammenführung medizinischer Routinedaten sollten die Krankenkassen zur Lieferung bereits vorliegender Daten verpflichtet werden. *Dtsch Arztebl* 2012;**109**:A1082–  
5.<https://www.aerzteblatt.de/archiv/126372/Qualitaetssicherung-Vorhandene-Daten-besser-nutzen>
- 26 Schmale-Grede R, Faubel U. Der Patient im Mittelpunkt der Versorgungsforschung. *Z Rheumatol* 2020;**79**:996–1002. doi:10.1007/s00393-020-00905-0

- 27 Roth JA, Goebel N, Sakoparnig T, Neubauer S, Kuenzel-Pawlik E, Gerber M, Widmer AF, Abshagen C, Padiyath R, Hug BL. Secondary use of routine data in hospitals: description of a scalable analytical platform based on a business intelligence system. *JAMIA open*. 2018;**1**:172–7. doi:10.1093/jamiaopen/ooy039
- 28 Charité - Universitätsmedizin Berlin. Charité Jahresbericht 2020. Berlin: 2021. [https://www.charite.de/fileadmin/user\\_upload/portal\\_relaunch/Mediathek/publikationen/jahresberichte/JB-Charite-2020\\_WEB.pdf](https://www.charite.de/fileadmin/user_upload/portal_relaunch/Mediathek/publikationen/jahresberichte/JB-Charite-2020_WEB.pdf)
- 29 Husereau D, Drummond M, Petrou S, Carswell C, Moher D, Greenberg D, Augustovski F, Briggs AH, Mauskopf J, Loder E. Consolidated Health Economic Evaluation Reporting Standards (CHEERS) statement. *BMJ* 2013;**346**:f1049. doi:10.1136/bmj.f1049
- 30 Swart E, Ihle P, Gothe H, Matusiewicz D, editors. *Routinedaten im Gesundheitswesen. Handbuch Sekundärdatenanalyse: Grundlagen, Methoden und Perspektiven*. 2nd ed. Bern: : Verlag Hans Huber 2014.
- 31 Verburg IWM, de Keizer NF, de Jonge E, Peek N. Comparison of regression methods for modeling intensive care length of stay. *PLoS One* 2014;**9**:e109684. doi:10.1371/journal.pone.0109684
- 32 Deffland M, Spies C, Weiss B, Keller N, Jenny M, Kruppa J, Balzer F. Effects of pain, sedation and delirium monitoring on clinical and economic outcome: A retrospective study. *PLoS One* 2020;**15**:e0234801. doi:10.1371/journal.pone.0234801
- 33 Martin J, Neurohr C, Bauer M, Weiss M, Schleppers A. [Cost of intensive care in a German hospital: cost-unit accounting based on the InEK matrix]. *Anaesthetist* 2008;**57**:505–12. doi:10.1007/s00101-008-1353-7
- 34 Cooper LM, Linde-Zwirble WT. Medicare intensive care unit use: analysis of incidence, cost, and payment. *Crit Care Med* 2004;**32**:2247–53.
- 35 Maierhofer T, Pfisterer F, Bender A, Küchenhoff H, Moerer O, Burchardi H, Hartl WH. [Cost analysis as a tool for assessing the efficacy of intensive care units]. *Med Klin Intensivmed Notfmed* 2018;**113**:567–73. doi:10.1007/s00063-017-0315-8
- 36 Jacobs K, Roman E, Lambert J, Moke L, Scheys L, Kesteloot K, Roodhooft F,

- Cardoen B. Variability drivers of treatment costs in hospitals: A systematic review. *Health Policy* Published Online First: December 2021.  
doi:10.1016/j.healthpol.2021.12.004
- 37 Bundesministerium für Gesundheit. Krankenhausukunftsgesetz für die Digitalisierung von Krankenhäusern. 2020.  
<https://www.bundesgesundheitsministerium.de/krankenhauszukunftsgesetz.html>
- 38 Erler A, Beyer M, Muth C, Gerlach FM, Brennecke R. [Garbage in - garbage out? Validity of coded diagnoses from GP claims records]. *Gesundheitswes (Bundesverband der Ärzte des Öffentl Gesundheitsdienstes)* 2009;**71**:823–31.  
doi:10.1055/s-0029-1214399
- 39 Holtel M, Rossmüller T, Frommhold K. [Quality Management in Medicine: What the Surgeon Needs to Know]. *Zentralbl Chir* 2016;**141**:583–90. doi:10.1055/s-0035-1557892
- 40 Magunia P, Keller M, Rhode A. [Effects of quality-oriented remuneration]. *Unfallchirurg* 2016;**119**:454–6. doi:10.1007/s00113-016-0172-6
- 41 Klauber J, Geraedts M, Friedrich J, Wasem J. *Krankenhaus-Report 2017: Schwerpunkt Zukunft gestalten*. Stuttgart: : Schattauer 2017.  
[https://www.wido.de/fileadmin/Dateien/Dokumente/Publikationen\\_Produnkte/Buchreihen/Krankenhausreport/2017/Kapitel mit Deckblatt/wido\\_khr2017\\_gesamt.pdf](https://www.wido.de/fileadmin/Dateien/Dokumente/Publikationen_Produnkte/Buchreihen/Krankenhausreport/2017/Kapitel mit Deckblatt/wido_khr2017_gesamt.pdf)
- 42 Adamski J, Goraj R, Onichimowski D, Gawlikowska E, Weigl W. The differences between two selected intensive care units located in central and northern Europe - preliminary observation. *Anaesthesiol Intensive Ther* 2015;**47**:117–24.  
doi:10.5603/AIT.a2015.0010
- 43 Deckert S, Steudtner M, Becker M, Brombach M, Neugebauer E, Nothacker M, Schmitt J. [(How) Are quality indicators for measuring and appraising the quality of healthcare derived from evidence-based clinical practice guidelines? A review]. *Z Evid Fortbild Qual Gesundheitswes* 2019;**147–148**:45–57.  
doi:10.1016/j.zefq.2019.09.002
- 44 Braun J-P, Bause H, Bloos F, Geldner G, Kastrup M, Kuhlen R, Markewitz A, Martin J, Mende H, Quintel M, Steinmeier-Bauer K, Waydhas C, Spies C. Peer reviewing critical care: a pragmatic approach to quality management. *Ger Med Sci*

- 2010;**8**:Doc23. doi:10.3205/000112
- 45 Blumenthal D, Abrams MK. Tailoring Complex Care Management for High-Need, High-Cost Patients. *JAMA* 2016;**316**:1657–8. doi:10.1001/jama.2016.12388
- 46 Kaier K, Heister T, Motschall E, Hehn P, Bluhmki T, Wolkewitz M. Impact of mechanical ventilation on the daily costs of ICU care: a systematic review and meta regression. *Epidemiol Infect* 2019;**147**:e314. doi:10.1017/S0950268819001900
- 47 Nguyen Y-L, Wallace DJ, Yordanov Y, Trinquart L, Blomkvist J, Angus DC, Kahn JM, Ravaud P, Guidet B. The Volume-Outcome Relationship in Critical Care: A Systematic Review and Meta-analysis. *Chest* 2015;**148**:79–92. doi:10.1378/chest.14-2195
- 48 Pronovost P, Berenholtz S, Dorman T, Lipsett PA, Simmonds T, Haraden C. Improving communication in the ICU using daily goals. *J Crit Care* 2003;**18**:71–5. doi:10.1053/jcrc.2003.50008
- 49 Kaier K, Wolkewitz M, Hehn P, Mutters NT, Heister T. The impact of hospital-acquired infections on the patient-level reimbursement-cost relationship in a DRG-based hospital payment system. *Int J Heal Econ Manag* 2020;**20**:1–11. doi:10.1007/s10754-019-09267-w
- 50 Mostert C, Hentschker C, Scheller-Kreinsen D, Günster C, Malzahn J, Klauber J. Krankenhaus-Report 2021. In: Klauber J, Wasem J, Beivers A, Mostert C, eds. *Krankenhaus-Report 2021*. Springer, Berlin, Heidelberg. 2021. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-662-62708-2\_16
- 51 Salluh JIF, Soares M, Keegan MT. Understanding intensive care unit benchmarking. *Intensive Care Med* 2017;**43**:1703–7. doi:10.1007/s00134-017-4760-x



## Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Alexander Fabian Zuber, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: **Auswirkungen der Einhaltung eines Qualitätsindikators in der Intensivmedizin auf das ökonomische Fallergebnis – eine Sekundärdaten-gestützte Analyse (Effects of adherence to a quality indicator in intensive care on the economic outcome per case – a secondary data based analysis)** selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Ich versichere ferner, dass ich die in Zusammenarbeit mit anderen Personen generierten Daten, Datenauswertungen und Schlussfolgerungen korrekt gekennzeichnet und meinen eigenen Beitrag sowie die Beiträge anderer Personen korrekt kenntlich gemacht habe (siehe Anteilserklärung). Texte oder Textteile, die gemeinsam mit anderen erstellt oder verwendet wurden, habe ich korrekt kenntlich gemacht.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem Erstbetreuer, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; [www.icmje.org](http://www.icmje.org)) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass mir die Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis bekannt ist und ich mich zur Einhaltung dieser Satzung verpflichte. Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

---

Alexander Fabian Zuber

## **Anteilserklärung an den erfolgten Publikationen**

Alexander Zuber ist alleiniger Erstautor der **Publikation**:

Zuber A, Kumpf O, Spies C, Höft M, Deffland M, Ahlborn R, Kruppa J, Jochem R, Balzer F. Does adherence to a quality indicator regarding early weaning from invasive ventilation improve economic outcome? A single-centre retrospective study. *BMJ Open* 2022;12:e045327. doi:10.1136/bmjopen-2020-045327

**Impact Factor:** 2.496

### **Beitrag von Alexander Zuber im Einzelnen:**

In der vorliegenden Publikation habe ich in Zusammenarbeit mit Dr. med. O. Kumpf und Prof. Dr. Dr. F. Balzer das Studiendesign entworfen. Die Routinedaten der Patient:innen und die Abrechnungsdaten habe ich in einer Tabelle zusammengeführt, gereinigt, geordnet und die Klassifizierung der Parameter durchgeführt. Die statistischen Auswertungen mit SPSS habe ich in Rücksprache mit Prof. Dr. Dr. F. Balzer durchgeführt. Alle Abbildungen und Tabellen des Manteltextes und der Publikation habe ich in einem ersten Entwurf generiert und daraufhin mit meinen Kolleg:innen optimiert. Ich habe den ersten Entwurf der Publikation (Manuskript) geschrieben und dann in Zusammenarbeit mit meinen Kolleg:innen fertiggestellt, und die Revision auf Grundlage der Gutachterkommentare vorbereitet und in Abstimmung mit den Ko-Autor:innen fertiggestellt. Auch die Organisation und Einreichung des Manuskriptes sowie der Revision habe ich geleitet.

---

Unterschrift des Doktoranden

## Publikationsschrift, Originalbeitrag etc.

Auszug aus der Journal Summary List

Journal Data Filtered By: **Selected JCR Year: 2019** Selected Editions: SCIE, SSCI  
 Selected Categories: **"MEDICINE, GENERAL and INTERNAL"**  
 Selected Category Scheme: WoS  
**Gesamtanzahl: 165 Journale**

Rank	Full Journal Title	Total Cites	Journal Impact Factor	Eigenfactor Score
1	NEW ENGLAND JOURNAL OF MEDICINE	347,451	74.699	0.660800
2	LANCET	256,199	60.392	0.437300
3	JAMA-JOURNAL OF THE AMERICAN MEDICAL ASSOCIATION	158,632	45.540	0.290050
4	Nature Reviews Disease Primers	7,567	40.689	0.032310
5	BMJ-British Medical Journal	118,586	30.223	0.145170
6	ANNALS OF INTERNAL MEDICINE	58,033	21.317	0.091210
7	JAMA Internal Medicine	17,260	18.652	0.086180
8	PLOS MEDICINE	32,312	10.500	0.065990
9	Journal of Cachexia Sarcopenia and Muscle	3,553	9.802	0.007860
10	Cochrane Database of Systematic Reviews	67,763	7.890	0.134360
11	CANADIAN MEDICAL ASSOCIATION JOURNAL	15,212	7.744	0.016160
12	JOURNAL OF TRAVEL MEDICINE	2,659	7.089	0.006360
13	MAYO CLINIC PROCEEDINGS	15,627	6.942	0.024990
14	JOURNAL OF INTERNAL MEDICINE	10,912	6.871	0.014180
15	BMC Medicine	15,204	6.782	0.042500
16	MEDICAL JOURNAL OF AUSTRALIA	11,075	6.112	0.011070
17	Translational Research	4,043	5.411	0.008350
18	JOURNAL OF THE ROYAL SOCIETY OF MEDICINE	4,214	5.238	0.002580
19	JAMA Network Open	2,239	5.032	0.007660



Rank	Full Journal Title	Total Cites	Journal Impact Factor	Eigenfactor Score
20	Deutsches Arzteblatt International	4,817	4.796	0.007380
21	ANNALS OF FAMILY MEDICINE	5,567	4.686	0.010880
22	JOURNAL OF GENERAL INTERNAL MEDICINE	20,229	4.597	0.026960
23	AMERICAN JOURNAL OF MEDICINE	24,975	4.529	0.024230
24	Journal of Personalized Medicine	617	4.433	0.001950
25	AMERICAN JOURNAL OF PREVENTIVE MEDICINE	23,547	4.420	0.040180
26	European Journal of Internal Medicine	4,933	4.329	0.010280
27	AMYLOID-JOURNAL OF PROTEIN FOLDING DISORDERS	1,486	4.323	0.002920
28	BRITISH JOURNAL OF GENERAL PRACTICE	6,669	4.190	0.008670
29	Frontiers in Medicine	3,034	3.900	0.009870
30	PREVENTIVE MEDICINE	17,316	3.788	0.030080
31	PALLIATIVE MEDICINE	5,413	3.739	0.008460
32	AMERICAN JOURNAL OF CHINESE MEDICINE	3,531	3.682	0.002970
33	MEDICAL CLINICS OF NORTH AMERICA	3,161	3.529	0.004080
34	EUROPEAN JOURNAL OF CLINICAL INVESTIGATION	6,344	3.481	0.006590
35	PANMINERVA MEDICA	806	3.467	0.000660
36	Journal of Clinical Medicine	5,214	3.303	0.010940
37	ANNALS OF MEDICINE	4,510	3.243	0.005190
38	CANADIAN FAMILY PHYSICIAN	3,833	3.112	0.005150

Rank	Full Journal Title	Total Cites	Journal Impact Factor	Eigenfactor Score
39	Diagnostics	850	3.110	0.001860
40	JOURNAL OF PAIN AND SYMPTOM MANAGEMENT	10,897	3.077	0.014840
41	MINERVA MEDICA	880	3.031	0.000930
42	JOURNAL OF THE FORMOSAN MEDICAL ASSOCIATION	3,929	3.008	0.004510
43	Polish Archives of Internal Medicine- Polskie Archiwum Medycyny Wewnętrznej	1,337	3.007	0.001900
44	AMERICAN FAMILY PHYSICIAN	6,879	2.852	0.005390
45	BRITISH MEDICAL BULLETIN	4,462	2.835	0.002680
46	Archives of Medical Science	3,012	2.807	0.005030
47	KOREAN JOURNAL OF INTERNAL MEDICINE	2,236	2.751	0.003760
48	Journal of the American Board of Family Medicine	3,588	2.661	0.006190
49	QJM-AN INTERNATIONAL JOURNAL OF MEDICINE	5,621	2.529	0.004100
50	International Journal of Medical Sciences	3,979	2.523	0.005510
51	PAIN MEDICINE	7,432	2.513	0.013000
52	BMJ Open	35,626	2.496	0.125470
53	Systematic Reviews	5,540	2.479	0.019050
54	European Journal of General Practice	750	2.478	0.001260
55	POSTGRADUATE MEDICINE	2,414	2.464	0.003670
56	INTERNATIONAL JOURNAL OF CLINICAL PRACTICE	5,203	2.444	0.004920

Druckexemplar der Publikation

Zuber A, Kumpf O, Spies C, Höft M, Deffland M, Ahlborn R, Kruppa J, Jochem R, Balzer F. Does adherence to a quality indicator regarding early weaning from invasive ventilation improve economic outcome? A single-centre retrospective study. *BMJ Open* 2022;12:e045327. doi: [10.1136/bmjopen-2020-045327](https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-045327)

# BMJ Open Does adherence to a quality indicator regarding early weaning from invasive ventilation improve economic outcome? A single-centre retrospective study

Alexander Zuber,<sup>1,2</sup> Oliver Kumpf,<sup>2</sup> Claudia Spies ,<sup>2</sup> Moritz Höft,<sup>2</sup> Marc Deffland,<sup>2</sup> Robert Ahlborn,<sup>3</sup> Jochen Kruppa,<sup>1</sup> Roland Jochem,<sup>4</sup> Felix Balzer <sup>1,2</sup>

**To cite:** Zuber A, Kumpf O, Spies C, et al. Does adherence to a quality indicator regarding early weaning from invasive ventilation improve economic outcome? A single-centre retrospective study. *BMJ Open* 2022;12:e045327. doi:10.1136/bmjopen-2020-045327

► Prepublication history and additional supplemental material for this paper are available online. To view these files, please visit the journal online (<http://dx.doi.org/10.1136/bmjopen-2020-045327>).

Received 30 September 2020  
Accepted 26 August 2021



© Author(s) (or their employer(s)) 2022. Re-use permitted under CC BY-NC. No commercial re-use. See rights and permissions. Published by BMJ.

<sup>1</sup>Institute of Medical Informatics, Charité Universitätsmedizin Berlin, Berlin, Germany

<sup>2</sup>Department of Anesthesiology and Operative Intensive Care Medicine, Charité Universitätsmedizin Berlin, Berlin, Germany

<sup>3</sup>IT Department, Charité Universitätsmedizin Berlin, Berlin, Germany

<sup>4</sup>Departments of Machine Tools and Factory Management, TU Berlin, Berlin, Germany

Correspondence to  
Professor Felix Balzer;  
[felix.balzer@charite.de](mailto:felix.balzer@charite.de)

## ABSTRACT

**Objectives** To measure and assess the economic impact of adherence to a single quality indicator (QI) regarding weaning from invasive ventilation.

**Design** Retrospective observational single-centre study, based on electronic medical and administrative records.

**Setting** Intensive care unit (ICU) of a German university hospital, reference centre for acute respiratory distress syndrome.

**Participants** Records of 3063 consecutive mechanically ventilated patients admitted to the ICU between 2012 and 2017 were extracted, of whom 583 were eligible adults for further analysis. Patients' weaning protocols were evaluated for daily adherence to quality standards until ICU discharge. Patients with <65% compliance were assigned to the low adherence group (LAG), patients with ≥65% to the high adherence group (HAG).

**Primary and secondary outcome measures** Economic healthcare costs, clinical outcomes and patients' characteristics.

**Results** The LAG consisted of 378 patients with a median negative economic results of -€3969, HAG of 205 (-€1030), respectively ( $p<0.001$ ). Median duration of ventilation was 476 (248; 769) hours in the LAG and 389 (247; 608) hours in the HAG ( $p<0.001$ ). Length of stay (LOS) in the LAG on ICU was 21 (12; 35) days and 16 (11; 25) days in the HAG ( $p<0.001$ ). LOS in the hospital was 36 (22; 61) days in the LAG, and within the HAG, respectively, 26 (18; 48) days ( $p=0.001$ ).

**Conclusions** High adherence to this single QI is associated with better clinical outcome and improved economic returns. Therefore, the results support the adherence to QI. However, the examined QI does not influence economic outcome as the decisive factor.

## INTRODUCTION

In the last decades, the need for quality management (QM) in the hospital has been growing. On one hand costs have been rising and on the other patients, health insurance and public pressure urge hospitals to improve outcome and services by cutting or tying reimbursement to valid quality indicators (QIs).<sup>1</sup> This is why in the medium and long

## Strengths and limitations of this study

- This is the first study evaluating whether a quality indicator on weaning has effects on the economic outcome parameters on a per case basis.
- Results of the cost unit accounting practice is well established and is thus representative for a detailed examination of unit costs.
- The test and validation sample was taken from a reference centre specialised on acute respiratory distress syndrome in adult patients with severe medical conditions.
- Control for interactions with other quality indicators is necessary as the examined quality indicator is potentially connected with other ones.
- The study results are based on German reimbursement system and might be typical for a tertiary university hospital rather than German hospitals in general

run quality-oriented reimbursement (pay for quality) might change the hospital landscape.<sup>2</sup> Economics of health have been established widely in order to curb costs for the national healthcare system. Many countries introduced diagnosis-related groups (DRGs) in order to pay on averaged costs and on a generalised financial reimbursement per case (fixed prices). Reimbursement for inpatients is linked to DRG accounting and updated annually based on reported data from hospitals. The fee-for-service system induces hospitals to improve internal processes as reimbursement is predefined and to work goal-oriented towards therapeutic aims.<sup>3</sup>

In modern medicine, a considerable part of hospital costs arises from intensive care. The cost structure of a tertiary German hospital shows that ca. 20% of costs are generated in intensive care units (ICUs).<sup>4</sup> Especially, mechanical ventilation is the main cost driver in ICUs.<sup>5</sup> Approximately 6% of the patients in intensive care are affected by prolonged

mechanical ventilation and weaning from mechanical ventilation represents an essential element in the treatment of critically ill patients as it can take up to 50% of the ventilation time.<sup>6</sup> As a consequence, up to 37% of all ICU resources are allocated to these patients.<sup>7</sup> This means that weaning patients from mechanical ventilation is not only essential for clinical outcomes like duration of ventilation or length of stay (LOS),<sup>8,9</sup> but also a critical step from an economic perspective as costs can be reduced. Therefore, this process is a critical phase in intensive care. However, the ideal weaning process is still subject to debate.<sup>10</sup> About 40% of patients receiving mechanical ventilation will experience a complicated weaning process.<sup>11</sup> Patients categorised in prolonged weaning, failing at least three spontaneous breathing trials (SBTs) or receiving more than 7 days of weaning after the first SBTs, have an increased risk in developing hospital mortality, mainly through ventilator-associated pneumonia (VAP),<sup>6</sup> but also through postintensive care syndrome (PICS) or chronic critical illness (CCI).<sup>12</sup> Due to demographic changes and technological advances in intensive care, the number of older patients with complex diseases or comorbidities needing ventilation is increasing.<sup>13,14</sup> This generates growing costs, as the cohort of patients requiring respiratory support accounts for a disproportionate percentage of the resources available in intensive care.<sup>15</sup>

With the purpose of managing quality throughout the difficult framework conditions of hospital care, a proactive and structured QM is essential.<sup>16</sup> In general, QM focuses on securing and improving clinical services economically, performed by physicians or nurses according to the patient's needs.<sup>17</sup> In Germany, in the context of European and national QM initiatives, consensus-based standardised QIs were developed for intensive care medicine since 2010—third version in 2017—by the German interdisciplinary society for intensive and emergency care (DIVI) in order to simplify the measurement of relevant quality data, to record timely and to allow transparent comparisons of patient data. The according quantification of QM helps measuring effectiveness and efficiency of ICUs.<sup>18,19</sup> QIs enable a descriptive picture of the actual condition and are an indispensable instrument for comparisons between different states of quality.<sup>18</sup> Potentially, widely accepted QIs can progress hospital economics and support the reduction of the national budget for health-care, even though a recent study has shown that cost-quality relationships are difficult to generate.<sup>20</sup>

QIs empower advances in intensive care medicine to be measured and evaluated on a regular basis.<sup>19</sup> QIs can be defined as representative figures for quality of structure, processes or outcome within the medical care process. Thus, indicators are useful for measuring improvement in the context of QM and should be developed in line with evidence-based literature.<sup>21</sup> Ideally, measures for QIs can be extracted from routine patient data to avoid excess documentation work. Therefore, patient data management systems (PDMS) are pivotal for measuring complex quality figures.<sup>18</sup> The economic aspects for the whole

hospital of the introduction of QIs are not well investigated. However, the evidence that the application of QIs is a value-creating instrument.<sup>12</sup>

The objective of this study was, to determine the economic impact of adherence to a single QI evaluating the weaning process from invasive ventilation. We analysed this by comparing economic results per case and clinical outcome parameters like LOS between two groups of either high-quality or low-quality adherence. Additionally, we sought to determine factors that would influence a potential interaction between economic and outcome parameters.

## METHODS

This original research is in accordance with the Consolidated Health Economic Evaluation Research Standards.

### Patient and public involvement

Patients and the public were not directly involved in this observational study.

### Study centre

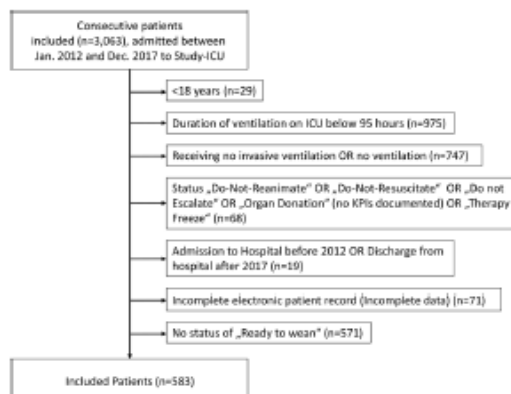
We conducted this single study-centre in a university hospital (Charité-Universitätsmedizin Berlin). This observational analysis was performed at a 14-bed ICU (reference centre), specialised in treatment of acute respiratory distress syndrome in adult patients. All patients at our ICU were treated according to guidelines and internal standard operating procedures for clinical practice.<sup>22</sup>

### Study design

This was a retrospective descriptive study, using data from multiple electronic databases used in routine patient care and for routine administrative purposes. All patients admitted to and discharged from the ICU between 1 January 2012 and 31 December 2017 who received invasive ventilation during their stay were eligible to be included in this study. Furthermore, duration of ventilation <95 hours, receiving no invasive ventilation, terminal status, incomplete patient record or missing readiness to be weaned were defined as exclusion criteria (see figure 1).

Confidentiality was guaranteed, no interventions were performed and only clinical routine data were collected. Data were retrieved from a PDMS called (Computer Organised Patient Report Assistant; COPRA System, Berlin, Germany). Data are recorded both automatically by patient monitors and manually by caregivers. The ICU staff validates all information manually. However, the design of the PDMS prevents manual alterations to the data, for example adding missing values after discharge from the ICU. PDMS data are also transferred to the clinical information and accounting system (SAP, Walldorf, Germany). Based on this administrative system, cost unit accounting is performed annually. In addition to basic demographic data, we assessed clinical and administrative parameters of in-patient cases (eg, LOS). Data were





**Figure 1** Patient inclusion and exclusion criteria. Flow chart of the process used in this study for patient record inclusion. Numbers listed are number of patients in each group. ICUs, intensive care units; KPIs, key performance indicators.

retrieved using a structured query. No patient identifiers were extracted in order to secure anonymity of patients' data. Data related to diagnoses were not retrieved from the administrative systems.

PDMS data of patients included in the study were transferred to the study database, where we also collected the administrative and cost accounting data, respectively. We contrasted patient, intensive care and economic parameters of the two adherence groups (see table 1). Then, we calculated the profits per case by subtracting costs of reimbursement per case. In order to generate an economic outcome per case for the dependent variable in multivariate linear regression. Besides administrative data, we used different scores for assessing the QI for eligibility. Selection criteria were: (1) no additional workload required for documentation, (2) the availability within the PDMS system, (3) standardised values for all patients and the existence of standard operating procedures for each indicator and (4) the relevance of the indicator for clinical decision making.<sup>19,23</sup>

### Procedures

In this study, we used present key performance indicators (KPIs) in order to examine the adherence to the QI 'Early Weaning from Invasive Ventilation' until ICU discharge.<sup>8</sup> A small set of evidence-based KPIs was established in 2009, providing indicators that were already available within the PDMS. The KPIs in intensive care medicine proved helpful for practical use and compliance with standard operating procedures. A description of the KPI is provided in online supplemental material. Within the weaning therapy, fast visual feedback for 'readiness to wean' and 'weaning protocol compliance' were implemented. If both KPIs were positive, the according result of the SBT was recorded.<sup>23</sup> Once the patient was assessed to be ready to wean since the primary disease showed clinical improvement, the standard weaning protocol activities

were conducted on a daily basis according to standard operating procedures. Congruent with clinical guidelines in place, weaning protocols were adapted to evaluate the progress of respirator therapy.<sup>22</sup> The subsequent result was recorded in the weaning protocol. For each patient, we monitored the daily weaning protocol compliance between readiness to wean and ICU-discharge in order to evaluate the percentage of adherence. Within the weaning process, the SBT represents the major diagnostic test to evaluate if the patient can be extubated successfully.<sup>10</sup> The SBT is successful if the patient succeeded the trial and does not have to be re-intubated within 48 hours.<sup>24</sup> This process is directly linked to a specific QI for weaning derived from the DIVI-QI.<sup>19</sup> A definition of the indicator is presented in online supplemental material.

### Outcome parameters

In this study, we investigated for economic results, clinical outcome parameters per case and the respective adherence to quality. Economic results were defined as the profit or loss per case, by subtracting all assigned costs from the reimbursement on a case level. Clinical outcomes as a representative for clinical effectiveness were measured in order to set economic outcomes in relation to the purpose of medicine. Adherence to quality was calculated on a per case level in order to categorise the patients into groups.

We used the adherence level of the examined QI in order to create two quality groups. We calculated the final quality level by averaging the daily indicator results for the duration with equal weights per day. In order to set the optimal cut-off point for dichotomously distinguishing between high-adherence and low-adherence of weaning quality, we combined recommendations from literature with our institutional standards. A cut-off value of 70% deemed as a suitable fulfillment-threshold for QIs.<sup>25</sup> However, due to partially high workload under certain circumstances in intensive care, we decided to lower the cut-off for 5% tolerance in order to account for missing values in documentation. Therefore, we inserted a cut-off for weaning protocol compliance at 65% adherence. The low adherence group (LAG) was defined as adherence to QI of less than 65%. The high adherence group (HAG) was defined as adherence to QI of equal or more than 65%. Once this threshold was reached, the QI was characterised as high adherence.

### Statistical analyses

Descriptive analyses and statistical testing were performed using SPSS, V.14.0 (SPSS) for Windows. Results are expressed as median (IQR) or frequency (%). We controlled data for risk and severity by exclusion as patients and therapies in intensive care are heterogeneous, as studies have shown.<sup>18</sup> Differences between the adherence groups in terms of outcome parameters were tested using the univariate unpaired t-test and  $\chi^2$  statistics for independent variables as appropriate with a  $p < 0.05$  regarded as significant.


**Table 1** Patient demographics and outcome parameters in comparison between QI adherence groups

	All patients n=583	LAG QI <65% n=378	HAG QI ≥65% n=205	P value
<b>Demographics</b>				
Age (years)	57 (40; 70)	57 (40; 70)	55 (42; 69)	0.770
Gender (male)	377 (64.7%)	233 (61.6%)	144 (70.2%)	0.038
<b>ICU score on admission</b>				
APACHE II	21 (14;27)	21 (15;27)	21 (14;27)	0.986
SAPS II	47 (34;61)	47 (35;60)	47 (34;62)	0.860
SOFA	9 (7;12)	9 (7;12)	9 (7;13)	0.526
Average SOFA	8.2 (6.6;10.3)	8 (6.5;10.1)	8.4 (6.8;10.7)	0.140
<b>Type of admission to Study-ICU</b>				
Medical	290 (49.7%)	190 (50.3%)	100 (48.8%)	
Emergency surgery	232 (39.8%)	146 (38.6%)	86 (41.9%)	
Elective surgery	61 (10.5%)	42 (11.1%)	19 (9.3%)	
<b>Outcome parameter</b>				
Duration of Ventilation Study-ICU (hour)	431 (250;709)	476 (248;769)	389 (247;608)	<0.001
Total duration of ventilation hospital (hour)	578 (338;924)	597 (310;992)	535 (361;821)	0.017
No spontaneous breathing trials	1 (0;2)	1 (0;2)	1 (0;2)	0.456
No reintubation	0 (0;1)	0 (0;1)	0 (0;1)	0.531
<b>Type of discharge of study-ICU</b>				
ICU	161 (27.6%)	100 (26.5%)	61 (29.8%)	
Intermediate/ward	260 (44.6%)	172 (45.5%)	88 (42.9%)	
Rehabilitation	110 (18.9%)	56 (14.8%)	54 (26.3%)	
ICU mortality	52 (8.9%)	50 (13.2%)	2 (1.0%)	
LOS Study-ICU (days)	19 (11;32)	21 (12;35)	16 (11;25)	<0.001
LOS hospital (days)	33 (20;54)	36 (22;61)	26 (18;48)	0.001
Profit (€)	-2999 (-15 946; 7730)	-3696 (-21 170; 6828)	-1030 (-11 134; 9449)	<0.001

Discrete variables are presented as a total number of encounters and were analysed with  $\chi^2$  test for non-parametric samples. APACHE II, Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II; HAG, high adherence group; ICU, Intensive care unit; LAG, low adherence group; LOS, Length of stay; QI, quality indicator; SAPS, Simplified Acute Physiology Score; SOFA, Sequential Organ Failure Assessment.

In order to investigate the influencing factors in more detail, parameters that were found to be statistically significant on univariate analysis or out of discussion among the experts underwent stepwise multivariate analyses. We used multiple linear regression analyses to model the relationship between the independent variables and the outcome of profitability. Regression coefficients (95% CI) and the corresponding p values were calculated for each factor. Testing the dataset for outliers was performed using the cook distance test, based on the model. The test did not indicate the need to dismiss cases from the sample. Due to an exploratory character of the research, no adjustments for multiple testing were made.

## RESULTS

All patients with complete electronic patient records (n=3063 patients) were screened for eligibility. After selection regarding inclusion and exclusion criteria, 583 patients were included in the final analysis (figure 1). Of these patients, 378 showed low-adherence if the indicator was below 65% and 205 showed high adherence. The median age of admitted patients was 57 (40; 70) years; 64.7% of patients were male. There were significantly (p=0.038) more male patients within the HAG (70.2%) than in the LAG (61.6%). As reflected by a median Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II (APACHE II) admission score of 21 (14; 27), a Simplified Acute Physiology Score II (SAPS II) admission score of 47 (34; 61) and a Sequential Organ Failure Assessment (SOFA) admission score of 9 (7; 12), the study population was characterised by severe medical conditions. Patient

demographics are displayed in table 1. Along the line, at discharge patients generated an average daily SOFA score of 8.2 (6.6; 10.3) indicating resource-intensive monitoring and treatment of the patient.

In order to account for the remaining clinical patient outcomes after grouping, we analysed the ventilation parameters. Overall in the median, patients were ventilated for 431 (250; 709) hours on the ICU and 578 (338; 924) throughout their hospital stay. Following the division into two adherence groups, there was a significant reduction in duration of ventilation on ICU from 476 to 389 hours ( $p<0.001$ ). Overall in-hospital duration of ventilation was decreased from 597 to 535 hours ( $p=0.017$ ). Concerning the number of SBTs and reintubations, there was no significant finding ( $p=0.456$  and  $p=0.531$ ). In addition to the significant decrease in ventilation parameters seen between the differences in adherence, the LOS was decreased by 5 days from 21 to 16 ( $p<0.001$ ) and overall in-hospital LOS decreased from 36 to 26 days per patient ( $p=0.001$ ) in the median, indicating strong arguments for QI adherence. With regard to economic outcome, the overall median economic results (loss) per case was -€2999. There was an increase in profitability from a median loss of €3696-€1030 ( $p<0.001$ ).

Considering the discharge of the patients, there was a highly significant difference ( $p<0.001$ ) between both groups. Most patients were discharged to intermediate care (44.6%), other ICUs (27.6%) or rehabilitation (18.9%). Within the LAG, 50 (13.2%) patients died on the ICU compared with 2 (1.0%) in the HAG. This gives room to assume a certain impact of weaning quality on mortality. However, since we did not include diagnosis data, we cannot exclude an influence from this fact.

#### Multiple linear regression

The results of the multivariate linear regression analysis of the complete study population of 583 patients are given in table 2. The parameters were not adjusted for severity

**Table 2** Multiple linear regression analysis of factors affecting the profit of 583 intensive care patients who underwent the weaning process

Variable	B (95% CI)	SE	P value
Age (years)	-16 (-119 to 87)	52	0.765
Gender (male)	1139 (-2628 to 4906)	1918	0.553
Quality (%)*	3732 (-2457 to 9920)	3151	0.237
LOS Study-ICU (days)	-529 (-671 to -387)	72	<0.001
LOS hospital (days)	-143 (-213 to -71)	36	<0.001
Reintubations	-928 (-2.457 to 602)	779	0.234
Average SOFA	1608 (892 to 2323)	364	<0.001
Daily costs (€)	-7.6 (-11 to -4)	2	<0.001

\*Quality, adherence to the quality indicator 'early weaning from invasive ventilation'.  
ICU, intensive care unit; LOS, length of stay; SOFA, Sequential Organ Failure Assessment.

of illness. The fixed variables age, sex and percentage of QI adherence examined did not show significant effects on profitability.

In the linear regression analysis, the LOS on the study-ICU ( $p<0.001$ ), the LOS in the hospital ( $p<0.001$ ), the averaged daily SOFA score ( $p<0.001$ ) and the averaged daily costs per patient ( $p<0.001$ ) were shown to have significant effects on the profitability (table 2). Strong effects were found for the averaged daily SOFA score, which increased profits per case by €1608 (95% CI €892 to €2323) for each SOFA point. Furthermore, the LOS on the ICU decreased profits per case for €529 for every day longer on the ICU. To the best of our knowledge, multivariate regression for economic outcome has not yet been conducted for these factors. The regression model was performed without the admission scores for SAPS II, SOFA and APACHE II. When these scores were included, the statistical significances remained unchanged for the remaining variables that were analysed (see table 2).

Comparing the cumulative parameters of weaning patients along the years (see table 3), a higher number of patients weaned as well as a higher average SOFA-score can be associated with a higher number of median economic result. The observation over time supports the outcome parameters of table 1. Considering the development since 2012, there is an increase in the number of patients weaned per year and a decrease in the median hours of ventilation per patient.

#### DISCUSSION

The most important finding was that clinical and economic results were better within the HAG than the LAG. We sought to evaluate whether adherence above a certain quality threshold leads to a better economic result per case for the hospital. Our univariate model confirmed our hypothesis that higher quality leads to better LOS and hospital costs of intensive care patients. However, an improvement of the QI 'early weaning' was not directly associated with a significant impact on the profitability per case. In the regression model, we were not able to prove that more quality lead to higher earnings. Instead, significant factors were clinical outcome parameters (LOS ICU, LOS Hospital and averaged daily SOFA score), which had direct effects on profitability. Moreover, these parameters were also superior within the HAG, indicating a certain quality effect. This sequence of effects shows that quality affects the economic results indirectly via clinical outcome. This means that quality leads to clinical efficiency. Literature already proposes a more effective use of the costly resource ICU.<sup>26</sup> Thus, from an economic perspective it is recommended to transfer patients as early as possible from ICU downstream (eg, intermediate care) since a prolonged ICU-stay might be inappropriate, dangerous and costly.<sup>25 25</sup>

Highly specialised ICUs are resource-intensive and cost-intensive and not universally available. By implementing QM as a method to constantly eliminating the factors


**Table 3** Financial demographics in median over time of 583 patients who underwent the weaning process

Variable	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Weaning patients	65	82	100	114	125	97
Average SOFA	7.5 (5.6; 9.3)	8.3 (6.7; 11.0)	8.2 (6.5; 10.1)	8.1 (6.6; 9.6)	8.9 (7.0; 10.7)	8.3 (6.7; 11.0)
Duration of ventilation (hour)	660 (480; 977)	451 (230; 667)	400 (206; 673)	439 (261; 720)	374 (239; 602)	364 (210; 619)
Case-Mix Index*	22.7 (19.1; 30.1)	18.0 (11.0; 23.9)	19.6 (11.6; 28.1)	18.8 (10.9; 23.8)	17.7 (11.6; 29.1)	23.2 (13.9; 32.2)
Profits per case (€)†	-12 517 (-24 848; -806)	-11 011 (-28 547; 999)	-945 (-14 141; 8643)	390 (-11 340; 12201)	3439 (-7494; 8784)	-3136 (-22 012; 8284)

\*Case-Mix Index, Averaged case-mix per case according to German DRG-system.  
 †Averaged financial result per case.  
 DRG, diagnosis-related group; SOFA, Sequential Organ Failure Assessment.

of chance, hospitals are trying to reduce complexity in defining, measuring and learning from QIs. Furthermore, QM is associated as a necessity for certification processes and therefore incremental part of critical care concepts.<sup>1</sup> The importance of weaning protocols and according adherence is based on studies that have proven between 70% and 80% of all patients receiving >24 hour invasive ventilation could already be weaned after the first SBT.<sup>8 27 28</sup> This is why in 2011, a study at our institution investigated that the support of fast visual feedback for adherence to standard operating procedures within the PDMS led to decreased duration of mechanical ventilation and higher documentation compliance, supporting our findings.<sup>29</sup> The approach of measuring and steering quality with indicators carries several direct and indirect economic incentives. First, less loss per patient due to better clinical outcome has positive effects on the general economic results of the department. Second, decreased LOS on the ICU gives room to available beds earlier and therefore other patients to fill in the existing resource.<sup>30</sup> Third, because of public reporting and potential pay for quality structures, indicators are important methods for measuring quality and safety in healthcare, resulting in better outcome.<sup>31</sup> In particular, transparent QIs allow department leaders to identify weak spots and initiate improvement in a structured and measurable way.<sup>2</sup> Our matched with a study performed in 2008, showing positive clinical outcome effects of ventilator weaning protocol measures.<sup>32</sup> Patients spent less time on mechanical ventilation, and thus less time in intensive care and in the hospital. We found that the more patients that could be weaned per year, the less time they spent on the ventilator and better the economic results followed, since more patients generating contribution margins covered fixed costs. This effect shows that redundant capacities can be used for new admissions and thus higher throughput, similar to a former study at our institution.<sup>33</sup>

This study is the first to find that high adherence to the QI 'early weaning from invasive ventilation' above a proven threshold of 65% showed higher economic returns (or less losses) than low adherence. Furthermore,

the study is unique in using a case defined data set to examine the economic effect of a single QI. Current economic prediction models in intensive care usually describe interventions of entire QM programmes<sup>30</sup> or changes in staffing.<sup>33</sup> Overall, we found that the median financial return for a hospital is negative when focusing on weaning from ventilation. This is independent of their QI adherence results. In Germany, insurance companies reimburse hospitals using the G-DRG System (German DGRs System) based on a performance-oriented compensation for inpatients. Within DRG-Systems,<sup>30</sup> the casemix of weaning patients does not provide adequate economic incentives for quality based critical care since the reimbursement is mainly focused on procedures, for example, duration of ventilation. This is consistent with other studies that found higher process quality led to decreased ventilator dependence and reduced reimbursement.<sup>25 26 34</sup> To avoid wrong incentives, reimbursement should potentially be tied to patient-centred outcomes. For example, the prevention of VAP, PICS and CCIs. In this study, we used comprehensive per-patient cost data, based exclusively on the DRG-system. At our institution, a case-related cost calculation is well established and highly accurate for reimbursement per case and costs since we have been substantial cost-accounting reference centre since the beginning of the G-DRG-system. Therefore, we used this administrative data to calculate the economic outcome per case.<sup>35</sup> In Germany, a representative mix of hospitals gather case-related treatment costs on a yearly basis in order to report them to the Institute for the Hospital Reimbursement System for continuous development.<sup>30</sup> On an annual basis, cost weights are adjusted for each DRG, potentially leading to higher reimbursement per case. Hospitals can also benefit from economies of scale, considering more cases per year with fixed reimbursement values. This may explain why in 2015 and 2016 profits per case were higher.

The results of this study can inform policy-makers on the following points: In Germany, the application of QIs in critical care is so far not mandatory.<sup>12</sup> Since positive effects of clinical and economic parameters can be found

measuring the adherence to only one indicator of the DIVI set ( $n=10$ ), it is recommended to establish QIs widely and combine patient-centred outcomes with economic outcomes systematically. Over the years examined, we found that weaning and the according QI have developed positively as the number of patients receiving weaning increased while the duration of ventilation per patient decreased. The relation between these two parameters shows that the quality of care increased and the organisation for the volume effect became more efficient, which is a dominant economic factor according to Nguyen *et al.*<sup>37</sup> However, in order to evolve further in this direction, intensive care needs adequate reimbursement. Higher assessment scores as SAPS II or SOFA play an important role in ICU reimbursement and might induce higher DRG reimbursement. Considering QM, contrary to the majority of ward care, which benefits from shorter LOS within the flat-compensation system, a decrease in LOS in intensive care is not rewarded with higher reimbursement. Literature confirms our analyses.<sup>36</sup> This is why we recommend that efforts for quality should be shifted in the centre of reimbursement in intensive care for better clinical outcomes, following the approach of valued-based payment (pay for quality), where ICUs are checked on costs and quality of service.<sup>38</sup> Furthermore, because keeping patients on the ICU and on mechanical ventilation economically-incentivised is proven to be dangerous for the patient<sup>8</sup> and inefficient for the organisation.<sup>30</sup> This structural change can ensure the incentives for intensivists to adhere to quality standards instead of collecting ventilation hours. Our argument is supported by a recent publication of a group of experts in intensive care. They argue in favour for a reform in hospital reimbursement, away from flat-compensation towards progressive levels of intensive care. Moreover, they suggest a central planning of all system relevant intensive care infrastructures and according criteria for quality standards.<sup>39</sup> In the end, hospitals benefit from investments in quality, as clinical quality has subsequent effects on economic returns. Thus, not only hospitals, insurance companies and policy-makers profit from adherence to QIs, also the patient who should be in the centre of healthcare does.

#### Unanswered questions and future research

As noted previously, the study was conducted in a tertiary university hospital, which is characterised by specific and well-established medical processes and structures. A transfer of our observations to other ICUs or reimbursement systems is not feasible. The current study is subject to its retrospective design and potential selection bias, as some of the cases with incomplete data or special diagnoses were not detected during the observation period. We could have used neurological and neurosurgical diagnoses to exclude patients with low chances for weaning outcome, but in our administrative system there is no time point matched to it accordingly as diagnoses are often added just before discharge. For example, patients developing specific neurological conditions after their stay

on the study-ICU. Some aspects of our analysis deserve comment on limitation. First, the weaning process has constantly evolved during the years between 2012 and 2017. Since the importance of the weaning protocol emerged throughout the years, the focus on measures hereof and according documentation improved over the years as documentation became mandatory at our institution.<sup>8</sup> Furthermore, it was not possible matching the qualifications of staffing as a determinant of adherence to quality and curbing of costs. There is supposed to be a connection between experience and cost awareness.<sup>40</sup> Second, even though indicators and our study-ICU can be examined independently for research purposes, the QI and its progression are substantially connected to other intensive care indicators.<sup>19</sup> For further research, the interactions between the QIs and the progression on other ICUs need to be considered. Our results provide a robust assessment of the impact of changes of the quality adherence and robust evaluation of their effects.

#### CONCLUSION

While the need for critical care increases constantly for various reasons (eg, demographic change or pandemic crisis), the challenge to provide high-quality but cost-effective services will only become more important. Available resources differ among the various hospital sizes and types. Although we examined a single indicator for quality in a university reference centre and found proof that high adherence to it lead to significantly better clinical outcome, we think patients and hospitals in general benefit from high adherence to quality measures. Within the univariate analysis, major clinical parameters were significantly better in the HAG. Furthermore, we showed that adherence for 65% or higher generated significantly higher median earnings within our univariate analysis. However, we also showed that the investigated QI does not significantly affect economic results in our multivariate analysis. Instead, by using clinical parameters as proxies for clinical outcome, they were found to be the main drivers for according economic success. The reason for this is the increased number of patients who could be treated due to more total capacity, when LOS decreased due to higher quality. This is why the focus of this study is not only on reimbursement and on costs, but also on the direct effect of quality on the clinical outcome, which subsequently influences economic results.

Overall, quality matters for reimbursement, but reimbursement is not adjusted to the costs of providing quality. Since there is no central, structured and timely publication of comparable quality data in Germany, it is difficult for politics and assurances to reimburse on a pay for quality model as the basis for comparisons is missing as not mandatory. Still, as quality in treatment is decisive for the patient's hospital choice and the results of the treatment, QIs will be essential for public information and health economics as the patient decides where to be treated.

**Contributors** CS introduced quality indicator based treatment for critically ill patients at Charité hospital in terms of both research and implementation in patient care. She perceived the underlying idea for this study. CS and FB set the aims and design of this study. They accept full responsibility for the work, had access to the data and controlled the decision to publish. AZ and RA performed data collection. AZ conducted statistical analysis supervised by JK. AZ shared responsibility for the study design, had full access to the data and drafted the manuscript. CS and OK contributed to the interpretation of data from a medical point of view, and specifically from the perspective of quality indicators. MH and MD contributed from the perspective of economics, RJ from the perspective of quality science. FB supervised the overall coordination of the study and contributed from the data science perspective. All authors critically reviewed and advised with their expertise on the manuscript.

**Funding** This analysis is part of a quality improvement effort from the Department of Anesthesiology and Operative Intensive Care Medicine of the Charité Universitätsmedizin – Berlin, Campus Mitte and Virchow-Klinikum.

**Competing interests** CS reports grants from Ardis Pharmaceutical, grants from B. Braun Melsungen AG, grants from Drägerwerk AG & Co. KGaA, grants from Deutsche Forschungsgemeinschaft/German Research Society, grants from Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)/German Aerospace Centre, grants from Einstein Stiftung Berlin/Einstein Foundation Berlin, grants from European Society of Anaesthesiology, grants from Gemeinsamer Bundesausschuss/Federal Joint Committee (G-BA), grants from Inneruniversitäre Forschungsförderung/Inner University Grants, grants from Projektträger im DLR/Project Management Agency, grants from Stifterverband/Non-Profit Society Promoting Science and Education, grants from WHOCC, grants from Baxter Deutschland, grants from Cytosorbents Europe, grants from Edwards Lifesciences Germany, grants from Fresenius Medical Care, grants from Grünenthal, grants from Masimo Europe, grants from Pfizer Pharma PFE, personal fees from Georg Thieme Verlag, grants from Dr. F. Köhler Chemie, grants from Sintetica, grants from European Commission, grants from Stifterverband für die deutsche Wissenschaft e.V./Philips, grants from Stiftung Charité, grants from AGUETTANT Deutschland, grants from AbbVie Deutschland GmbH & Co. KG, grants from Amomed Pharma GmbH, grants from InTouch Health, grants from Copra System, grants from Correvio, grants from Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V., grants from Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie & Intensivmedizin (DGAI), grants from Stifterverband für die deutsche Wissenschaft e.V./Medtronic, grants from Philips Electronics Nederland BV, grants from BMH, outside the submitted work; In addition, CS has a patent 10 2014 215 211.9 licensed, a patent 10 2014 215 212.9 licensed, a patent 10 2018 114 364.8 licensed, and a patent 10 2018 110 275.5 licensed. MH has nothing to disclose. MD has nothing to disclose. RA has nothing to disclose. JK has nothing to disclose. RJ has nothing to disclose. FB reports grants from Einstein Foundation, personal fees from Axon Publishing, grants from Vifor Pharma, personal fees from Elsevier Publishing, grants from Federal Ministry of Health, Germany, grants from Berlin Institute of Health, outside the submitted work.

**Patient consent for publication** Not applicable.

**Ethics approval** The study was approved by the Ethics Commission of Charité – Universitätsmedizin Berlin (EA2/139/20). The need for patient's consent was waived due to the retrospective nature of the study.

**Provenance and peer review** Not commissioned; externally peer reviewed.

**Data availability statement** Data are available on reasonable request.

**Supplemental material** This content has been supplied by the author(s). It has not been vetted by BMJ Publishing Group Limited (BMJ) and may not have been peer-reviewed. Any opinions or recommendations discussed are solely those of the author(s) and are not endorsed by BMJ. BMJ disclaims all liability and responsibility arising from any reliance placed on the content. Where the content includes any translated material, BMJ does not warrant the accuracy and reliability of the translations (including but not limited to local regulations, clinical guidelines, terminology, drug names and drug dosages), and is not responsible for any error and/or omissions arising from translation and adaptation or otherwise.

**Open access** This is an open access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited, appropriate credit is given, any changes made indicated, and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

**ORCID iDs**

Claudia Spies <http://orcid.org/0000-0002-1062-0495>

Felix Balzer <http://orcid.org/0000-0002-6789-8471>

## REFERENCES

- 1 Hottel M, Roßmüller T, Frommhold K. [Quality Management in Medicine: What the Surgeon Needs to Know]. *Zentralbl Chir* 2016;141:583–90.
- 2 Magunia P, Keller M, Rhode A. [Effects of quality-oriented remuneration]. *Unfallchirurg* 2016;119:454–6.
- 3 Busse R, Geissler A, Aaviksoo A, et al. Diagnosis related groups in Europe: moving towards transparency, efficiency, and quality in hospitals? *BMJ* 2013;346:f3197.
- 4 Martin J, Neurohr C, Bauer M, et al. [Cost of intensive care in a German hospital: cost-unit accounting based on the INEK matrix]. *Anaesthesist* 2008;57:505–12.
- 5 Cooper LM, Linde-Zwirble WT. Medicare intensive care unit use: analysis of incidence, cost, and payment. *Crit Care Med* 2004;32:2247–53.
- 6 Funk G-C, Anders S, Breyer M-K, et al. Incidence and outcome of weaning from mechanical ventilation according to new categories. *Eur Respir J* 2010;35:88–94.
- 7 Cox CE, Carson SS, Govert JA, et al. An economic evaluation of prolonged mechanical ventilation. *Crit Care Med* 2007;35:1918–27.
- 8 Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie & Intensivmedizin. S3-Leitlinie invasive Beatmung und Einsatz extrakorporaler Verfahren bei akuter respiratorischer Insuffizienz, Langversion, stand 04.12.2017, 2017. Available: [www.intensivmedizin-leipzig.de](http://www.intensivmedizin-leipzig.de) [Accessed 21 Nov 2018].
- 9 Ely EW, Baker AM, Dunagan DP, et al. Effect on the duration of mechanical ventilation of identifying patients capable of breathing spontaneously. *N Engl J Med* 1996;335:1864–9.
- 10 Pham T, Brochard LJ, Slutsky AS. Mechanical ventilation: state of the art. *Mayo Clin Proc* 2017;92:1382–400.
- 11 Cohen IL, Booth FV. Cost containment and mechanical ventilation in the United States. *New Horiz* 1994;2:283–90.
- 12 Kumpf O. [Quality indicators in intensive care medicine : Background and practical use]. *Med Klin Intensivmed Notfmed* 2021;116:17–28.
- 13 Ihra GC, Lehberger J, Hochrieser H, et al. Development of demographics and outcome of very old critically ill patients admitted to intensive care units. *Intensive Care Med* 2012;38:620–6.
- 14 WeanNet Study Group. [WeanNet: The network of weaning units of the DGP (Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin) - results to epidemiology an outcome in patients with prolonged weaning]. *Dtsch Med Wochenschr* 2016;141:e166–72.
- 15 Navalesi P, Frigerio P, Patzlaff A, et al. Prolonged weaning: from the intensive care unit to home. *Rev Port Pneumol* 2014;20:264–72.
- 16 Braun J-P, Bause H, Bloos F, et al. Peer reviewing critical care: a pragmatic approach to quality management. *Ger Med Sci* 2010;8:Doc23.
- 17 Bundesministerium für Gesundheit. Qualitätssicherung im Krankenhausbereich, 2018. Available: <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/qualitaet-krankenhausversorgung.html> [Accessed 3 Sep 2018].
- 18 Brinkmann A, Braun JP, Riessen R, et al. [Quality assurance concepts in intensive care medicine]. *Med Klin Intensivmed Notfmed* 2015;110:575–80. 582–583.
- 19 Kumpf O, Braun J-P, Brinkmann A, et al. Quality indicators in intensive care medicine for Germany - third edition 2017. *Ger Med Sci* 2017;15:Doc10.
- 20 Segard R, Enemark U. The cost-quality relationship in European hospitals: a systematic review. *J Health Serv Res Policy* 2017;22:126–33.
- 21 Donabedian A. The role of outcomes in quality assessment and assurance. *QRB Qual Rev Bull* 1992;18:356–60.
- 22 Spies C, Kastrup M, Kerner T. SOPs in Anästhesiologie und Schmerztherapie. *Thieme* 2013.
- 23 Kastrup M, von Dossow V, Seeling M, et al. Key performance indicators in intensive care medicine. A retrospective matched cohort study. *J Int Med Res* 2009;37:1267–84.
- 24 Fadila M, Regunath H. *Ventilator weaning*. Treasure Island, FL, 2018.
- 25 Nachtigall I, Tamarkin A, Tafelski S, et al. Impact of adherence to standard operating procedures for pneumonia on outcome of intensive care unit patients. *Crit Care Med* 2009;37:159–66.
- 26 Rapoport J, Teres D, Zhao Y, et al. Length of stay data as a guide to hospital economic performance for ICU patients. *Med Care* 2003;41:386–97.
- 27 Brochard L, Rauss A, Benito S, et al. Comparison of three methods of gradual withdrawal from ventilatory support during

- weaning from mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 1994;150:896–903.
- 28 Vitacla M, Vianello A, Colombo D, et al. Comparison of two methods for weaning patients with chronic obstructive pulmonary disease requiring mechanical ventilation for more than 15 days. *Am J Respir Crit Care Med* 2001;164:225–30.
- 29 Kastrup M, Nolting MJ, Ahlborn R, et al. An electronic tool for visual feedback to monitor the adherence to quality indicators in intensive care medicine. *J Int Med Res* 2011;39:2187–200.
- 30 Smyrnios NA, Connolly A, Wilson MM, et al. Effects of a multifaceted, multidisciplinary, hospital-wide quality improvement program on weaning from mechanical ventilation. *Crit Care Med* 2002;30:1224–30.
- 31 Lindenauer PK, Remus D, Roman S, et al. Public reporting and pay for performance in hospital quality improvement. *N Engl J Med* 2007;356:486–96.
- 32 Girard TD, Kress JP, Fuchs BD, et al. Efficacy and safety of a paired sedation and ventilator weaning protocol for mechanically ventilated patients in intensive care (awakening and breathing controlled trial): a randomised controlled trial. *Lancet* 2008;371:126–34.
- 33 Kastrup M, Seeling M, Barthel S, et al. Effects of intensivist coverage in a post-anaesthesia care unit on surgical patients' case mix and characteristics of the intensive care unit. *Crit Care* 2012;16:R126.
- 34 Soo Hoo GW, Wen YE, Nguyen TV, et al. Impact of clinical guidelines in the management of severe hospital-acquired pneumonia. *Chest* 2005;128:2778–87.
- 35 InEK GmbH. Kalkulation von Behandlungskosten, 2016. Available: [https://www.g-drg.de/Kalkulation2/DRG-Fallpauschalen\\_17b\\_KHG/Kalkulationshandbuch](https://www.g-drg.de/Kalkulation2/DRG-Fallpauschalen_17b_KHG/Kalkulationshandbuch)
- 36 Riessen R, Hermes C, Bodmann K-F, et al. [Reimbursement of intensive care services in the German DRG system : Current problems and possible solutions]. *Med Klin Intensivmed Notfmed* 2018;113:13–23.
- 37 Nguyen Y-L, Wallace DJ, Yordanov Y, et al. The volume-outcome relationship in critical care: a systematic review and meta-analysis. *Chest* 2015;148:79–92.
- 38 Blumenthal D, Abrams MK. Tailoring complex care management for High-Need, high-cost patients. *JAMA* 2016;316:1657–8.
- 39 Riessen R, Markewitz A, Grigoleit M, et al. [Discussion paper for a hospital financing reform in Germany from the perspective of intensive care medicine]. *Med Klin Intensivmed Notfmed* 2020;115:59–66.
- 40 Wunsch H, Gershengorn H, Scales DC. Economics of ICU organization and management. *Crit Care Clin* 2012;28:25–37. v.

## **Lebenslauf**

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.



## **Vollständige Publikationsliste**

1. Zuber A, Kumpf O, Spies C, Höft M, Deffland M, Ahlborn R, Kruppa J, Jochem R, Balzer F. Does adherence to a quality indicator regarding early weaning from invasive ventilation improve economic outcome? A single-centre retrospective study. *BMJ Open* 2022;12:e045327. doi: [10.1136/bmjopen-2020-045327](https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-045327)

**Impact Factor im Erscheinungsjahr: 2.692**

## Danksagung

Ich möchte mich herzlich bei allen Personen bedanken, die mich während meiner Promotionszeit begleitet und unterstützt haben.

Zunächst gilt mein Dank meinem Doktorvater Prof. Dr. Dr. Felix Balzer für die Offenheit und Überlassung des Themas und die stete Unterstützung. Deine kritische Auseinandersetzung mit meiner Arbeit und die hilfreichen Kommentare haben zum Gelingen der Dissertation beigetragen und mich in meiner wissenschaftlichen Tätigkeit weitergebracht. Mein besonderer Dank gilt ebenso Dr. med. Oliver Kumpf für seine wissenschaftliche Expertise und Unterstützung in klinischen Fragestellungen in der Intensivmedizin. Ich freue mich auf unsere weitere Zusammenarbeit in eingespielter Manier.

Ebenfalls nicht unerwähnt bleiben sollen das Team der Frauenklinik der Charité – Universitätsmedizin, die mich im wissenschaftlichen Austausch gestärkt haben, sowie meine Kolleginnen und Kollegen bei 8Health.

Zuletzt möchte ich mich bei meiner Familie für die persönliche Unterstützung bedanken. Vor allem bei meinen Eltern, bei meiner Tante Luise, bei meiner Schwester Katharina und bei meiner Verlobten Charlotte und unserem Sohn Anton. Ohne Euch wäre dieses Projekt nicht machbar gewesen. Ihr habt mir zu jeder Zeit den Rücken gestärkt und stets an mich geglaubt. Vielen Dank für Eure unermüdliche Geduld!