

Analyse und Aufbereitung anästhesiologischer Routinedaten hinsichtlich der Wiederverwertbarkeit für wissenschaftliche Auswertungen

der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg
zur

Erlangung des Doktorgrades
Doctor rerum biologicarum humanarum (Dr. rer. biol. hum.)

Vorgelegt von
Caroline Andrea Fehd (geb. Drescher)

aus Bad Neustadt an der Saale

Erlangen, 20.01.2018

iucundi acti labores
Angenehm sind getane Arbeiten

(Cicero, de finibus 2,105)

Als Dissertation genehmigt
Von der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

Tag der mündlichen Prüfung:

27.07.2018

Vorsitzender des Promotionsorgans:

Prof. Dr. med. Dr. h.c. Jürgen Schüttler

Gutachter:

Prof. Dr. Michael Stürzl
Prof. Dr. Tino Münster
Prof. Dr. Richard Lenz

– Meiner Mutter, meiner Schwester und meinem Mann –
– In Erinnerung an meinem geliebten Vater –

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	6
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	8
TABELLENVERZEICHNIS.....	8
1 EINLEITUNG	1
1.1 PROBLEMSTELLUNG	3
1.2 ZIELDEFINITION.....	3
2 GRUNDLAGEN	4
2.1 MEDIZINISCHE GRUNDLAGEN	4
2.2 BESONDERHEITEN DER ANÄSTHESIE	6
2.2.1 Zeitreihenbetrachtung	6
2.2.2 Anästhesiologische Dokumentation.....	7
2.3 SEKUNDÄRNUTZUNG KLINISCHER ROUTINEDATEN	9
2.4 KLINISCHES DATA WAREHOUSE	10
2.4.1 Definition.....	10
2.4.2 Auswertungszentrierte Datenhaltung	11
2.4.3 Situation am UKEr	12
2.5 PHENOTYPING	12
3 METHODEN.....	13
3.1 BASISANALYSE.....	15
3.1.1 Literaturrecherche	15
3.1.2 Anforderungsanalyse.....	18
3.2 ERSCHLIEßUNG DER ANÄSTHESIOLOGISCHEN DATEN	19
3.2.1 Datenanalyse der Routinedaten	19
3.2.2 Datenintegration in das clinical Data Warehouse	21
3.3 OPTIMIERUNG DER WISSENSCHAFTLICHEN WIEDERVERWERTBARKEIT	24
3.3.1 Erstellung des Narkoseformen Phenotyping-Algorithmus	25
3.3.2 Erstellung des PONV Phenotyping-Algorithmus	25
3.4 ENTWICKLUNG EINES EVALUIERUNGSKONZEPTES	26
3.4.1 Test der Daten im Data Warehouse	27
3.4.2 Validierung des Narkoseform Phenotyping Algorithmus	27
3.4.3 Validierung des PONV Phenotyping Algorithmus	27
4 ERGEBNISSE	29
4.1 ERGEBNISSE DER BASISANALYSE	29
4.1.1 Ergebnisse Literaturrecherche	29
4.1.2 Ergebnisse der Anforderungsanalyse.....	32
4.2 ERGEBNISSE DER DATENERSCHLIEßUNG	35
4.2.1 Ergebnisse der Datenanalyse der Routinedaten	35
4.2.2 Ergebnisse der Integration der anästhesiologischen Daten in das cDWH.....	43
4.3 ERGEBNISSE DES PHENOTYPING	56
4.3.1 Ergebnisse des Narkoseform-Phenotypings	56
4.3.2 Ergebnisse des PONV-Phenotypings	59
4.4 ERGEBNISSE DER EVALUIERUNG DER DATENAUFBEREITUNG	63
4.4.1 Ergebnisse des Testens der Daten im Data Warehouse	63
4.4.2 Ergebnisse der Validierung des Narkoseform Phenotyping Algorithmus	63

4.4.3	<i>Ergebnisse der Validierung des PONV Phenotyping Algorithmus</i>	64
5	DISKUSSION	65
5.1	DISKUSSION DER BASISANALYSE	65
5.2	DISKUSSION DER DATENERSCHLIEßUNG	67
5.2.1	<i>Diskussion der Datenanalyse</i>	67
5.2.2	<i>Diskussion der Datenintegration</i>	71
5.3	DISKUSSION DES PHENOTYPINGS	74
5.3.1	<i>Diskussion des Narkoseform Phenotypings</i>	74
5.3.2	<i>Diskussion des PONV Phenotyping</i>	75
5.4	DISKUSSION EVALUIERUNG	78
5.4.1	<i>Data Warehouse</i>	78
5.4.2	<i>Phenotyping Narkoseform</i>	78
5.4.3	<i>Validierung Phenotyping PONV</i>	78
6	AUSBLICK	81
6.1	DIE WICHTIGKEIT DER INFORMATIONSGEWINNUNG	81
6.2	ZUKUNFT DER ANÄSTHESIE	81
6.3	BIG DATA, DATA MINING UND MACHINE LEARNING	81
6.3.1	<i>Erschließung von Zeitreihendaten</i>	83
6.3.2	<i>Phenotyping</i>	84
6.3.3	<i>Natural Language Processing</i>	84
7	LITERATURVERZEICHNIS	FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT.
8	ANHANG	101
9	DANKSAGUNG	111

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Star-Schema (eigene Darstellung).....	11
Abbildung 2: Vorgehensweise der Literaturrecherche.....	18
Abbildung 3: Boxplot zu Cormarck -Score versus Narkoseeinleitungsdauer (in min).....	20
Abbildung 4: Übersicht des ETL-Prozess gemäß [107].....	22
Abbildung 5: Mengengerüst der Verlaufsdaten.....	38
Abbildung 6: Anteil der NULL-Werte im Quellsystem.....	38
Abbildung 7: Anteil der Time-series Daten im Quellsystem.....	39
Abbildung 8: Intervall der Messwerterfassung am Beispiel der Beatmungsdaten.....	39
Abbildung 9: Häufigkeit der Sauerstoffsättigungsausprägungen.....	40
Abbildung 10: Häufigkeit der Herz-Kreislauf Messwertausprägungen.....	41
Abbildung 11: Häufigkeit der weiteren Messwertausprägungen.....	41
Abbildung 12: Prozesskennzahlen der Anästhesie- und OP-Zeiten.....	47
Abbildung 13: Phasen der Anästhesie.....	48
Abbildung 14: vereinfachtes cDWH Datenmodell.....	50
Abbildung 15: Verteilung der Datensätze in den Faktentabellen.....	51
Abbildung 16: Toolansicht mit Konzepthierarchien der Narkosedaten.....	52
Abbildung 17: Beispiel i2b2 - Kohorte Allgemeinanästhetika bei Kinder unter 3 Jahren.....	53
Abbildung 18: Auszug i2b2 über aggregierte Datenelemente.....	54
Abbildung 19: Gegenüberstellung der Narkoseformen: NarkoData vs. Phenotyping.....	59
Abbildung 20: Gartners Hype Cycle für aufkommende Technologien [294].....	82

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Risikoscore nach Apfel.....	6
Tabelle 2 Vorgehensweise anhand der Ziele (angelehnt an das CRISP-DM Modell).....	14
Tabelle 3: Zusammenfassung der Anforderungen der Kliniker.....	35
Tabelle 4: Kategorisierung der Verlaufsdaten nach Strukturiertheit (Stand Juli 2017).....	37
Tabelle 5: Wertebereich der Messwertdaten des Quellsystems (Stand Juni 2017).....	40
Tabelle 6: Ausprägungen der Medikationsfelder.....	44
Tabelle 7: Zusammenfassung der Abbildungen der NarkoData Zeitpunkte auf die Vorgaben im DWH (gemäß dem Glossar perioperativer Prozesszeiten).....	45
Tabelle 8: Determinierung der Narkoseform und Kriterien.....	56
Tabelle 9: Definition der Kriterien.....	57
Tabelle 10: Anwendung der Narkoseform-Kriterien auf die anästhesiologischen Daten.....	58
Tabelle 11: PONV Kriterien der medizinischen Doktorarbeit.....	60
Tabelle 12: Abweichungen bei der PONV-Anamnese.....	60
Tabelle 13: Vier-Feldertafel über die PONV Annotation.....	61
Tabelle 14: ATC-Codes für die Standardmedikationen.....	61
Tabelle 15: Vergleich des Algorithmus mit den Annotationen.....	62
Tabelle 16: Validierung Narkoseform-Phenotyping.....	63
Tabelle 17: Abweichungen PONV-Evaluierung.....	64
Tabelle 18: ATC-Code für Prednisolon.....	68
Tabelle 19: Risikofaktoren für das Auftreten von PONV.....	77
Tabelle 20: Merkmale der Literatur-Recherche.....	101
Tabelle 21: Abgleich der Daten aus NarkoData mit Kerndatensatz des DGAI.....	102
Tabelle 22: Auflistung der in das cDWH überführten Quelltabellen.....	108
Tabelle 23: Mapping der NarkoData OP-Zeiten auf das Glossar perioperativer Prozesszeiten.....	109

Zusammenfassung

Die Anästhesie ist geprägt von einer enorm hohen intraoperativen Datendichte. Die erhobenen Daten sind vor allem medizinisch relevante Patientendaten und sind in erster Linie für die Behandlung des Patienten unentbehrlich. Neben diesem primären Zweck, bergen diese Daten weiteres Potential, beispielsweise zum Erkenntnisgewinn durch den Vergleich mehrerer Patientendaten in Studien.

Diese Wiederverwendung von klinischen Routinedaten für die Forschung wird Sekundärnutzung genannt und kann erheblichen Beitrag zur Qualität und Erfolg der Behandlung im Krankenhaus beitragen [1].

Am Universitätskliniken Erlangen (UKEr) ist ein Anästhesieinformationsmanagement System (AIMS) zur anästhesiologischen Dokumentation im Einsatz. Diese Informationen sollen nun für Auswertungszwecke zentral verfügbar gemacht werden.

Das erste Ziel dieser Arbeit umfasst die Analyse und Erschließung der Daten des Anästhesie-Informationsmanagement-Systems NarkoData im Hinblick auf die Wiederverwertbarkeit für wissenschaftliche Auswertungen. Das zweite Ziel beinhaltet die Erarbeitung und Umsetzung von Methoden zur Optimierung der wissenschaftlichen Wiederverwertbarkeit der anästhesiologischen Daten.

Methoden

Die Aufbereitung klinischen Routinedaten in eine auswertungsorientierte Form ist ein wesentlicher Schritt im Rahmen der Wiedernutzung. Die Realisierung einer solchen Datenbasis lässt sich in fünf Schritten zusammenfassen: Eine umfangreiche Anforderungsanalyse innerhalb der Anästhesiologischen Klinik des UKEr, das Verständnis der Daten durch Struktur- und Qualitätsbetrachtung, die anschließende Datenvorbereitung, sowie die auswertungsorientierte, standardkonforme Modellierung im clinical Data Warehouse und die abschließende Evaluation dieser Datenbasis.

Ergebnisse

Die für diese Arbeit gesetzten Ziele konnten erreicht werden. Die Analyse und Erschließung der Daten des Anästhesie-Informations-Management-Systems NarkoData im Hinblick auf die Wiederverwertbarkeit konnte erfolgreich durchgeführt werden. Allerdings ist aufgefallen, dass es weitere Aufbereitungen benötigt, um die Wiederverwertbarkeit der anästhesiologischen Daten optimiert nutzen zu können.

Praktische Schlussfolgerung

Innerhalb der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass sich die am UKEr erfassten Anästhesiedaten als Grundlage für die wissenschaftliche Wiederverwendung nicht unmittelbar eignen, sodass Aufbereitungsschritte notwendig sind.

Abstract

The density of intraoperative data anesthesia holds is tremendous. The captured data are primarily medical relevant patient information and are necessary for the treatment of patients. Besides this main purpose, the collected data could be used to potentially gain more insights, for instance by comparing different patient information of multiple study trials[1].

The process of re-using clinical routinely collected data is called Secondary Use. It can contribute substantially to improve the quality and success of treatments in the clinic.

At the university hospital Erlangen (UKEr) the anesthesia information management system (AIMS) has been implemented in the anesthesia-related documentation. So that these information can be centrally accessible for evaluation purpose.

The first goal of this work is to reveal and analyze data from the anesthesia information management system NarkoData with respect to secondary use of scientifically evaluation. The second goal included the development and implementation of methods that optimize the reusability of anesthesiologically data.

Methods

In order to reuse the routinely collected, clinical data, the preparation of an analysis-oriented model is an essential step.

One can sum up the implementation of such a data base into 5 steps: a comprehensive requirement analysis within the anesthesia department of UKEr, consideration of structure and quality to understand the data, the subsequent data preparation, as well as modelling the available data of the clinical data warehouse in an evaluation-centered, standard-compliant manner and finally, evaluation of the data base.

Results

All goal set for this work were achieved. The investigation and analysis from data of the anesthesia information management system NarkoData with respect to Secondary Use of scientifically evaluation could be implemented successfully. However, one noticed that additional preparation is needed to ensure optimal utilization of anesthesiological data.

Conclusion

Within this work we were able to demonstrate that the collected anesthesia data of UFE were not suitable for immediate utilization for scientific purposes. Thus, preparations steps were inevitable.

1 Einleitung

Klinische Dokumentation ist ein wichtiger und unverzichtbarer Bestandteil der ärztlichen Tätigkeit [2–4]. Der Einsatz der elektronischen Datenverarbeitung (EDV) in der Medizin [5, 6] unterstützt die Durchführung der ärztlichen Dokumentation [7] und birgt Verbesserungspotential, beispielsweise bei der Minimierung des Dokumentationsaufwands [8–10]. Es hat sich in der Praxis jedoch gezeigt, dass trotz der Vorteile der EDV-Unterstützung weiterhin Probleme aufgrund der großen Vielfalt der Anforderungen der unterschiedlichen Dokumentationssysteme bestehen [11], und daraus resultierend viele Daten immer noch redundant erfasst werden müssen.

Das besagte Problem der Redundanz soll zumindest in der Forschung umgangen werden, indem bestehende Daten für wissenschaftliche Zwecke wiederverwendet werden [1, 12–14]. Dies stellt eine der drei von *Prokosch und Ganslandt 2009* formulierten Herausforderungen der Medizininformatik dar [1]. Mit dem Konzept eines Learning Health System (LHS) wird der Versuch unternommen, die Lücke zwischen klinischer Routine und Forschung schneller zu schließen [15], damit es nicht weiterhin Jahre dauert bis validiertes klinisches Wissen den Weg in die Routine findet [16]. In einem LHS werden klinische Routinedaten (z.B. EHR¹-Daten) gesammelt, analysiert, evaluiert, und daraus neue Hypothesen generiert. Weitere Anwendungsfälle sind beispielsweise retrospektive „in-silico“-Analysen², Feasibilityanalysen oder Studienrekrutierungen, welche Einsatz in verschiedenen Anwendungsbereichen, wie im Controlling, im Qualitätsmanagement, bei der Forensik, oder in der medizinischen Forschung und Lehre finden [7].

Die wissenschaftliche Wiederverwendung klinischer Daten, verspricht bei der Entdeckung neuen medizinischen Wissens beizutragen [19]. Das Generieren von Wissen und das Ableiten von Erkenntnissen ist ein aktuelles Thema, das bereits 1982 *Naisbitt* konstatierte [20] und auch 2012 von *Peuker* erneut aufgegriffen wurde:

“We are drowning in information but starved for knowledge” [20]

„Wenn es nicht gelingt, mehr Nutzen aus den Daten zu ziehen, ist es kaum noch vertretbar, so viele Daten zu digitalisieren.“ [21]

Die Medizin befindet sich im Zeitalter der Datenflut und die Herausforderung besteht nicht darin, Daten zu sammeln, sondern in deren Erschließung und optimalen Nutzung sowohl für den Gewinn neuer Erkenntnisse in Diagnostik und Therapie als auch für unmittelbare Entscheidungsprozesse in der klinischen Versorgung. Dieses Ziel wird generell mit dem Schlagwort *Secondary Use* zusammengefasst. Eine Möglichkeit ist, die Daten aus klinischen Behandlungsprozessen im Rahmen

¹ Die elektronische Gesundheitsakte (EHR/electronic health record) bezeichnet die elektronische Sammlung medizinischer Daten eines Patienten bei der der Patient Kontrolle über seine Akte besitzt. [17, 18]

² In-silico bedeutet, dass Beobachtungen durch Analysen am Computer durchgeführt werden können ohne die Klinik betreten zu haben

von clinical Data Warehouse-Systemen (cDWH), einer konsolidierte Datenbank, die eine integrierte Sicht auf beliebige Daten ermöglicht, für weitergehende Nutzung zugänglich zu machen [22].

Allerdings ist die Erschließung von Freitexten (z.B. Kommentarfelder) in einem cDWH noch Gegenstand intensiver Forschungsbemühen des Natural Language Processing (NLP) und ein separater Forschungsbereich, der in den meisten Krankenhäusern noch nicht erfolgreich in der Routine etabliert werden konnte [23]. Am Universitätsklinikum Erlangen (UKER) gibt es hierzu bereits erste Ansätze aus Forschungsprojekten [24]. Allerdings soll dieser Aspekt in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet werden.

In einem cDWH werden somit typischerweise strukturierte Datenelemente konsolidiert, wie beispielsweise Laborwerte, Diagnosen, demografische Patientendaten und klinische Maßnahmen [25]. Gängige Quellsysteme sind dabei Laborsysteme, das klinische Arbeitsplatz-System oder auch Abrechnungssysteme. Auch am UKER wurde mit dem Aufbau solcher Quellsysteme damit begonnen, ein cDWH für Forschungszwecke zu etablieren [26, 27].

Bislang wurde allerdings eine Vielzahl, der in der Regel strukturiert vorliegenden anästhesiologischen Daten, die z.B. während einer Narkose erhoben und dokumentiert werden, im Erlanger cDWH noch nicht erschlossen. Dabei kann die Einbindung dieser Daten einen Einblick in die Wirksamkeit der operativen Maßnahmen gewährleisten [28]. Im Rahmen der European surgical outcome study (EuSOS) [29] konnte beispielsweise der Nutzen der Wiederverwendung von Routedaten für die Rekrutierung von Patienten im intensivmedizinischen/operativen Umfeld bereits nachgewiesen werden. Allerdings basierte in diesem Projekt die Rekrutierungsunterstützung vor allem auf Diagnosen (ICD) & Operation/Prozeduren (OPS) [30] und für die automatisierte Vorbefüllung von Case Report Forms wurde auf Daten zurück gegriffen, die innerhalb eines PDMS auf einer Intensivstation dokumentiert wurden. In der hier vorliegenden Arbeit sollen nun speziell anästhesiologische/operative Daten für diese Zwecke betrachtet und erschlossen werden.

1.1 Problemstellung

Am Universitätsklinikum Erlangen werden seit 1999 Narkosen elektronisch mit dem Anästhesie-Informationen-Managementsystem (AIMS) NarkoData erfasst; mehr als 365.000 Datensätze sind durch die elektronische Dokumentation verfügbar. Bis dato wird dieser „Datenschatz“ nur rudimentär für Auswertungen verwendet. Trotz des großen, überwiegend strukturierten Datenpools, besteht kein Überblick darüber, was darin alles erfasst ist und welche Informationen sich extrahieren lassen. Die von Forschern und Ärzten gewünschten Auswertungen werden lediglich punktuell (nur auf Nachfrage), asynchron (mit einer zeitlichen Verzögerung der Ergebnislieferung), und mit einem hohen Aufwand erstellt. Die Erstellung dieser Auswertungen erfordert eine tiefe Kenntnis der Datenquellen, -strukturen und -inhalte und ist folglich nur Personen mit entsprechender Fachexpertise vorbehalten.

Selbst einfache Abfragen, z.B. zur Kohortenidentifikation im Rahmen von Feasibilitystudien oder explorative Analysen sind für medizinische Forscher auf dieser Basis noch nicht unmittelbar möglich. Dabei bergen die Anästhesiedaten wesentlich mehr Potential zum Erkenntnisgewinn für die anästhesiologische Versorgung (z.B. Ermittlung der optimalen Narkosetiefe), das auf diesem Weg nicht vollständig ausgeschöpft werden kann.

Außerdem ist eine Zusammenführung der reinen Narkosedaten mit weiteren Behandlungsdaten, die mit der Narkose in Verbindung stehen können (beispielsweise OP-Verlauf, Diagnosen, Komplikationen als Spätfolge etc.) aktuell nicht möglich, was bedeutet, dass lediglich „Inselauswertungen“ unter alleiniger Betrachtung der in NarkoData erfassten Daten durchgeführt werden können.

These:

Die Einbindung des anästhesiologischen Dokumentationssystems in das clinical Data Warehouse (cDWH) kann die Möglichkeit eröffnen, diese Daten für wissenschaftliche Wiederverwendung systemübergreifend vereinfacht nutzbar zu machen.

1.2 Zieldefinition

Aus den oben beschriebenen Problemstellungen leiten sich für dieses Dissertationsprojekt folgende Zielsetzungen (Z) ab:

- Z 1** Analyse und Erschließung der Daten des Anästhesie-Informationen-Management-Systems NarkoData im Hinblick auf die Wiederverwertbarkeit dieser Daten für wissenschaftliche Auswertungen
- Z 2** Erarbeitung und Umsetzung von Methoden zur Optimierung der wissenschaftlichen Wiederverwertbarkeit der anästhesiologischen Daten

2 Grundlagen

Dieses Kapitel legt die zum Verständnis der Arbeit notwendigen Grundlagen dar. Dazu werden zunächst die wesentlichen medizinischen Grundlagen im Umfeld der Narkose vorgestellt. Anschließend werden die Besonderheiten der Anästhesie zusammengefasst und es wird im Speziellen auf die Zeitreihenanalyse und den Prozess der anästhesiologischen Dokumentation, der am UKer mit dem System NarkoData durchgeführt wird, eingegangen. Ebenso wird das Konzept des Secondary Use dargestellt, das die Wiederverwendung der erfassten klinischen Routinedaten für die wissenschaftliche Forschung beschreibt. Weiterhin wird das Konzept eines Data Warehouse beschrieben, das die Rohdaten mithilfe von Transformationen in eine konsolidierte und integrierte Datenbasis für Auswertungszwecke zusammenfasst. Mittels Phenotyping, eine Methode zur Datenaufbereitung, werden Daten weiterhin für Auswertungen nutzbar gemacht [31].

2.1 Medizinische Grundlagen

Im medizinischen Sprachgebrauch wird der Begriff Narkose (in Schlaf versetzen) häufig als Synonym zum internationalen Begriff Anästhesie (Empfindungslosigkeit) verwendet, allerdings beschreibt genauer gesagt die Vollnarkose den Ausdruck Allgemeinanästhesie und bildet unter anderem mit der Regionalanästhesie eine Anästhesieform.

Die Anästhesie ist ein durch Anästhetika medikamentös induzierter, kontrollierter Prozess, welcher zu einer reversiblen Dämpfung des zentralen Nervensystems führt [32]. Es kommt sukzessive zur Hemmung der Großhirnrinde bis hin zum Kleinhirn und des verlängerten Rückenmarks, in der die Medulla oblongata, das Atemzentrum, liegt. Zu den Komponenten der Allgemeinanästhesie werden Bewusstseinsverlust (Hypnose), Schmerzlosigkeit (Analgesie), Muskelerschlaffung (Relaxation) und Reflexdämpfung gezählt [33]. In der medizinischen Literatur werden in diesem Zusammenhang auch die Stressabschirmung (Sedierung) und der Erinnerungsverlust (Amnesie) genannt [32].

Die Applikationsformen unterteilen sich in Inhalations- und Injektionsnarkotika [34]. Die häufigste Narkoseform stellt dabei die balancierte Anästhesie dar, die systemisch durch intravenös und inhalativ verabreichte Anästhetika wirkt [35]. Weitere Narkoseformen sind

- volatile Anästhesie mit den typischen Inhalationsanästhetika Isofluran, Enfluran, Sevofluran und Desfluran [36],
- totale intravenöse Anästhesie (TIVA), die eine rein intravenöse Gabe des Hypnotikums und Analgetikums appliziert als Bolus-Gabe bei der Narkoseeinleitung und als Dauerinfusion über eine Spritzenpumpe zur Narkoseaufrechterhaltung beschreibt [36],
- TCI, eine Besonderheit der TIVA, die eine zielgesteuerte, individuell auf das Körpergewicht angepasste, automatisierte Laufgeschwindigkeit des Perfusors ermöglicht [36–39],

- Balancierte Narkose, welche in dieser Arbeit als Zuhilfenahme verschiedener Substanzgruppen zu einer volatilen Narkose, also das Gegenteil einer reinen IV-Anästhesie verstanden wird (z.B. volatiles Anästhetikum + Opiat-Bolus -Gabe),
- Regionalanästhesie, welche eine lokale Schmerzausschaltung ohne Hypnose zum Ziel hat, und
- Standby-Operationen bei denen die Anästhesie begleitet und optional eine situationsbedingte Narkoseeinleitung im OP-Verlauf durchführt.

Die Standard Narkoseeinleitung besteht typischerweise aus einer Gabe an Analgetika (wie z.B. Morphin, Fentanyl, Sufentanil oder Piritramid), Hypnotika (wie z.B. Propofol, Thiopental, Etomidate oder Ketamin) und Muskelrelaxanz (wie z.B. Succinylcholin, Mivacurium) [36, 40]. Die Anästhesie hat dabei das Ziel einer optimalen Narkosetiefe: tief genug, um dem Operateur eine optimale Operationsbedingung ermöglicht, dabei aber auch möglichst flach, um die medikamentöse Belastung des Patienten gering zu halten.

Zu diesem Zweck gibt es verschiedene Messverfahren zur Einschätzung der Narkosetiefe [41]. Die minimale alveolare Konzentration (MAC) eines Inhalationsnarkotikums beschreibt die Konzentration (in Vol.%) des Narkotikums im Narkosedampf, bei dem 50% der Patienten keine Schmerzreaktion auf einem chirurgischen Stimulus (Hautinzision) zeigen. Es gilt als Vergleichsmaßstab für die volatile anästhetische Potenz eines volatilen Anästhetikums [42]. Das entsprechende intravenöse Pendant ist der EC50-Wert [43]. Ein weiteres Verfahren ist der bispektrale Index (BIS), das EEG-Daten statistisch verarbeitet [44, 45]. Es existiert allerdings noch kein Verfahren zur exakten Bestimmung des Bewusstseinszustandes eines Patienten [46–50]. Unabhängig von der objektiven Messung und Überwachung, wird die Narkosetiefe nach wie vor häufig unspezifisch über die Reaktion des vegetativen Nervensystems (Sympathikus und Parasympathikus) in Kombination mit der Erfahrung und dem Gefühl des Anästhesisten subjektiv bewertet. Der PRST-Score (pressure, heart-rate, sweating, tears) fasst die wichtigsten somatische Reaktionen und Vitalparameter zu diesem Zwecke zusammen [51].

Die Inzidenz von Übelkeit und Erbrechen innerhalb von 24 Stunden nach einer Anästhesie oder Operation (postoperative nausea and vomiting, PONV) beträgt 20-30% und zählt damit zu den häufigsten postoperativen Symptomen gefolgt von Schmerzen [52, 53]. Zudem wird PONV nicht nur von den Patienten als unangenehm und belastend empfunden [52, 54, 55], sondern kann auch weitere Komplikationen, wie beispielsweise Aspiration oder subkutanes Emphysem hervorrufen [56–61]. Durch PONV entsteht damit eine verlängerte Verweildauer im Aufwachraum bzw. eine verzögerte stationäre Entlassung [62–64] und erzeugt dadurch zusätzliche Kosten [63, 65].

Das Risiko von PONV kann mit einem Scoring-System wie dem Apfel-Score, das auf vier unabhängigen Risikofaktoren basiert, vereinfacht bewertet werden (siehe Tabelle 1) [66]. Der Apfel-Score ermöglicht eine präoperative Einschätzung des Risikos für PONV und damit die Ermittlung der Notwendigkeit der entsprechenden PONV Prophylaxe (üblich ab Apfel-Score größer gleich zwei).

Während die ersten Risiko-Scores auf Basis von Formeln kompliziert errechnet wurden, ist der Apfel-Score praktikabel und erzielt ein gleichwertiges Vorhersageergebnis [67–70]. Bereits bei der Anamnese können erste patientenspezifische Risikofaktoren, wie das weibliche Geschlecht, der Nichtraucherstatus und positiver PONV Vorgeschichte bzw. Kinetoseneigung, sowie vermutete peri- bzw. postoperative Opioid-Gaben für den Apfel-Score festgestellt werden. Mit diesem Wissen wird die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von PONV prognostiziert und üblicherweise wird eine PONV-Prophylaxe mit Antiemetika (z.B. Dexamethason) [71] bei Patienten mit mittlerem oder hohem Risiko angewandt (siehe Tabelle 1) [72].

Tabelle 1: Risikoscore nach Apfel

Risikofaktoren	Punkte
Weibliches Geschlecht	1
Nichtraucher	1
Bekannte PONV nach früheren Anästhesien oder anamnetische Reiseerkrankung (Kinetose)	1
Vermutete Gabe von Opioiden postoperativ	1
Maximale Punktesumme	4

PONV-Stratifizierung: 0 Punkte - 10%, 1 Punkt - 21%, 2 Punkte - 39%, 3 Punkte - 61%, 4 Punkte - 79%

Hat ein Patient beispielsweise laut Apfel-Score null bzw. einen Punkt, gilt dies als geringes PONV Risiko, während man bei zwei bis drei Punkten von einem mittleren PONV Risiko spricht und bei mehr als drei Punkten eine Inzidenz für ein hohes PONV Risiko besteht.

2.2 Besonderheiten der Anästhesie

Die Anästhesie unterscheidet sich grundlegend von einer „normalen“ Station zum einen durch die zum hohen Teil automatisierte Datenerhebung und zum anderen durch die Dokumentationsdichte. Kann der Patient auf der Station beispielsweise über Schmerzen klagen, ist er während einer Operation nicht mehr in der Lage sich zu äußern, so dass lediglich die Veränderungen der erfassten Parameter Aufschluss über seinen Zustand geben können. Ferner erfordern die Risiken einer Narkose eine engmaschige Überwachung der Herz-Kreislauf- und Beatmungsparameter, welche letzten Endes die Basis der Therapieentscheidung bilden. Die Anästhesiedaten zeichnen sich dementsprechend durch eine temporär hohe Datendichte mit vielen Zeitreihendaten aus [73]. Dieser hohe Grad an Strukturierung und die im großen Umfang generierten zeitgestempelten Daten gibt es, neben der Intensivmedizin, in keinem anderen klinischen Umfeld.

Daraus ergibt sich die Notwendigkeit einer genaueren Betrachtung der Zeitreihen, sowie der genaueren Ausführung der anästhesiologischen Dokumentation.

2.2.1 Zeitreihenbetrachtung

Zeitreihen Daten (time series data) sind in vielen Domänen vorzufinden, wie beispielsweise in der Soziologie (z.B. Bevölkerungsentwicklung), Ökonomie (z.B. Börsenkurs), Physik (z.B. Signalverarbeitung), oder Meteorologie. Grundsätzlich handelt es sich dabei um Längsschnittdaten, die

über einen längeren Zeitraum erhoben werden und Rückschlüsse auf zeitliche Veränderungen eines Sachverhalts ermöglichen.

Im Krankenhaus bzw. der medizinischen Versorgung stellen alle klinischen Ereignisse zunächst Zeitreihendaten dar, da sie Auskunft über den zeitlichen Verlauf einer Erkrankung bzw. der klinischen Versorgung geben. Speziell in der Intensivstation und Anästhesie entstehen aber Zeitreihendaten extrem hoher Datendichte, da der Patientenzustand über die Aufzeichnung der hämodynamischen Variablen in der Vitalkurve sehr engmaschig, fast kontinuierlich erfasst wird. Das Bestreben ist, den Patienten stabil zu halten, was bedeutet den Verlauf konstant auf einem entsprechenden Niveau zu halten und starke abrupte Schwankungen (Niveauänderungen) zu vermeiden.

Durch die Analyse der Zeitreihen können neue Erkenntnisse gewonnen werden. Dabei kann grundsätzlich zwischen zeitpunktbezogenen und zeitraumbezogenen Größen differenziert werden. Erstere stellen beispielsweise Zeitstempel-bezogene Kennzahlen dar, während letztere die Veränderung in einem Zeitraum angeben [74]. Für den Bereich der Anästhesie sind zeitraumbezogene Kennzahlen entscheidend, da hier komplexere Veränderungen über den Verlauf der Zeit betrachtet werden müssen [75]. Beispielsweise ist die Frage nach der „Anzahl an Patienten, die x Minuten nach einer Intubation einen Sauerstoffwert $< z$ “ haben interessant, während die Frage nach einem einzelnen Sauerstoffsättigungswert zu einem bestimmten Zeitpunkt y wenig Aussagekraft hat.

Problematisch bei einer Zeitreihenanalyse kann es werden, wenn beispielsweise aufgrund einer fehlerhaft angebrachten Blutdrucksonde dauernd falsche Werte erfasst werden, die in der Zeitreihe als Ausreißer deutlich werden (z.B. ein außergewöhnlich niedriger Blutdruck). Um Messfehler durch solche Artefakte auszuschließen, ist es nötig, Ausreißer zu eliminieren, bevor eine Datenanalyse stattfindet. Dieser Vorgang wird Glättung genannt. Eine weitere Methode für die Erkennung von Messfehlern kann eine Schätzung beispielsweise über die lineare Vorhersage des Verlaufs von Patientenkurven (z.B. mithilfe des Kalman Filters) darstellen.

Die Bereinigung der Zeitreihen, sowie deren Analyse stehen allerdings nicht im Fokus dieser Arbeit. Nichtsdestotrotz ist die Betrachtung und Beurteilung der anästhesiologischen Daten und somit auch der Zeitreihendaten Teil der Arbeit.

2.2.2 Anästhesiologische Dokumentation

„Medicine in general and anaesthesiology more specifically are in a period of great change“ [76]

Die erste schriftliche Aufzeichnung über den Verlauf einer Äthernarkose wurde bereits 1894 durch zwei Medizinstudenten aus Harvard angefertigt. In diesen sogenannten „ether charts“ wurden Herzfrequenz, Atmung, Tiefe der Anästhesie und die verwendete Äthermenge aufgezeichnet, um mithilfe einer verfeinerten Medikationsapplikation eine verbesserte Sicherheit der Anästhesie zu erlangen [77–79]. Durch die Quantifizierung der Eindrücke des Patientenzustandes können diese Messungen bewertet und entsprechend darauf reagiert werden [80, 81]. Dies war der Beginn einer routinemäßigen

Dokumentation, die rasch zum Maßstab der Patientenversorgung [82] wurde und weitere Anwendungen, beispielsweise als Dokument für medikolegale /forensische Belange [2, 83–85], fand.

Heutzutage wird die routinemäßige Dokumentation aller anfallenden medizinischen Maßnahmen und erhobenen Befunde während eines Anästhesieverfahrens in einem standardisierten Formular, dem Anästhesieprotokoll, erfasst [84, 86]. Die Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (DGAI) entwickelte diesbezüglich einen Kerndatensatz Anästhesie zur einheitlichen Datenerfassung und Qualitätssicherung [87–89]. Das ursprüngliche Format von 1894 ist allerdings nach wie vor erkennbar [28]: eine längsverlaufende Erfassung der Werte entsprechend der zeitlichen Abfolge.

Das Anästhesieprotokoll dient nicht nur als Informationsgrundlage für die Patientenversorgung, sozusagen als ärztliche Gedankenstütze [7], sondern erfüllt darüber hinaus die gesetzlich festgelegte Dokumentationspflicht gemäß der Berufsordnung für Ärzte Bayern (§10.1) [90].³ Daneben erfolgt eine sekundäre Nutzung des Anästhesieprotokolls außerhalb des Behandlungszusammenhangs, wie zur Leistungsverrechnung, Qualitätssicherung oder Gesundheitsberichtserstattung [7, 91]. Die Verwendung in der medizinischen Forschung, Versorgungsforschung oder Lehre wird unter dem Begriff des tertiären Dokumentationszwecks zusammengefasst [7, 92], welches Hauptaugenmerk dieser Arbeit ist.

In einigen Kliniken wird der anästhesiologische Verlauf nach wie vor papierbasiert erfasst. Allerdings ist durch neue, gesteigerte Anforderungen (v.a. tertiäre Verwendung), eine nachfolgende manuelle Auswertung nicht ohne enormen Arbeitsaufwand zu bewerkstelligen. Deswegen haben viele Universitätskliniken bereits ein computergestütztes „online“ Dokumentationssystem, das sogenannte Anästhesie-Informationen-Management-System (AIMS), im Einsatz. „Online“ beschreibt eine direkte bettseitige Dokumentation am Arbeitsplatz der Anästhesisten. Eine weitere Möglichkeit bildet die „offline“ Dokumentation, in der postoperativ die papierbasierten Aufzeichnungen, beispielsweise durch Einscannen, nacherfasst werden.

Das AIMS stellt dabei nicht nur die elektronische Erfassung des Anästhesieprotokolls mit automatischer Übernahme von Parametern externer Monitore (Patientenmonitor, Beatmungsgerät, etc.) dar, sondern ist in der Regel ebenfalls in das Krankenhausinformationssystem (KIS) integriert. Das KIS ermöglicht somit die Zusammenführung patientenbezogener klinischer Daten in der elektronischen Krankenakte [18, 93]. Am UKEr erfolgt allerdings keine strukturierte Übernahme der Einzeldaten eines Anästhesieprotokolls. Vielmehr werden die Protokolle zunächst ausgedruckt und unterschrieben, bevor sie in eingescannter Form in der elektronischen Krankenakte SoarianClinicals (durch dessen Integration mit dem digitalen Archivierungssystem Soarian Health Archive) zur Verfügung stehen.

³ „Der Arzt hat über die in Ausübung seines Berufes gemachten Feststellungen und getroffenen Maßnahmen die erforderlichen Aufzeichnungen zu machen.“

Am 05.02.2001 wurde das erste elektronische Narkoseprotokoll in der Augenklinik mit dem Narkose-Dokumentationssystem NarkoData 4, der Firma IMESO erstellt. Wurde diese Dokumentation der Narkoseverläufe in der Anfangszeit vor allem in der HNO-Klinik routinemäßig eingesetzt, hat sich der Einsatz derzeit (Stand Oktober 2017) auf allen anderen Bereichen⁴ erweitert.

Bis 2009 war das System Medlinq-Anästhesie in der Herzchirurgie im Einsatz. Diese Eingriffe wurden postoperativ manuell in das AIMS NarkoData nachimportiert. Des Weiteren gibt es Ausnahmen, wie beispielsweise bei einer Notfallnarkose, bei denen die Eingriffe papierbasiert dokumentiert werden müssen. Diese Papierprotokolle werden nachträglich rudimentär von Hilfskräften in das System eingetragen.

Somit stehen Narkosen von rund 14 Jahren für diese Arbeit zur Verfügung.

2.3 Sekundärnutzung klinischer Routinedaten

„Es ist nicht genug, zu wissen, man muss auch anwenden; es ist nicht genug, zu wollen, man muss auch tun.“ [94]

Die Wieder-/Weiterverwendung ursprünglich für die Patientenversorgung erhobener Daten für wissenschaftliche Zwecke wird in der Fachliteratur mit dem Term „Secondary Use“ bezeichnet. Es beschreibt den Ansatz, auf vorhandene klinische Routinedaten zurückzugreifen und diese über die reine Routineversorgung hinaus auch für die medizinische Qualitätssicherung, Versorgungsforschung und klinische/epidemiologische Forschung wieder zu verwenden [95–98]. Die Daten werden dafür in der Regel an einer einzigen Stelle (cDWH) vorgehalten, um eine unnötige, redundante Erfassung von Daten für die klinische Versorgung und für Forschungsdatenbanken bzw. Register zu vermeiden und einen einheitlichen Zugriff zu erlauben. Dieses Prinzip wird in der medizinischen Informatik „Single Source“ genannt [1, 99–101]. Forschungsprozesse (bzw. Szenarien), die durch Secondary Use unterstützt werden, umfassen z.B. die Hypothesengenerierung, Fallzahlabeschätzung, Rekrutierungsunterstützung, unmittelbare Datenübernahme für klinische Studien, sowie die Durchführung retrospektiver Beobachtungsstudien.

Die wissenschaftsgetriebene Forschung klinischer Versorgungsdaten hat in den letzten Jahren erheblich an Bedeutung gewonnen [12, 97] und wird als ein wichtiges und komplexes Themenfeld erachtet [12, 102].

⁴ Allgemeinchirurgie, Unfallchirurgie, Kinderchirurgie, Hand- und Plastische Chirurgie, Gefäßchirurgie, Herzchirurgie, Neurochirurgie, Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie, Dermatologie, Urologie, Frauenklinik, HNO, Augenklinik

2.4 Klinisches Data Warehouse

Ein KIS besteht in der Regel aus einer Vielzahl spezialisierter Abteilungssysteme. Jedes dieser Systeme verfügt über eigene Auswertungswerkzeuge, kann aber nur Berichte auf Basis der begrenzten eigenen Daten erzeugen („Inselauswertungen“). Um Auswertungen über viele Aspekte des Behandlungsverlaufs hinweg zu erzeugen, ist eine effiziente Zusammenführung der Datenbestände aller Einzelsysteme erforderlich, was die Kernaufgabe eines Data Warehouse ist.

Das klinische Data Warehouse repräsentiert somit eine zentrale Datenhaltung (single point of truth), die Zugang zu allen klinischen und administrativen Daten des Krankenhauses schafft. Es ist damit möglich, Auswertungen klinikums-weit über alle Patienten und Fälle hinweg aggregiert durchzuführen [103].

2.4.1 Definition

Insgesamt zeigt sich in der Literatur über viele Jahre hinweg eine große Varianz der Definitionen eines Data Warehouse, was nahelegt, dass es lange Zeit kein einheitliches Verständnis für dessen Aufgabe gab [22, 74, 104–106]. So findet sich in der Arbeit von Kimball et al folgendes Zitat:

„To this day, you can ask ten experts to define a data warehouse, and you are likely to get ten different responses“ [107]

Die Literatur von Inmon [108], sowie Kimball [107, 109], die in ihren Werken die Vorgehensweise und den Aufbau solcher Technologien beschreiben, gehört zu den Führenden auf dem Gebiet der Data Warehouse Systeme. Für diese Arbeit wird das Data Warehouse daher gemäß der gängigsten, frühen Definition von Inmon⁵ aus dem Jahr 1996 definiert:

„A data warehouse is a subject oriented, integrated, nonvolatile, and time variant collection of data in support of management’s decisions“ [108]

Die grundlegenden Konzepte eines Data Warehouse nach dieser Definition sind:

- Themenorientierung (*subject oriented*): Konventionell sind die Systeme nach den Prozessen der medizinischen Fachbereiche strukturiert, während im Data Warehouse eine (übergeordnete) datenorientierte Sicht, beispielsweise über den gesamten Behandlungsverlauf hinweg möglich ist.
- Datenintegration (*integrated*): Überwindung der Heterogenität der operativen Systeme durch systemübergreifende Datenvereinheitlichung (z.B. durch Harmonisierung)
- Beständigkeit (*nonvolatile*): Nach der Überführung der Daten in das Data Warehouse, werden diese nicht mehr verändert, es sind dann nur noch lesende Zugriffe (DDL) möglich. Damit sind Auswertungen jederzeit reproduzierbar. [109]

⁵ Inmon wird in der Literatur auch oft ‚father of Data Warehouse‘ genannt

- Historisierung (*time variant*): Datensätze werden im Data Warehouse nicht überschrieben und sind über einen großen Zeithorizont für Auswertungen verfügbar. Somit ist ein Vergleich im Zeitverlauf durchführbar.

Anhand der Definition kann festgehalten werden, dass die Integration von Daten in eine auswertungsorientierte Form ein wesentlicher Aspekt eines Data Warehouse Systems darstellt und aufgrund dessen die operativen Daten für Forschungszwecke in ein Data Warehouse geladen werden müssen.

2.4.2 Auswertungsorientierte Datenhaltung

Dispositive Systeme, wie ein Data Warehouse haben im Gegensatz zu den operativen Systemen, deren Aufgabe die Unterstützung im täglichen Betrieb ist, den Fokus auf Entscheidungsunterstützung und Datenanalyse beispielsweise mithilfe von OLAP oder Data Mining Werkzeugen [110]. Das Konzept der auswertungsorientierten Datenhaltung wurde von Codd, dem Begründer des relationalen Datenmodells, entwickelt, um den Anforderungen bei der Analyse von Daten besser gerecht zu werden [111]. Die Daten der operativen Systeme stehen für Auswertungszwecke in einer nicht unmittelbar geeigneten Form zur Verfügung. Deshalb ist eine Re-Modellierung der operativen Daten in ein dispositives Datenmodell notwendig [112, 113]. Die zwei gängigsten Modellierungsformen sind das Star- und Snowflake Schema [114]. Das Star-Schema beinhaltet, sternenförmig aufgebaut - eine Faktentabelle in der Mitte, die von Dimensionstabellen umrahmt wird. In den Faktentabellen stehen im Falle der Anästhesie die Basiskennzahlen, also alle auswertbaren Daten, wie numerische Messgrößen (z.B. der Blutdruck). Dimensionen könne beispielsweise die Zeit, Lokation von Punktionen, oder die präoperative Zustandserfassung darstellen.

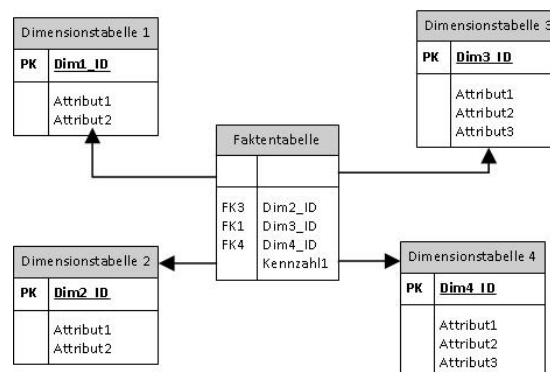


Abbildung 1: Star-Schema (eigene Darstellung)

Es kommt hierbei zu einer Denormalisierung der Tabellen, was zwar Redundanzen erzeugt, aber aufgrund der einfachen und schnellen Auswertungsabfragen bewusst in Kauf genommen wird. Das Snowflake-Schema unterscheidet sich vom Star-Schema insoweit, als dass die Dimensionen entsprechend der Hierarchien aus mehreren Dimensionstabellen bestehen, was eine weniger starke Denormalisierung bedeutet.

2.4.3 Situation am UKEr

Das UKEr kann auf ein clinical Data Warehouse (cDWH) [26] als Datengrundlage für jegliche tertiäre Verwendungszwecke, wie medizinische oder wissenschaftliche Forschungsfragen, zurückgreifen. Das cDWH ist seit 2005 in Betrieb und beinhaltet akkumulierte klinische Daten von über 5,4 Millionen Patienten, die zur Behandlung am Klinikum registriert wurden. Technologisch basiert das Erlangener cDWH auf dem kommerziellen Produkt Cognos™ der Firma IBM. Es wurden bisher über 30 Quellsysteme erschlossen und deren Datenbestände zusammengeführt, unter anderem aus dem Patientendatenverwaltungssystem IS-H, der elektronischen Krankenakte Soarian Clinicals, dem OP-Dokumentationssystem MCC-ISOP und dem Laborsystem Swisslab. Für das einheitliche klinische Vokabular werden (soweit verfügbar) international bzw. national standardisierte Klassifikationssysteme eingesetzt (z.B. ICD, ATC, OPS). Des Weiteren ist es möglich, Ad-hoc Auswertungen durch die ergänzend aufgebaute Abfrageplattform i2b2 (informatics for integrating biology & the bedside) der Harvard Medical School [115, 116] durchzuführen, da diese in die DWH-Umgebung integriert ist. I2b2 ist eine Open-Source-basierte Abfrageplattform mit einer Rechercheoberfläche, die Klinikern/medizinischen Forschern die Möglichkeit bietet, die darin integrierten Datenbestände für Forschungszwecke, beispielsweise der Selektion von Patientengruppen, zu durchsuchen [115, 117].

2.5 Phenotyping

Phenotyping hat seine Ursprünge in der Biologie (Genetik): Ein Phänotyp beschreibt die Menge aller Merkmalsausprägungen eines Lebewesens.

In der medizinischen Informatik ist mit Phenotyping eine Methode zur Charakterisierung bestimmter „Patiententypen“ gemeint, in dem beobachtbare Charakteristika in Datensätzen ermittelt werden. Dabei kann man Informationen aus bestehenden Datensätzen ableiten, beispielsweise können Diagnosen eines Patienten - obwohl diese nicht dokumentiert wurden - aufgrund einer Kombination anderer, in der elektronischen Krankenakte dokumentierter, und die Krankheit sehr gut charakterisierender Patientenmerkmale mit einer hohen Wahrscheinlichkeit abgeleitet werden. Ein Anwendungsfeld des Phenotyping ist z.B. die Identifikation von Patienten, die bestimmten Ein- und Ausschlusskriterien für klinische Studien oder den Aufbau von Registern entsprechen (Rekrutierung) [118].

Mithilfe der Phenotyp-Definition werden dabei die Kriterien für den Identifikationsprozess festgelegt [31, 119]. Die Unterscheidung kann anhand von komplexen Kriterien erfolgen und somit anspruchsvoll und zeitaufwendig sein [120].

3 Methoden

Die Vorgehensweise zum Erreichen der festgesetzten Ziele sollen in diesem Kapitel dargelegt werden. Diese Ziele sind:

Z1: Analyse und Erschließung der Daten des Anästhesie-Informations-Management-Systems NarkoData im Hinblick auf die Wiederverwertbarkeit dieser Daten für wissenschaftliche Auswertungen

Z2: Erarbeitung und Umsetzung von Methoden zur Optimierung der wissenschaftlichen Wiederverwertbarkeit der anästhesiologischen Daten

Grundsätzlich lehnt sich die Vorgehensweise zur verbesserten wissenschaftlichen Nutzbarkeit der Anästhesiedaten an das CRISP-DM Referenzmodell [121] für die Entwicklung von Data Mining Analysen an, wie in Tabelle 2 dargestellt.

Für die Analyse und Erschließen der Anästhesiedaten (Z1) galt es im ersten Schritt, die Probleme zu verstehen und die Anforderungen der Kliniker zu identifizieren, sowie den aktuellen Wissenstand zur Anbindung anästhesiologischer Daten an ein Data Warehouse in der Literatur zu erfassen. Anschließend konnte durch Betrachtung der Struktur und Qualität der Daten ein Verständnis der Datengrundlage aufgebaut werden. Darauf folgte die entsprechende Vorbereitung der Daten für den Auswertungszweck mithilfe der systematischen Integration und standardkonformen Modellierung der Fakten- und Dimensionstabellen im clinical Data Warehouse (cDWH). Dieses Vorgehen verfolgt sowohl Z1, als auch Z2.

Für die Optimierung der wissenschaftlichen Wiederverwertbarkeit (Z2) wurden weitergehende generische Methoden konzipiert und umgesetzt, um Daten für Auswertungszwecke aufzubereiten (z.B. durch Voraggregation). Daneben wurden spezifische Ansätze zur Beantwortung individueller Fragestellungen (mithilfe von Phenotyping) konzipiert und umgesetzt. Abschließend erfolgte die Evaluierung der integrierten und optimierten Anästhesiedaten.

Tabelle 2 Vorgehensweise anhand der Ziele (angelehnt an das CRISP-DM Modell)

	Methodik	Zielsetzung	Ziel
Business Understanding	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Analyse des aktuellen Wissensstands in der Literatur ➤ Anforderungsanalyse 	Kateogrisierung der Anforderungen	Z1
Data Understanding	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Bestandsaufnahme der Datenlage ➤ Datenanalyse der Rohdaten 	Erschließung der anästhesiologischen Daten: Datenanalyse	Z1
Data Preparation & Modelling	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Integration der Daten in das Data Warehouse 	Erschließung der anästhesiologischen Daten: Datenmodellierung	Z1 & Z2
Aufbereitung der Daten	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Datenanreicherung 	Aufbereitung/Optimierung der wissenschaftlichen Wiederverwertbarkeit der anästhesiologischen Daten	Z2
Evaluation der Daten	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Test, Validierung der anästhesiologischen Daten im Data Warehouse 	Evaluierung der aufbereiteten anästhesiologischen Daten	Z2

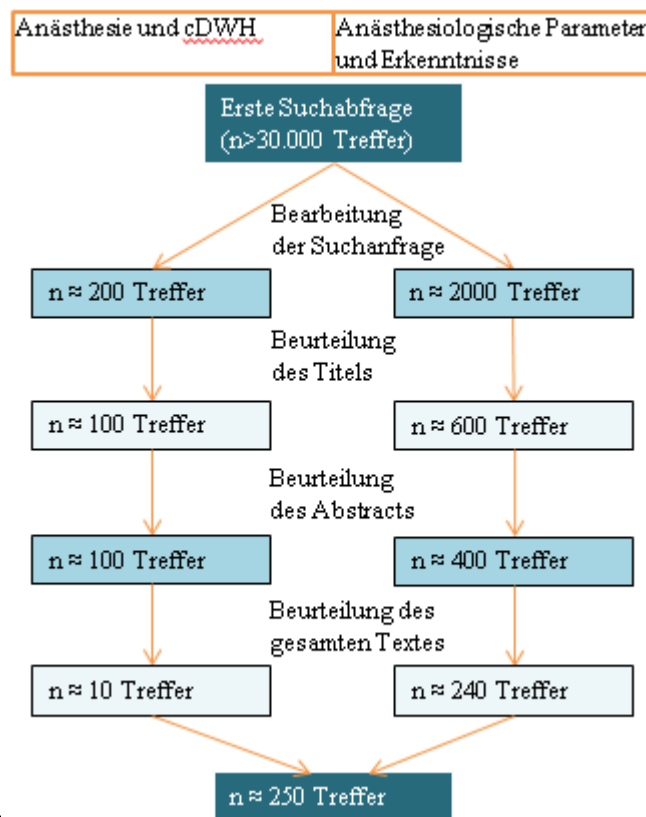
3.1 Basisanalyse

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Erfassung des aktuellen Stands der Forschung, sowie mit der Ermittlung der Anforderungen. Die übliche Technik dabei sind Literaturrecherchen und Interviews [122].

3.1.1 Literaturrecherche

Für die Literaturrecherche wurden Suchen in den Datenbanken PubMed, ScienceDirect, Springer-Medizin, MedPilot und Google-Scholar, sowie eine Recherche im Onlinekatalog der Universitätsbibliothek Erlangen-Nürnberg durchgeführt.

Im Kontext der Anästhesie wurde dazu Literatur zur Einbindung der Anästhesiedaten in ein klinisches



Data Warehouse (siehe linker Strang der

Abbildung 2), sowie zur Auswertung anästhesiologischer Parameter und die daraus resultierenden Erkenntnisse und Optimierungspotentiale (siehe rechter Strang der

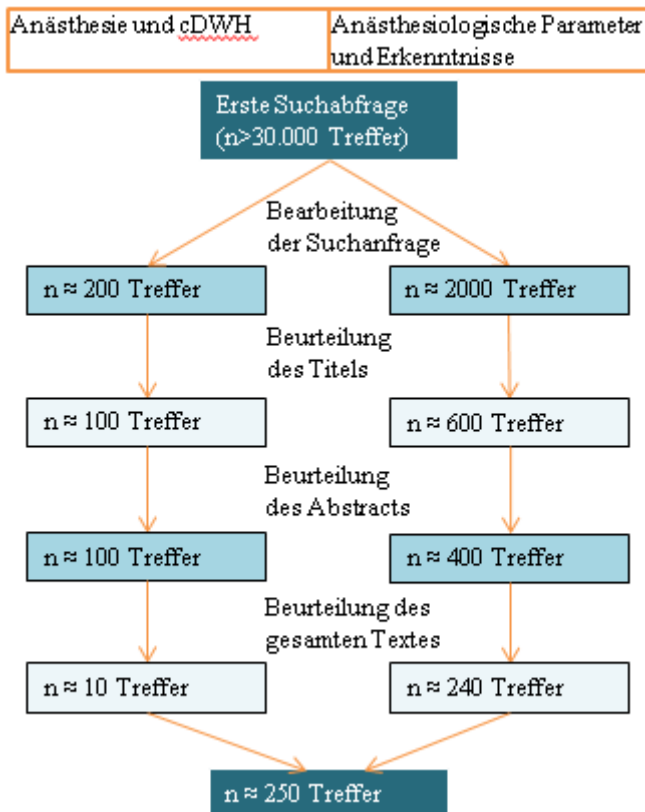


Abbildung 2), eingeschlossen. Zwar ist der operative Bereich jener mit den meisten Kosten und Erlösen [123, 124], dennoch sind ökonomische, sowie, wirtschaftliche und ethische Fragestellungen nicht Fokus dieser Recherche.

Die erste Suche ergab eine große Anzahl an Treffern (>30.000 Treffer), welche durch weitere Eingrenzungen der Suchbegriffe anhand der Bestandteile des Narkosedatensatzes weiter eingegrenzt wurde.

Insgesamt wurden ca. 2.200 Papers gefunden, welche anschließend sequentiell durch Beurteilung des Titels und Abstracts gefiltert wurden. Davon wurden ca. 1.950 Texte aufgrund von fehlender Relevanz und nach Entfernung der Duplikate verworfen. Von den verbliebenen 250 Papers wurde der Volltext

gelesen. Diese Artikel bilden die Basis für diese Arbeit (siehe

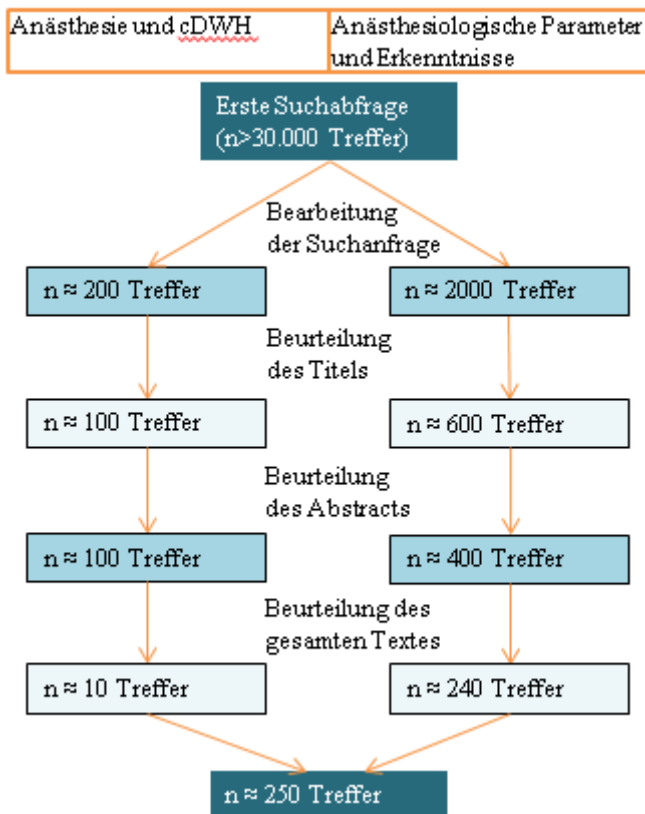


Abbildung 2). Zusätzlich erfolgte eine manuelle Recherche in den Literaturverzeichnissen der gelesenen Volltexte.

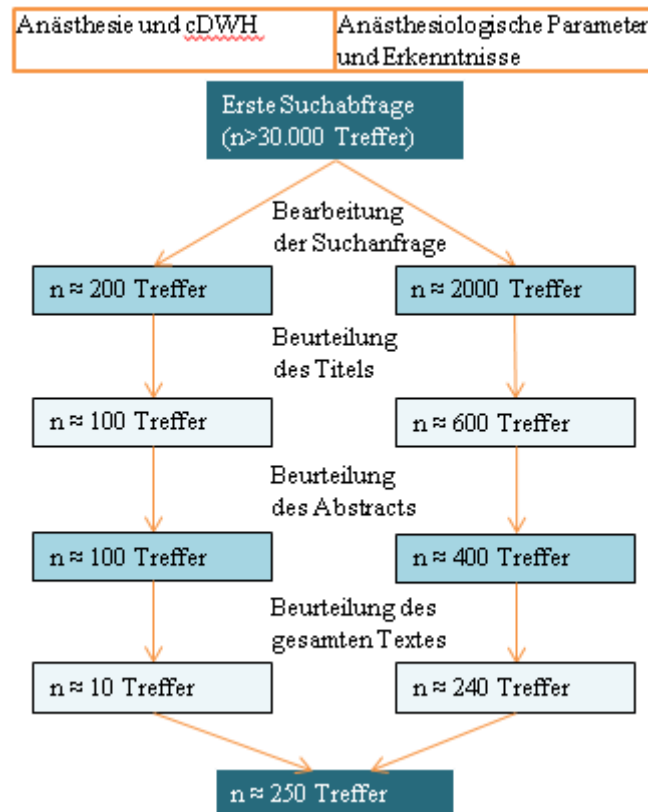


Abbildung 2: Vorgehensweise der Literaturrecherche

3.1.2 Anforderungsanalyse

„If you don't know where you are going, you are unlikely to end up there“
Forrest Gump

Wie schon Forrest Gump, eine Figur des gleichnamigen Romans von Winston Groom, ergründete, ist es wichtig zunächst zu definieren, wohin die Reise gehen soll, bevor man den ersten Schritt wagt. Für diese Arbeit wird Anforderungsanalyse in der Form verstanden, als dass sie jenen Prozessschritt bei der Entwicklung neuer Systeme beschreibt, indem ein gemeinsames Verständnis über die Zielsetzung und Aufgabenstellung erreicht wird. Aufgrund der spezialisierten punktuellen Expertise ist eine enge Zusammenarbeit und Kooperation wichtig, denn die Ärzte sind mit der Erfassung der medizinischen Tätigkeit vertraut, während IT-Experten über das Know-How für die Verwendung der generierten Daten verfügen.

In der Anforderungsanalyse wurden für ein schnelles Verständnis semistrukturierte Interviews in regelmäßigen Abständen durchgeführt. Die Ziele waren zum einen das Verständnis der Datengrundlage und die Bedürfnisse der Kliniker für zukünftige Fragestellungen und Kennzahlen zu erlangen, zum anderen eine Analyse über die bisher durchgeführten anästhesiologischen Auswertungen. Als Interviewpartner standen zwei Anästhesisten und der Systemadministrator des AIMS NarkoData des Universitätsklinikums Erlangen zur Verfügung. Die aus den Gesprächen resultierenden Anforderungen

wurden zunächst gesammelt und zusammengefasst und anschließend kategorisiert. In mehreren Iterationsrunden wurden die Anforderungen erarbeitet.

Da der Wunsch nach selbstständig durchführbaren Ad-hoc Abfragen aufkam, wurde in diesem Zusammenhang die bereits am UKer etablierte Abfrageplattform i2b2 vorgestellt und die Möglichkeiten damit beispielsweise zur Studienrekrutierung präsentiert.

3.2 Erschließung der anästhesiologischen Daten

Für die Erschließung der Anästhesiedaten im Sinne des Secondary Use ist die Integration der Daten in das cDWH notwendig. Dieser Integrationsschritt besteht zum einen aus dem Identifizieren und Verstehen der Rohdaten (Datenanalyse) und zum anderen aus dem tatsächlichen Integrationsprozess (ETL-Prozess).

3.2.1 Datenanalyse der Routinedaten

Im Rahmen dieser Arbeit ist eine initiale Quellsystem-Analyse durchzuführen. Ein Bestandteil der Analyse ist das Data Profiling, das eine Bestandsaufnahme der verfügbaren Datenquellen vornimmt und Erkenntnisse zu den Inhalten einzelner Quellattribute liefern kann. Das Ziel ist das Identifizieren der für die Anbindung an das cDWH relevanten anästhesiologischen Datenquellen (data identification), sowie das Verstehen dieser Rohdaten (data understanding) [125, 126]. In Zusammenarbeit mit der Anästhesiologischen Klinik wurde dazu der Zugang zur Auswertungsdatenbank (Oracle 11gTM) des NarkoData Systems etabliert.

Datenlieferung

Der Zugang wurde während der Entwicklungsphase zunächst auf einen Teilbestand des AIMS von insgesamt 5.015 Narkosen beschränkt. Diese Selektion wurde anhand erster Erkenntnisse der Literaturrecherche in Bezug auf häufig ausgewertete anästhesiologische Parameter vorgenommen. Im weiteren Verlauf konnte die Tabellenselektion und der Zeitraum sukzessive erweitert werden bis schließlich der gesamte Rohdatenbestand zur Verfügung stand. Die Realisierung des Zugangs erfolgte mit Hilfe von Views, welche eine eingeschränkte Ansicht der Tabellen mit Leserechten ermöglichen, da ein direkter Zugriff auf die vorhandenen Daten aufgrund von fehlenden Berechtigungen des NarkoData Systems nicht möglich war. Mit den freigegebenen Tabellen konnten erste deskriptive Grafiken und univariate Auswertungen (z.B. Histogramme und Verteilungsfunktionen) zu Visualisierungszwecken erzeugt werden.

Beispielsweise konnte die Relation zwischen der Zeit der Narkoseeinleitung in Verbindung mit dem Score nach Cormarck dargestellt werden (siehe Abbildung 3). Der Cormarck-Score gibt dabei die Intubationsbedingung anhand der Sichtverhältnisse bei einer Laryngoskopie an. Je höher der Score, umso höher der Grad der zu erwartenden Schwierigkeiten und umso länger die Narkoseeinleitung.

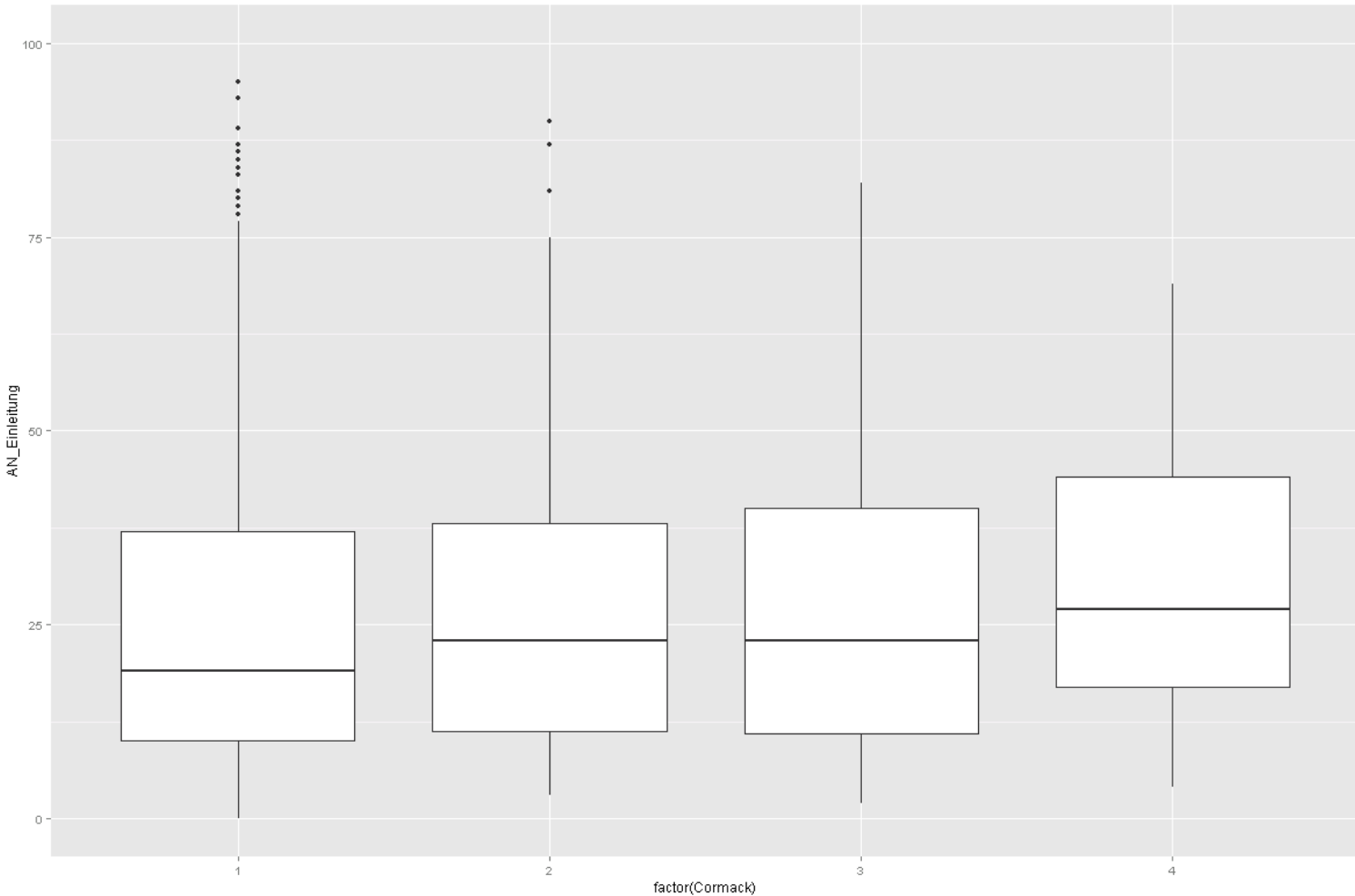


Abbildung 3: Boxplot zu Cormack -Score versus Narkoseeinleitungsdauer (in min)

Für die Initialbeladung werden die Daten komplett und ungefiltert bereitgestellt, während die anschließende Deltabeladung inkrementell in Blöcken abgegrenzt durch die Narkoseidentifikationsnummer erfolgt.

Nach dem Einrichten des Datenzugriffs wurden für alle Tabellen Feldbeschreibungen mit Datentypen und Ausprägungen dokumentiert. Es wurde sich darauf vereinbart, dass Änderungen von Tabellen oder Attributen von NarkoData mitzuteilen sind und in der Dokumentation anzupassen sind.

Datenanalyse

Die Datenelemente wurden zunächst mit dem empfohlenen DGAI Datensatz, dem Kerndatensatz Anästhesie der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin, abgeglichen, um die Datenverfügbarkeit gemäß dem etablierten Goldstandard sicherzustellen. Nachfolgend erfolgte die Auswahl der Datenelemente gemäß den Ergebnissen der Auswertungsanforderungen und Literaturrecherche (siehe Kapitel 4.1). Dafür ist die Kenntnis über die Existenz und die Lage der Datenelemente im Datenmodell Voraussetzung. Die Informationen dafür konnten aus drei unterschiedlichen Quellen gewonnen werden: Aus der Dokumentation des NarkoData Systems, durch semistrukturierte Interviews mit dem Systemadministrator und Klinikern, sowie aus der Anwendung

selbst. Letzterer Punkt konnte durch die Analyse des Dokumentationsprozesses untersucht werden. Zusätzlich zum Datenmodell wurde die Dokumentationsmaske des Systems in einem Operationssaal des UKEr unter realen Bedingungen gesichtet. Ein exemplarisches Narkoseprotokoll aus NarkoData konnte für das Verständnis der Datenablage der protokollierten Informationen sorgen.

Nach einer ersten Sichtung der Daten, wurde mit dem Data Profiling begonnen. Ursprünglich sollten die Daten mit dem open source Tool Talend Open Studio for Data Quality durchgeführt werden. Allerdings musste während der Installation und ersten Nutzung festgestellt werden, dass aufgrund des hohen manuellen und individuellen Aufwandes bei der Konfiguration und der Vorbereitung der initialen Datenanalyse das Unterstützungspotential als gering einzuschätzen ist. Stattdessen wurde das Data Profiling durch manuelle bzw. teilautomatisierte SQL-Skripte mit Hilfe von Excel und der Statistiksoftware R durchgeführt.

Dabei wurden die Inhalte der Verlaufstabellen bezüglich ihrer Min- und Max-Werte, Blank-, Empty- und NULL-Werte, sowie die Kardinalität der Spalten in Form eines Mengengerüsts betrachtet. Des Weiteren erfolgte eine Formatprüfung und in diesem Zuge wurden die Annahmen über den hohen Grad an Strukturiertheit durch eine Katalogisierung der Datenelemente verifiziert.

Bei den beschränkten Wertebereichen wurde eine Ausprägungsanalyse durchgeführt, um ungültige Codes zu identifizieren. Ferner wurden die Schlüssel auf ihre Eindeutigkeit geprüft. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf den freitextlichen Medikationsfeldern in Form einer Häufigkeitsanalyse und bei den Messwerten in Form einer Prüfung der sequentiellen Datensatzfolge gelegt, da diese für die ärztliche Behandlung von großer Bedeutung sind.

Ferner wurde die Nutzung der medizinischen Standardterminologien, insbesondere die anästhesiologisch relevanten ICD-, OPS- und ATC-Codes, untersucht, da diese Terminologien sich bei Auswertungen als hilfreich herausgestellt hatten. Grundsätzlich wurde bei der Analyse der Daten das Augenmerk vor allem auf die Schwachstellen gelegt, um diese bei der Re-Modellierung der operativen Daten anzugehen. Durch die intensive Auseinandersetzung mit dem Datenbestand konnten auch Eigenheiten des Datenmodells identifiziert werden. Ziel war es, eine Bewertung bezüglich der Eignung der Anästhesiedaten für weitere Auswertungszwecke („fitness for use“) [22] zu erhalten und Verbesserungsmaßnahmen zu identifizieren.

3.2.2 Datenintegration in das clinical Data Warehouse

Die Datenintegration der Narkosedaten in das cDWH erfolgte mithilfe einer dreistufigen Aufbereitung [127]. Dieser Extraktions-, Transformations-, und Lade- (ETL) Prozess ist ein entscheidender Faktor bei der Verbesserung medizinischer Forschung und Patientenbehandlung [14]. Im Folgenden wird die Vorgehensweise bei der Datenintegration anhand dieser drei Stufen (Extraktion, Transformation, Laden) näher erläutert. Ziel ist es, die aus Kapitel 4.2.1 identifizierten Schwachstellen bei der Integration in das cDWH zu lösen und den festgestellten Bedarf an weiteren Kennzahlen umzusetzen.

Datenextraktion

“The ETL system makes or breaks the data warehouse” [107]

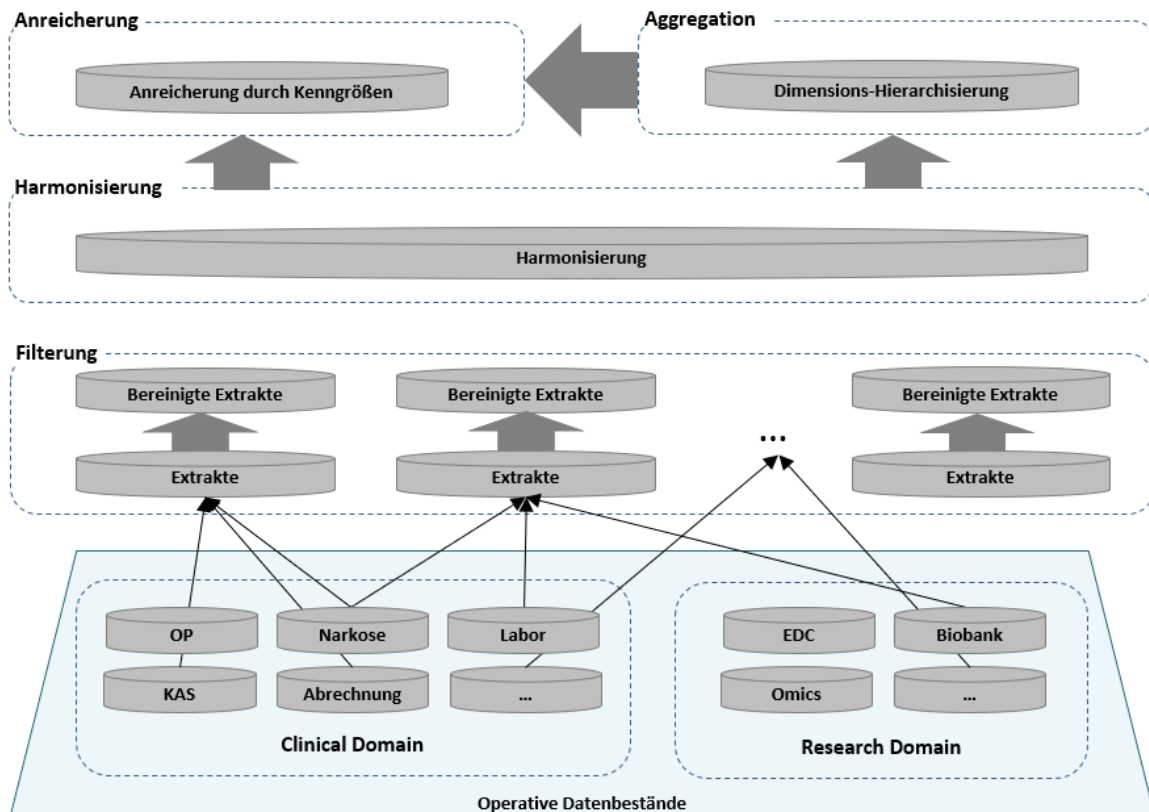


Abbildung 4: Übersicht des ETL-Prozess gemäß [107]

Die Selektion der in das DWH zu integrierenden initialen Daten wurde anhand der Ergebnisse aus der Literatur-Recherche und Anforderungsanalyse durchgeführt (siehe Kapitel 4.1). Für die gewünschten Fragestellungen wurden daher physiologische Daten, Beatmungsparameter, Medikamentenapplikationen, sowie narkosespezifische Daten einbezogen. Für die Überführung der genannten Tabellen in das cDWH wurde die gesamte ETL-Strecke mit dem am Standort bereits eingesetzten kommerziellen Werkzeug IBM Cognos™ etabliert. Die Abfragen über die zur Verfügung stehenden Daten wurde mithilfe der genormten Datenbanksprache SQL (structured query language) durchgeführt. Der initiale Gesamtimport des vorhandenen Datenbestands erfolgt dabei zunächst schrittweise in entsprechenden Blöcken von 50.000 Narkosen anhand des eindeutigen Schlüssels. Ursprünglich war eine jahresweise Aufteilung des Imports angedacht, welche allerdings aufgrund von jahresüberschreitenden Narkosen verworfen wurde. Anschließend werden die Daten mittels eines Delta-Imports der neuen oder veränderten Narkosen nach der inkrementell vergebenen Narkose-ID importiert.

Die Daten liegen somit redundant in der sogenannten Staging Area (auch Transformationsbereich [128] oder Arbeitsbereich [22] genannt) in relationalen Tabellen für weitere Aufbereitungsschritte vor.

Datentransformation

Die selektierten Daten liegen in einer für Auswertungszwecke noch nicht unmittelbar geeigneten Form vor, wie Kapitel „Ergebnisse der Datenanalyse der Routinedaten“ zeigt. Mithilfe der Transformation, wird eine Filterung mit Bereinigung (cleaning, cleansing), eine Harmonisierung (conform), sowie Anreicherung (enrichment) der Rohdaten vorgenommen

Im ersten Teilprozess, der Filterung, wurden die Daten auf Basis der Ergebnisse der Schwachstellenanalyse aus Kapitel 4.2.1 syntaktisch und inhaltlich bereinigt. Die Dateninhalte wurden vereinheitlicht und in ein konsistentes Format gebracht. Dazu wurde unter anderem eine Datenformatänderung von Attributen vorgenommen. Daneben konnten die identifizierten Duplikate bzw. Mehrfachdokumentationen bereinigt werden. In Zusammenarbeit mit den Anästhesisten konnte dafür eine Regelung für die Auswahl eines Datensatzes aus Duplikaten festgelegt werden.

Mit der Harmonisierung konnten die Narkosen mit dem bereits existierenden Bestand des cDWH (z.B. OP-Daten) mit Hilfe der Fallnummer zusammengeführt werden. Darüber hinaus wurden die Daten mit Standardterminologien angereichert. Die bislang fehlende Standardterminologie macht besonders eine Auswertung über die Medikamente schwierig. Deswegen ist für eine sinnvolle Nutzung der Medikationsdaten im cDWH ein Mapping auf die verbreitete WHO ATC-Klassifikation notwendig. Um dies exemplarisch aufzuzeigen, wurden im NarkoData die am 100 häufigsten verwendeten Medikamente der Anästhesie am UKEr mit entsprechenden ATC-Codes hinterlegt.

Eine weitere Standardisierung wurde bei den Operationszeiten vorgenommen, da sich die Ausprägungen dieser Datenelemente ebenfalls nicht an externe Standards zur Benennung perioperativer Prozesszeiten orientieren. Dazu wurde das Glossar perioperativer Prozesszeiten und Kennzahlen [129] der relevanten Fachgesellschaften⁶ verwendet. Gegenüber dem originären Datenbestand des AIMS wurden zusätzlich zu den Basiskennzahlen, abgeleitete Kennzahlen zum perioperativen Prozessablauf als eigenständige Datenelemente ergänzt [22], die im Standardglossar nicht vorgesehen sind.

Daneben konnten Verlaufstabellen und Stammdaten mit gleicher Struktur zusammengefasst werden. Unterformen der Rückenmarksanästhesie und die Unterformen der Lokalanästhesie (insgesamt 8 Tabellen) konnten in eine übergeordnete Regionalanästhesietabelle gebündelt werden. Des Weiteren konnten aufgrund der strukturellen Ähnlichkeiten die Vitalparameterdaten, wie Sauerstoffsättigung, Temperatur und Blutdruck/Puls in eine Tabelle zusammengeführt werden. Zusätzlich wurden die Stammtabellen mit gleicher Struktur (45 Tabellen) in eine Stamm-Daten Tabelle zusammengefasst. Die präoperativen Tabellen (Untersuchungsbefund und präoperativer Zustand) konnten ebenfalls gebündelt werden.

⁶ Eine gemeinsame Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (DGAI), des Berufsverbandes Deutscher Anästhesisten (BDA), des Berufsverbandes Deutscher Chirurgen (BDC) und des Verbandes für OP-Management (VOPM)

Für die Tabellen mit Messwerteinträgen wurde auch eine Umstrukturierung des Datenmodells durchgeführt. Bei diesen Daten wurde für die Modellierung der Verlaufsdaten auf ein Entity-Attribute-Value-Modell (EAV) zurückgegriffen [130–135]. Dabei erfolgt die Speicherung nicht in Spalten, sondern in Zeilen (row-modelling). Durch das Kippen (Pivotierung, Vertikalisierung) werden für jede Zeile die Entität, das Merkmal und der erfasste Wert des Merkmals abgelegt. Dadurch werden in dünn dokumentierten Tabellen nur jene gefüllten Attribute berücksichtigt und NULL-Werte vermieden. Dies wurde bei der Beatmungstabelle (7 Parameter) und Vitalparametertabelle (6 Parameter) durchgeführt.

Durch Bildung neuer Kennzahlen konnte die Anreicherung durchgeführt werden. Dabei wurden vor allem zeitraumbezogene Größen erstellt, wie z.B. die Dauer einer Maßnahme. Nach Rücksprache mit den Anästhesisten der Universitätsklinik Erlangen wurde der zeitliche Fixpunkt auf den Zeitpunkt des Anästhesiebeginns gelegt, sodass alle Zeiträume sich auf diesen Punkt beziehen. Die Anforderung der Kennzahlen wurde durch Gespräche mit den Anästhesisten und Erkenntnisse der Literaturrecherche identifiziert.

Für diese Arbeit wurden die transformierten Daten in Fakten und Dimensionen gemäß dem Star-Schema modelliert. Dabei bildeten überwiegend anästhesiologische Stammdaten (z.B. Zugänge oder Beatmungsverfahren) die Dimensionen. Anschließend erfolgte eine Betrachtung und Katalogisierung der Datenelemente der Faktentabellen.

Laden in das Data Warehouse und Bereitstellung im i2b2

Im letzten Schritt erfolgte das physische Laden der in den ETL-Schritten bearbeiteten Daten in das cDWH. Diese Daten wurden vom Data Warehouse-Team des Universitätsklinikums durch Aufbereitung der Konzeptionshierarchie im i2b2 für die Kliniker bereitgestellt. Genauso, wie die Modellierung der Rohdaten in das Star-Schema erfolgte, besitzt auch i2b2 eine Tabellenstruktur nach einem abgewandelten Star-Schema, wobei die Tabelle `Observation_Fact` die zentrale Faktentabelle repräsentiert.

3.3 Optimierung der wissenschaftlichen Wiederverwertbarkeit

Für viele Auswertungsanforderungen genügt es nicht, dass Anästhesiedaten im Data Warehouse vorliegen, vielmehr ist eine weitere Aufbereitung erforderlich. Damit sollen anästhesiologische Daten im klinischen Data Warehouse in einer optimalen Form vorliegen, so dass deren wissenschaftliche Verwertung vereinfacht erfolgen kann.

Für diese Arbeit wurde ein Mehrwert aus den anästhesiologischen Daten durch das Ableiten von implizitem Wissen mithilfe von Phenotyping generiert. In der Anforderungsanalyse (siehe 4.1.2) konnte festgestellt werden, dass für die Feststellung der Narkoseform, sowie für die Erkennung von PONV aus aktuellen Anlässen Bedarf für eine genauere Datenbetrachtung herrscht. Im Folgenden werden diese zwei Anwendungsbereiche exemplarisch genauer betrachtet.

3.3.1 Erstellung des Narkoseformen Phenotyping-Algorithmus

In der Datenanalyse (siehe 4.2.1) konnte eine festgestellt werden, dass die dokumentierte von der tatsächlich angewandten Narkoseform abweichen kann. Es ist jedoch anhand der Datenlage im cDWH möglich, diese implizit aus den dokumentierten Informationen, wie Narkosegasen, Medikationen und Regionalanästhesiedaten mittels Phenotyping abzuleiten. Damit können verlässliche Auswertungen auch über die angewandte Narkoseform getroffen werden.

Im ersten Schritt konnten zusammen mit der Anästhesie die zu unterscheidenden Narkoseformen determiniert werden. Diese sind: volatile Narkose, total-intravenöse Anästhesie (TIVA), TCI als Unterform der TIVA, balancierte Narkosen als (häufige) Mischform von volatiler und IV-Narkosen, Regionalanästhesien, sowie Standby-Operationen (=Begleitung durch Anästhesie mit optionaler Einleitung einer Narkose im OP-Verlauf) und reine Sedierungen.

Die Festlegung der Kriterien für die jeweiligen Phenotypes erfolgte in Gesprächen, sodass der Algorithmus iterativ aufgebaut werden konnte. Dazu wurden zunächst die zu betrachtenden Narkosearten determiniert, welche sich aus den Kombinationen der determinierten booleschen Kriterien zusammensetzt. Für diese Flags wurden mitunter Schwellwerte für deren Ausprägungen einbezogen.

Für die Erstellung des Phenotyping Algorithmus konnte bereits auf vorberechnete Daten im cDWH zurückgegriffen werden, wie beispielsweise die Gesamtdauer der tatsächlichen Medikation bei der kontinuierlichen Gasnarkose. Auch standen alle benötigten ATC-Codes bereits zur Verfügung. Dadurch war es möglich nach dem ATC-Klassifikationsbaum vorzugehen und die Medikationen somit auf ausgesuchte Ebenen einzuschränken anstatt nach allen notwendigen Medikamenten zu selektieren. Dabei wurden die einzelnen Narkoseformen anhand der definierten Kriterien identifiziert. Mischnarkosen bzw. Wechsel der Narkoseform ergeben sich somit aus der Kombination der einzelnen Narkoseformen.

Die Ergebnisse des Phenotyping Algorithmus wurden den entsprechenden Narkoseformen aus dem NarkoData System gegenübergestellt und in einer Faktentabelle zusammengefasst.

3.3.2 Erstellung des PONV Phenotyping-Algorithmus

Im Gegensatz zur Narkoseform, wird das Auftreten von PONV im NarkoData System nicht explizit strukturiert dokumentiert, soll aber für eine Einschätzung am UKEr, sowie für wissenschaftliche Fragestellungen und zur zukünftigen Entscheidungsunterstützung genutzt werden.

Im Rahmen einer medizinischen Doktorarbeit am UKEr wurden alle NarkoData Protokolle aus dem Jahr 2012 (n=30.500) retrospektiv nach aufgetretenen PONV händisch annotiert. Das Ziel dabei war, das Aufzeigen der PONV-Fälle, die Korrelation zwischen Apfel-Score und PONV bzw. Prophylaxe, sowie die Korrelation zwischen PONV-Prophylaxe und dem tatsächlichen Auftreten von PONV. Dies soll im

Folgenden implizit mit einem Phenotyping Algorithmus auf Basis der aufbereiteten Daten aus dem cDWH ermittelt werden.

Zu diesem Zweck wurde die Vorgehensweise der medizinischen Arbeit durch die Doktorandin persönlich in einem ersten Gespräch erörtert und die annotierten Daten der medizinischen Doktorarbeit in Form einer Excel-Datei bereitgestellt. Im nächsten Schritt wurde ein Verständnis der Daten durch Interpretation der relevanten Tabellen und Formeln erstellt, welche nachfolgend zusammengefasst und kategorisiert werden konnten. Die relevanten händisch annotierten Daten wurden zusätzlich als Tabelle in die Staging-Area geladen, um diese für Datenbankabfragen vereinfacht verwenden zu können.

Das Auswertungsergebnis der medizinischen Doktorarbeit bildet den Goldstandard für die generische Reproduktion der Ergebnisse. Zunächst wurden die Daten mithilfe der Narkose-ID auf Vorhandensein im cDWH geprüft und die entsprechenden Attribute unter Einbezug der Freitext-Felder im cDWH ermittelt. Es wurde so vorgegangen, dass jedes Kriterium separat rekonstruiert wurde und das Ergebnis daraufhin mit der Annotation abgeglichen wurde. Abweichungen wurden erneut durch die medizinische Doktorandin und einem weiteren unabhängigen Anästhesisten evaluiert.

Spezialfälle gab es bei der Determinierung der Medikation. Für diese Arbeit wurde im Gegensatz zur medizinischen Doktorarbeit, welche sich auf eine Auswahl an Medikations-Ids beschränkte, auf die Verwendung der ATC-Codes, die durch diese Arbeit Anwendung fanden, zurückgegriffen. Für diesen Zweck wurden zunächst die ATC-Codes der einzelnen Präparate durch eine Recherche⁷ in der aktuellen ATC-Klassifikation identifiziert. Diese ATC-Codes wurden bei der Abfrage der Medikationen verwendet.

3.4 Entwicklung eines Evaluierungskonzeptes

Die aufbereiteten Daten mussten am Ende validiert und getestet werden, um sicherzustellen, dass die Daten den Anforderungen entsprechend gebaut sind und keine Verfälschungen beim Laden der Daten aus NarkoData in das cDWH vorgenommen wurden. Im iterativen Entwicklungsprozess wurden die Faktentabellen präsentiert und mit den Experten abgestimmt. Für den Test wurden zunächst die Einzeldaten aus der Staging-Area und dem Data Warehouse stichprobenartig (n=50) mit den Rohdaten des AIMS NarkoData verglichen und auf Richtigkeit geprüft. Im nächsten Schritt wurden die modellierten Daten stichprobenartig im Quellsystem nachvollzogen und validiert.

⁷ Die amtlichen deutschen ATC- Klassifikationen wurden im deutschen Institut für medizinische Dokumentation und Information (DIMDI) nachgeschlagen:
<http://www.dimdi.de/dynamic/de/klassi/downloadcenter/atcddd/version2016/atc-ddd-amtlich-2016.pdf> (Stand: Oktober 2017)

3.4.1 Test der Daten im Data Warehouse

Der Aufbau der ETL-Strecke wurde durch Entwicklertests während der Entwicklung iterativ getestet. Dabei wurde mit Hilfe der Lognachrichten nachvollzogen, ob die Strecken im Cognos Data Manager™ ohne Abbrüche oder Warnungen durchlaufen wurden.

Eine saubere Staging-Area ist essentiell, da diese eine solide Basis für weitere Aufbereitungsschritte darstellt. Folglich wurde die Staging Area in Bezug auf Vollständigkeit und Korrektheit der Inhalte getestet. Anschließend wurden die Inhalte der Stage einer Formatprüfung unterzogen, in der die Datenformate überprüft und bei Bedarf angepasst wurden.

Die Logik der einzelnen Fact Builds aus dem Cognos Data Manager™ wurde daraufhin anhand der dokumentierten Regeln mit Hilfe eines vier-Augenprinzips nochmals verifiziert und validiert. Dieser Schritt soll Denkfehler bzw. Programmierfehler ausschließen.

Während und nach der Entwicklung wurden die Faktentabellen mittels eines Rekonstruktions-Tests gegen die Quelldaten geprüft. Augenmerk wurde dabei vor allem auf aggregierte Kennzahlen gelegt. Bei der Auswahl der Stichproben wurde auf eine breite Streuung geachtet. Auch die Dimensionstabellen wurden stichprobenartig getestet.

3.4.2 Validierung des Narkoseform Phenotyping Algorithmus

Um das Narkoseform-Phenotyping für Auswertungszwecke standardisiert nutzen zu können, mussten die Ergebnisse des Algorithmus ebenfalls auf Richtigkeit überprüft werden. Da kein Goldstandard existiert, musste ein Konzept erstellt werden, das die Validierung der Ergebnisse des Algorithmus durch die Fachexpertise der Anästhesisten gewährleistet.

Die Validierung bestand daraus, dass die Flags Gasnarkose, IVA, ICI und Regionale Anästhesie pro Narkose annotiert von Anästhesisten werden sollten. Kombinationen der Narkoseformen waren möglich. Für eine umfangreiche Validierung wurden im Konzept 300 Narkosen betrachtet, welche nach sämtlichen Kombinationsmöglichkeiten zufällig selektiert wurden. Allerdings stellte sich im Laufe der Validierung dieses Konzept als nicht praktikabel heraus aufgrund der Anzahl an zu betrachtenden Kriterien pro Narkose. Folglich wurden 60 Narkosen nach diesem Konzept validiert.

Schließlich wurde für die Validierung ein Mengengerüst über die Kombinationen der Narkoseformen-Flags und der daraus abgeleiteten Narkoseform erstellt. Dieses Mengengerüst wurde iterativ mit den Anästhesisten abgestimmt, bis die Mengenverhältnisse den Erwartungen entsprachen. Dabei wurde besonderes Augenmerk auf auffällige Kombinationen der Narkoseformen-Flags gelegt und stichprobenartig (n≈100) validiert.

3.4.3 Validierung des PONV Phenotyping Algorithmus

Der Test des PONV Algorithmus erfolgt anhand der Validierung der einzelnen Kriterien für das Erkennen von PONV-Fällen und der PONV-Prophylaxe, sowie dem Festlegen des Apfel-Scores. Die

Evaluierung gliederte sich in zwei Teile. Zum einen wurden die Abweichungen vom Goldstandard validiert (siehe Kapitel 4.3.2), zum anderen wurde der Algorithmus daraufhin auf alle Narkosen angewandt und stichprobenartig validiert (n=100).

Der Test der Ergebnisse des PONV Algorithmus erfolgte iterativ in mehreren Schritten. Dabei wurde dem Anästhesisten eine Excel-Datei zur Verfügung gestellt mit Fallnummern, Narkose-IDs und den für die einzelnen Annotationen relevanten Informationen. Die durch den Algorithmus determinierten Annotationen waren dabei nicht ersichtlich, sodass die Validierung blind erfolgte.

4 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse, die sich aus der im Methodenkapitel 3 beschriebenen Vorgehensweise ergeben, dargestellt. Dieses Kapitel gliedert sich in die Analyse und Erschließung der anästhesiologischen Daten bezüglich ihrer wissenschaftlichen Wiederverwertbarkeit, sowie die Umsetzung von Methoden zur Optimierung der wissenschaftlichen Wiederverwertbarkeit. Nach der Analyse der Anforderungen und Aufbereitung der Daten konnten diese in das klinische Data Warehouse, sowie auf der klinischen Abfrageplattform i2b2 zur Verfügung gestellt werden.

4.1 Ergebnisse der Basisanalyse

Die Grundlagenrecherche gliedert sich in eine Literatur- und in eine Anforderungsanalyse. Die Literaturrecherche zeigte den aktuell publizierten Wissensstand und dient als Orientierung für zukünftige Forschungsvorhaben. Mit der Anforderungsanalyse konnte ein Überblick über die aktuell am UKEr anhand der vorhandenen Narkosedaten bereits durchgeführten Auswertungsbereiche erstellt werden. Ferner konnten die Bedürfnisse der Kliniker für zukünftige Auswertungen und Fragestellungen eruiert werden. Diese Analysen dienen als Ausgangspunkt für weitere zukünftig formulierbare Forschungsbereiche.

4.1.1 Ergebnisse Literaturrecherche

Erkenntnis 1: Es existiert ungenutztes Potential der AIMS Daten für Secondary Use

In der Anästhesie wird bereits vielerorts elektronisch mit Hilfe von Anästhesie Informationsmanagement Systemen, die die Sammlung und elektronische Speicherung, sowie deren Präsentation ermöglichen, dokumentiert [136–140]. Trotz der vermehrten Nutzung dieser Systeme im Routineeinsatz [141, 142] und der hohen Datenqualität [143–145], fanden diese allerdings als Grundlage für Studien und wissenschaftliche Forschung nur unzureichend Einsatz [136, 142, 146]. Vor allem der hohe Anteil an zeitbezogenen Daten, welches signifikant für Anästhesie Informationssystemen ist, findet großen Nutzen in der Forschung sowie bei Optimierung der Anästhesiologischen Praxis [147–149]. Seit 2001 ist das Interesse an perioperativen Outcome-Forschungen gestiegen [150]. Allerdings wird in vielen medizinischen Studien weiterhin nicht beschrieben woher die Daten bzw. Auswertungsgrundlagen stammen. Einige Studien entnehmen ihre Informationen direkt aus dem Anästhesieprotokoll [151].

Mit dem prototypischen AIMS namens CAPE (computer-assisted patient evaluation system) wurde bereits 1983 der Versuch unternommen Daten für die klinischer Routine und wissenschaftliche Forschung zu erfassen [152]. Es wurden elektronische Standardformulare zur der vollständigen anästhesiologischen Narkoseerfassung entwickelt und mit Hilfe von Use-Cases aufgezeigt, welchen Mehrwert diese Daten bringen können. Beispielsweise konnten mit präoperativem Screening Patienten mit erhöhten postoperativen respiratorischen Komplikationen mit Hilfe von logarithmischen Regressionsanalysen determiniert werden.

Des Weiteren wurde auch aus einem deutschen Umfeld ein Ansatz, die AIMS Daten direkt für Kliniker zugänglich zu machen, publiziert, allerdings beschränkt sich dieses Projekt auf Anästhesiedaten und ermöglicht somit keine Auswertungen über fachspezifische Daten hinaus [138, 153]. Um die Anästhesiedaten überdies auswertbar zu machen, müssen sie in ein zentrales Data Warehouse eingebunden und mit weitere Daten verknüpft werden. Allerdings sind diese Daten bislang noch nicht ausreichend im Data Warehouse erschlossen [28].

Erkenntnis 2: Anästhesiologische Forschung umfasst ein breites Auswertungsspektrum mit überwiegend retrospektivem Studiendesign

Zu den Zielen einer Anästhesie zählen Hypnose, Analgesie, Relaxation und Reflexdämpfung, und damit das Ausschalten sämtlicher körperlichen Schutzfunktionen, weswegen die Patientensicherheit während einer Operation ein zentraler Bestandteil der Anästhesie ist [52, 154, 155]. Gehen einige Publikationen davon aus, dass die Patientensicherheit durch den Einsatz von Medizingeräten (z.B. Beatmungsgeräte, Monitore, elektronische Erfassung) gestiegen ist [156–158], so zeigen andere, dass diese gleich geblieben ist, unter anderem, weil Zahlen aus den Entwicklungsländern eingeschlossen werden [159].

Anders als auf normalen Stationen, in der Patientensicherheit in Zusammenhang mit der Erkennung von unerwünschten Arzneimittelwechselwirkungen in Verbindung gebracht wird, hängt die Sicherheit der Anästhesie (anesthetic safety) [160], neben den gegebenen Medikamenten selbst (drug safety) [161], maßgeblich vom Prozess, also der Durchführung der richtigen Narkose (z.B. Einleitung, Narkoseaufrechterhaltung- und monitoring, Airway-Management) ab [162].

So werden beispielsweise Vergleiche von verschiedenen Narkoseformen (v.a. Allgemeinnarkose und Regionalanästhesie) [152, 163–166], sowie Vergleiche der Wirkung der verwendeten Medikamente (z.B. Sevofluran und Desfluran) [167–170] durchgeführt. Die häufigste Narkoseform stellt dabei die balancierte Narkoseform dar, gefolgt von TIVA [171].

Folglich werden in der anästhesiologische Literatur die Narkoseprozesse, sowie die Komplikationen/Vorkommnisse/Ereignisse und Risiken während einer Anästhesie und deren Outcomes diskutiert, mit dem Ziel das Narkoserisiko zu minimieren [162]. Viele Studien befassen sich dabei mit wichtigen Prozessvorgängen in der Anästhesie, wie beispielsweise einer Analyse der Prozesszeiten (z.B. Einleitungszeit [172], Extubationszeit [167]) und von Prozessschritten (z.B. Einleitung [173]), sowie dem Airway-Management (z.B. Intubationsschwierigkeiten [174]) [160, 175].

Ferner beschäftigen sich Publikationen mit der Narkosetiefe [41, 176–178], die mit Hilfe der EEG Daten (z.B. abgeleiteten BIS-Wert) ermittelt wird und wie diese medikamentös (z.B. MAC-Wert) erreicht wird [176, 179].

In der Literatur werden intraoperative Komplikationen [157, 180] und Vorkommnisse, wie intraoperative Hypotension [181–185], Bradykardie [185, 186] oder andere kardiovaskuläre Ereignisse

[187] während einer Operation evaluiert. Der sogenannte „triple low“ Status eines Patienten (niedriger Blutdruck, niedriger BIS-Wert, niedriger MAC) wird beispielsweise direkt mit der Mortalität in Zusammenhang gebracht [188, 189] und als Prädiktor für einen verlängerten Krankenhausaufenthalt aufgefasst [190].

Viele Studien befassen sich mit den Folgen einer Anästhesie, beispielsweise mit dem Risiko der Mortalität [191–198] und Morbidität [192] und beweisen, dass Anästhesie dabei eine entscheidende Rolle spielt [162, 199]. Dabei variiert beispielsweise die Definition von anästhesie-geschuldeten Sterbefällen, wie auch das Verständnis des perioperativen Zeitraums (von intraoperativ bis hin zu einem postoperativen Jahr [181, 193]) [194]. Auch hängt die Mortalität von vielen weiteren Faktoren ab, was eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse der Studien nicht ermöglicht [194].

In den letzten Jahren hat sich ein Trend zur Identifikation von Prädiktoren [182, 185, 200–204] und Risikofaktoren [203] entwickelt. Ein Beispiel ist das frühzeitige Erkennen einer schwierigen Intubationen [205]. Es wird versucht den postoperativen Outcome [206, 207], beispielsweise durch die Einführung eines erweiterten perioperativen Protokolls [206], zu definieren [208] und verbessern.

Bei der klinischen Forschung [209] handelt es sich größtenteils um retrospektive Auswertungen - in wenigen Fällen sind es allerdings auch prospektive Beobachtungsstudien (z.B. [210]).

Erkenntnis 3: Zentraler Fokus der Anästhesie sind physiologische Parameter

Die in den Auswertungen betrachteten Parameter können in narkosespezifische Daten, patientenspezifische Merkmale und physiologische Messparameter eingeteilt werden. Narkosespezifische Daten sind unter anderem Narkoseform [167], Art der Operation (z.B. Transplantation [183, 211]) und Prozesszeiten [172]. Des Weiteren werden patientenbezogene Daten, wie Alter [175, 182, 212], Geschlecht [186, 211], Gewicht [175, 213], BMI [172] und Vorerkrankungen (z.B. Myokardinfarkt [212]) betrachtet.

In vielen Studien werden physiologische Messparameter und anästhesiologische Scores, vor allem ASA [172, 175, 182, 187, 193, 214], Cormack, oder PONV [60, 66, 215–218], genutzt. Typische Daten sind zentrale hämodynamische Parameter, wie Blutdruck (Systole, Diastole und MAP) [183, 184, 219–221], und Herzfrequenz [177, 221, 222], sowie Beatmungsparameter, wie Atemminutenvolumen [222], Atemfrequenz [177], Atemvolumen [177]) und Sauerstoffsättigung [175].

Um darüber hinaus einen Mehrwert zu erzeugen, haben einige Studien die AIMS Daten mit weiteren Patientendaten zusammengeführt. Beispielsweise konnte mit neurophysiologischen Daten der kognitive Rückgang nach einer Herzoperation evaluiert werden [223]. Weitere Publikationen beschäftigen sich mit dem Zusammenhang der Anästhesie (z.B. ASA) und der postoperativen Erholung [224–226], wie zum Beispiel der Länge des Krankenhausaufenthalt [152] (postoperative Erholung) oder dem Risiko

für das Auftreten von PONV [163, 227]. Es wurde beispielsweise festgestellt, dass die ASA-Klassifikation ein Prädiktor für den postoperativen Outcome ist [214].

4.1.2 Ergebnisse der Anforderungsanalyse

Mit der Anforderungsanalyse sollen folgende zwei Ziele verfolgt werden: Es wurden der anästhesiologische Ist-Zustand erhoben und die Bedürfnisse an eine zukünftige Auswertungsgrundlage ermittelt. Für die IST-Analyse wurde parallel eine erste Betrachtung der Datenlage durchgeführt. Durch Gespräche mit dem Systemadministrator des AIMS NarkoData konnte die IST-Analyse aus Daten-Sicht ermittelt werden. Die fachlichen Anforderungen der Datenabnehmer konnten durch weitere Gespräche mit den Anästhesisten in Erfahrung gebracht werden. Diese zwei Komponenten komplettierten die Anforderungsanalyse und ergaben ein umfassendes Bild des Ist- und Soll-Zustandes.

Ist-Situation

Die OP-Dokumentation erfolgt überwiegend im Meierhofer MCC/ISOP, außer in zwei Fachabteilungen (Herzchirurgie, Kinderherzchirurgie), die mit dem QIMS-System dokumentieren. Im DWH werden beide Quellen zu einer gemeinsamen Sicht zusammengeführt. Zusätzlich wird die Anästhesie im NarkoData dokumentiert. NarkoData läuft als lokale Applikation am Anästhesiearbeitsplatz. Zu Beginn einer Anästhesie wird die Protokolldatei verschlüsselt in einem vorkonfigurierten Speicherintervall sowohl auf der lokalen Festplatte, als auch über Netzwerk auf einem Server archiviert. Durch dieses Sicherungskonzept kann auf eine Kopie mit minimalem Datenverlust entsprechend des Speicherintervalls zurückgegriffen werden. Anschließend werden diese Textdateien in einem relationalen Datenbankmanagementsystem (RDBMS) in einer Oracle Datenbank für Auswertungen verfügbar gemacht. Narkodata liegt also ein filebasiertes Ablagesystem zugrunde. Über serielle Schnittstellen sind die Vitalmonitore und Beatmungsmaschinen angeschlossen.

Nach Sichtung der Datenlage konnte festgestellt werden, dass am Universitätsklinikum Erlangen ca. 33.000 stationäre Anästhesieleistungen an rund 105 Anästhesiearbeitsplätze jährlich dokumentiert werden. Seit 2001 sind ca. 360.000 Anästhesien mit NarkoData erfasst worden. Durch die sukzessive Ablösung der papierbasierten Dokumentation, spiegelt diese Zahl nicht exakt die Anzahl der behandelten Patienten wieder. Somit gab es eine Zeit, in der zeitgleich elektronisch und manuell dokumentiert wurde. Es befinden sich ca. 175 Millionen Datensätze in allen Tabellen der Protokollinhalte der Datenbank. Es gilt nun, sich diese Daten für wissenschaftliche Forschung zugänglich zu machen.

Bisher war der Prozess der Wiederverwendung dieser Daten für Auswertungen wie folgt: Es wurde seitens der Klinker (v.a. Ärzte) Bedarf an einer Auswertung beim Systemadministrator angemeldet. Anschließend wurde in Gesprächen die Beantwortbarkeit der Fragestellung durch die Datengrundlage aus NarkoData seitens des Systemadministrators eingeschätzt. Für diesen Schritt ist viel

Hintergrundwissen über die Besonderheiten des Systems, die Aussagekraft einzelner Parameter hinsichtlich ihrer Art der Erhebung und der zur Verfügung stehenden Datenqualität erforderlich. Ein automatisiertes Auswerten der Rohdaten ohne Voraufbereitungen ist nicht möglich und würde fehlerhafte Ergebnisse liefern.⁸ Die Umsetzung der Auswertung erfolgte nachfolgend durch den Systemadministrator und wurde nach Fertigstellung als Excel-Datei zur Verfügung gestellt.

Generell kann zwischen Auswertungen für wissenschaftliche Zwecke und Auswertungen im klinischen Bereich unterschieden werden. Einen zentralen Auswertungsfokus spielt bei wissenschaftlichen Fragestellungen der Ausgang (Outcome) einer Operation/Anästhesie mit dem Versuch diesen mit weiteren Parametern in Beziehung zu setzen; während typische Fragestellungen für den klinischen Betrieb abrechnungsrelevante Fragestellungen bzw. Möglichkeiten zur Prozessoptimierung sind. Insgesamt wurden in den letzten Jahren über 100 Auswertungen auf diese Weise generiert, wovon einige regelmäßig bereitgestellt werden.

Neben der Aufbereitung der Daten für Auswertungen, werden auch Rohdaten für Studien geliefert, bei denen die Wissenschaftler selbst eigene Auswertungen durchführen können.

Zukünftige Auswertungen

Aus den klaren Aussagen der Anästhesisten konnten die Anforderungen für die Auswertungsbasis erstellt werden. Die Ergebnisse der Literaturrecherche decken sich dabei mit den Vorstellungen der Kliniker über Auswertungen am Universitätsklinikum Erlangen. Durch eine Zusammenfassung der Gesprächsaufzeichnungen mit den Klinikern, konnten vier Hauptbedürfnisse festgestellt werden, auf welche im Folgenden genauer eingegangen wird.

Anforderung 1: Selbstständige Erstellung von ad-hoc Abfragen

Für den Kliniker ist es oft nicht möglich, selbstständig die gewünschte Abfrage an das AIMS zu richten. Häufig ist er gezwungen den entsprechenden Administrator mit tiefen Kenntnissen der Datenbankstruktur zu bitten, die Auswertung durchzuführen. Der hohe Aufwand der händischen Aufbereitung der anästhesiologischen Daten bedingt eine asynchrone Ergebnislieferung. Ad-hoc Abfragen sind damit nicht ohne weiteres möglich.

Eine Möglichkeit der Ad-hoc Abfragen ist das bereits am Standort eingesetzte Werkzeug i2b2 zu verwenden. Der Erfahrung nach, stellt i2b2 dafür ein benutzerfreundliches Werkzeug dar, das die Erwartungen der Kliniker an eine Rekrutierungsplattform, wie beispielsweise einfache Vorselektionen für eine Fallzahlabeschätzung erfüllt. Die DWH-seitig aufbereiteten Narkosedaten stellen dabei die Datengrundlage dar.

⁸ Laut Aussage des Systemadministrators vom 05.12.2015

Anforderung 2: Datenverfügbarkeit und Datenqualität

Neben den ad-hoc Abfragen, bei denen einfache Kohortenabfragen schnell eigenständig beantwortet werden können, soll es darüber hinaus möglich sein, komplexe Fragestellungen an den anästhesiologischen Datenbestand zu richten.

Dabei können die Kriterien an Auswertungen mit Hilfe von Objektivität, Validität und Reliabilität beschrieben werden. Um das zu erreichen muss eine ausreichende Datenqualität vorliegen.

Durch die Datenanalyse (siehe Kapitel 3.2.1), konnte festgestellt werden, dass die Dokumentation der geplanten Narkoseart teilweise von der späteren Realität abweicht. Um allerdings aussagekräftige Bewertungen bezüglich der Narkosen treffen zu können, müssen diese verlässlich sein. Dieser Aspekt erfüllt somit nicht der Anforderung an Reliabilität und somit auch Validität.

Ein weiterer Wunsch der Anästhesisten richtet sich an die Identifikation von PONV-Fällen. Es soll automatisiert aus den Daten ermittelt werden, wie häufig es zu postoperativer Übelkeit und Erbrechen kommt, um im nächsten Schritt weitere Zusammenhänge identifizieren zu können. Allerdings existiert bislang keine explizite Erfassung von PONV.

Diese zwei Szenarien sollen in dieser Arbeit folglich näher thematisiert werden.

Anforderung 3: Durchführung fachspezifischer und fachübergreifender Auswertungen

Die Anästhesisten fordern die Möglichkeit der Konsolidierung anästhesiologischer Daten mit Daten anderer Fachbereiche und somit eine ganzheitliche Betrachtung der Patientenversorgung. Besonders interessant sind dabei die Daten aus der Intensivstation.

Während der Analyse kam heraus, dass NarkoData zwar eine integrierte Auswertungsfunktion (NarkoStatistik) anbietet, diese jedoch aufgrund mangelnder Verwendung wieder abgeschafft wurde. Allerdings eröffnet eine solche statistische Bereitstellung der Daten im Data Warehouse die Möglichkeit, dass Narkosedaten auch über anästhesiologische Auswertungen hinaus wissenschaftlich verwertbar sind und beispielsweise mit DRG- Daten (§21-KHEgG-Daten) etc. verbunden werden können. Die Zusammenführung der Narkosedaten mit den DRG-Daten war dabei eine zentrale Forderung, die einer Freigabe durch einen Vorstandbeschluss benötigte.

Mit der Einbindung der Anästhesiedaten in das cDWH ist es über die Fallnummer möglich, Einsicht auf die bereits im cDWH erschlossenen und verfügbaren Daten zu erhalten, wie beispielsweise die OP-Daten. Damit können Outcome-Analysen, wie Mortalitäts- und Morbiditätsanalysen (z.B. über Entlassart oder ICD Kodierung), Kosten-Nutzen-Rechnungen, postoperative Zusammenhänge (z.B. Verlauf von Laborwerten oder Liegedaueranalysen) durchgeführt werden.

Nichtsdestotrotz ist auch Bedarf an fachspezifischen Auswertungen vorhanden. Dazu wurde auch der Wunsch nach weiteren Kennzahlen geäußert.

Anforderung 4: Big Data-Analysen

Der Einsatz von Data Mining-Verfahren zur Gewinnung neuer Erkenntnisse in den riesigen klinischen Datenbeständen beschreibt eine weitere Anforderung der Anästhesisten. Diese Herausforderung kann mit den sich in der Wissenschaft etablierenden Buzzwort Big Data zusammengefasst werden [228, 229].

Aus der Fülle an existierenden Datenbeständen sollen nützliche Informationen und Wissen für zukünftige Maßnahmen abgeleitet werden [228, 230]. Ziel ist dabei, generelle Beziehungen, Kausalitäten und Assoziationen der Daten herauszufinden. Dazu wird Data Mining, das durch genauere Betrachtung nicht-triviale Extraktion impliziter bislang unbekannter und potentiell nützlicher Information aus Daten ermöglicht [231, 232], eingesetzt.

Insgesamt kann der Anforderungskatalog der Anästhesisten wie folgt zusammengefasst werden:

Tabelle 3: Zusammenfassung der Anforderungen der Kliniker

Anforderung	Fragestellung
Selbstständige Ad-hoc Abfragen	Wie können die Daten Klinikern direkt und verständlich zur Verfügung gestellt werden?
Datenverfügbarkeit und Datenqualität	Wie können die notwendigen Informationen aus den Daten generiert werden?
Fachübergreifende Auswertungen	Ist eine Zusammenführung anästhesiologischer Daten mit weiteren Daten (beispielsweise aus dem KAS) möglich?
Big Data-Analysen	Können zukünftige Big Data Analysen mit den existierenden anästhesiologischen Daten durchgeführt werden?

4.2 Ergebnisse der Datenerschließung

4.2.1 Ergebnisse der Datenanalyse der Routinedaten

Datenlieferung

Die Datenquelle bildet das Datenmodell des AIMS NarkoData des Universitätsklinikum Erlangen. Das zugrundeliegende Datenbankdesign der Datenbasis entspricht dem tabellenbasierten relationalen Datenmodell nach Codd [233–235], welches auch das dominierende Datenmodell in der Wirtschaft ist [113]. Im Zuge der Normalisierung unterscheidet NarkoData zwischen Stamm- und Verlaufsdaten.

Die Quelldaten wurden erstmals mit einer Initialbeladung in die Staging Area geladen. Diese Beladung enthielt alle erstellten Datensätze bis einschließlich des Kalendertags des Beladungszeitpunktes. Die anschließende Block-Deltabeladungen enthält die letzten n Narkosen. Nach Abschluss eines Protokolls und der Überführung in die Oracle Datenbank ist es systemseitig allerdings nicht mehr möglich Daten zu korrigieren. Dies muss mit Hilfe eines manuellen Schrittes direkt auf der Datenbank über harte Updates erfolgen.

Grundsätzlich erfasst das AIMS sämtliche perioperativen Anästhesiedaten. Dazu gehört vor allem die intraoperative Dokumentation mit den entsprechenden Maßnahmen im zeitlichen Verlauf, wie Messparameter, Medikationen und Beatmungsparameter. Daneben wird die präoperative Visite, sowie der präoperative Zustand des Patienten erfasst, bei denen beispielsweise die ASA-Klassifikation festgestellt wird. Des Weiteren wird teilweise postoperativ im Aufwachraum dokumentiert.

In der Anästhesie existiert bereits eine Empfehlung der DGAI für den anästhesiologischen Kerndatensatz, welches Datenfelder für eine einheitliche Datenerfassung beschreibt. Der Abgleich der Datenelemente in NarkoData mit dem Kerndatensatz der Anästhesie in der Version 3.0, welcher 66 überwiegend obligate Felder beschreibt, konnte erfolgreich durchgeführt werden (siehe Tabelle 21). Somit liegen die Daten entsprechend der Mindestanforderung der DGAI-Richtlinie vor.

Darüber hinaus konnten auch die identifizierten Datenelemente aus der Literaturanalyse zum großen Teil im NarkoData Datensatz wiedergefunden werden (siehe Tabelle 20). Somit können die bereits publizierten Auswertungen am UKEr nachvollzogen werden. Zusätzlich zu anästhesiologischen Inseleauswertungen, ist ein Zusammenführen mit weiteren klinischen Daten aus dem cDWH technisch über die Fallnummer und Patientennummer ebenfalls möglich. Anhand der Parameter der Literaturanalyse konnte die Priorisierung der Dateninhalte stattfinden.

Für diese Arbeit wurden insgesamt wurden 83 Tabellen identifiziert: 28 Verlaufstabellen mit 259 Attributen und 62 Stammtabellen mit 291 Attributen (siehe Tabelle 22). Die Stammtabellen enthalten zentrale Standardwerte, wie beispielsweise Informationen über Kanülen, Messungsort für die SAO₂-Messung. Die Verlaufstabellen, auf die hier im Besonderen eingegangen wird können wie folgt zusammengefasst werden:

- Administrativ: Es werden Daten über die operierende Fachabteilung und der OP-Saal, in dem die OP stattfindet, sowie Patientenstammdaten gespeichert
- Präoperativ: Diese Daten beziehen sich auf den präoperativen Zustand, sowie die präoperativen Maßnahmen, wie beispielsweise Prämedikation. Es werden auch Diagnosen und die Eingriffsbezeichnung kodiert nach den Standardterminologien ICD-10 und OPS abgelegt.
- Operationsverlauf: Der Verlauf einer Operation beinhaltet operative Kennzahlen, sowie anästhesiologische Verlaufsmaßnahmen (z.B. Intubation), welche sich hier wiederfinden.
- Narkose: Zu jeder Operation müssen anästhesiologische Daten erfasst werden. Dazu gehört unter anderem die Narkoseart, Regionalanästhesieunterformen, aber auch Daten über invasive Zugänge und Kanülen.
- Messwerte: Die Kernaufgabe des Narkoseprotokolls ist die Verlaufsdocumentation sämtlicher Vitalparameter, unter anderem Beatmungswerte, Sauerstoffsättigung, Blutdruck, Herzfrequenz, Temperatur, und weiterer Werte (z.B. EEG-Aufzeichnung). Daneben werden auch expiratorische Messwerte zu volatilen Medikation erfasst.

Datenanalyse

Der erste Schritt der Datenanalyse beginnt mit der Betrachtung des Datenmodells. In diesem wird ein Patient als Objekt/Entität bestehend aus einer Menge an Attributen, wie Name, Alter, Geschlecht, einer eindeutigen Narkoseidentifikationsnummer, aber auch diagnostischen Messwerten, wie Blutdruck, Puls dargestellt. Dabei können die Attribute bestimmte Werte annehmen.

Insgesamt wurden 259 Attribute der Verlaufstabellen analysiert. Im ersten Schritt wurden diese Attribute gemäß ihren Formaten und Strukturiertheit betrachtet. Neben den strukturiert-numerischen Datentypen, worunter beispielsweise Binärfelder zählen, gibt es strukturiert-codierte, beispielsweise (Schlüsselattribute) und unstrukturierte Daten (z.B. Kommentarfelder). Strukturierte Daten folgen einem vorab definierten Schema, das explizit festlegt, welche Datenelemente verwendet werden dürfen [236, 237]. Insgesamt wurden die Verlaufsdaten in die Datentypen unstrukturiert, strukturiert-numerisch und strukturiert-codiert kategorisiert:

Tabelle 4: Kategorisierung der Verlaufsdaten nach Strukturiertheit (Stand Juli 2017)

Kategorien	StruktCod	StruktNum	Unstrukt
Administrativ (3Tabellen)	9	5	1
Präoperativ (5 Tabellen)	15	5	4
Narkose (10 Tabellen)	71	14	20
Operation (3 Tabellen)	6	1	-
Messwerte (6 Tabellen)	23	20	10
	57,5%	24,2%	18,3%

Mit 81,7% ist die Anzahl der strukturierten Datenelemente im Vergleich zu den unstrukturierten Datenelementen sehr hoch. Vor allem in den Narkosetabellen und in den Messwerttabellen ist die Strukturiertheit am größten. Dies liegt unter anderem an den Messwerten, die von der Geräteschnittstelle strukturiert übernommen werden. Außerdem verweisen die normalisierten Narkosetabellen vor allem auf Stammdaten, welche die erlaubten Wertelisten strukturiert codierter Datenelemente repräsentiert.

Die Analyse der unstrukturierten Daten bildet ein eigenes Forschungsgebiet und ist nicht Teil dieser Arbeit. Die Prüfung der Schlüsselattribute auf Eindeutigkeit ergab keine Verletzungen; auch konnten keine ungültigen Codes bei der Betrachtung der Ausprägungen mit Wertebereichsbeschränkung identifiziert werden. Dies deutet auf eine saubere Datenhaltung der in der Dokumentationsmaske auswählbaren Felder.

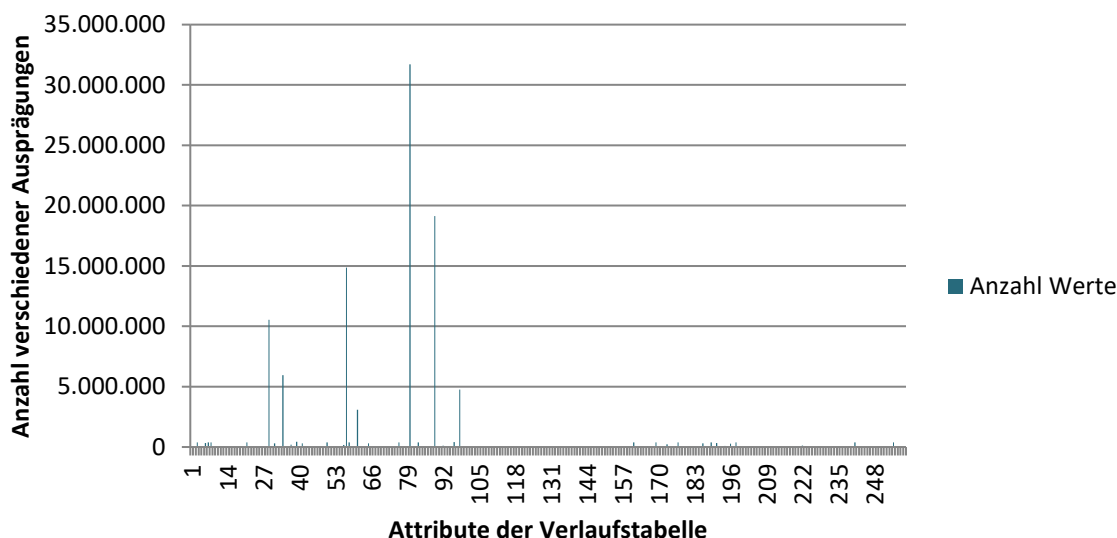


Abbildung 5: Mengengerüst der Verlaufsdaten

Für die Betrachtung der Mengengerüste wurden die 259 Attribute der Verlaufstabelle betrachtet (siehe x-Achse der Abbildung 5). Es konnte festgestellt werden, dass vier Attribute keine Inhalte besitzen und 22 Attribute mit einer Ausprägung bzw. 42 Attribute mit zwei Ausprägungen eine geringe Kardinalität aufweisen. Eine hohe Kardinalität, also Spalten mit vielen eindeutigen Werten, findet sich in den „Zeitpunkt“-Spalten der sechs Messwerttabellen mit im Schnitt circa 15 Millionen unterschiedlichen Werten.

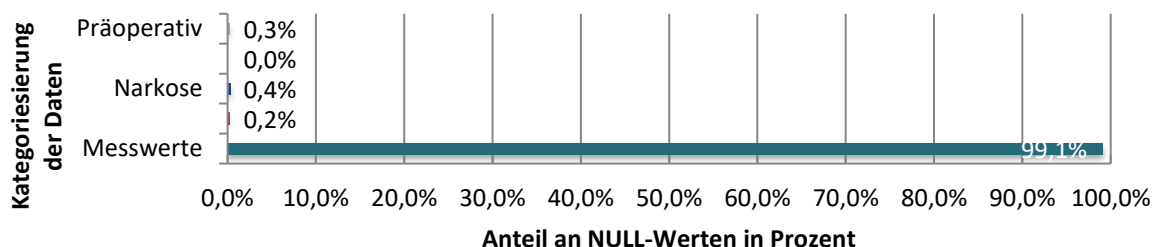


Abbildung 6: Anteil der NULL-Werte im Quellsystem

Die Auswertung der NULL-Werte hat ergeben, dass 84 Attribute NULL-Werte (missing-value) besitzen. Besonders auffällig ist, dass die Messwerte mit 99,1% (siehe Abbildung 6) einen erheblichen Anteil der NULL-Werte ausmachen.

Besonderes Augenmerk wurde im weiteren Verlauf auf die Messwertdaten gelegt, da diese darüber hinaus ein enormes Datenvolumen aufweisen (siehe Abbildung 7). Trotz der geringen Tabellenanzahl – von den 25 identifizierten Tabellen machen die Messwerte mit 6 Tabellen 24% der Tabellen aus – macht das Datenvolumen einen erheblichen Anteil von 88% der gesamten anästhesiologischen Datenlage aus. Diese Daten bilden sogenannte Verlaufsdaten, time-series-data oder auch Zeitreihendaten.

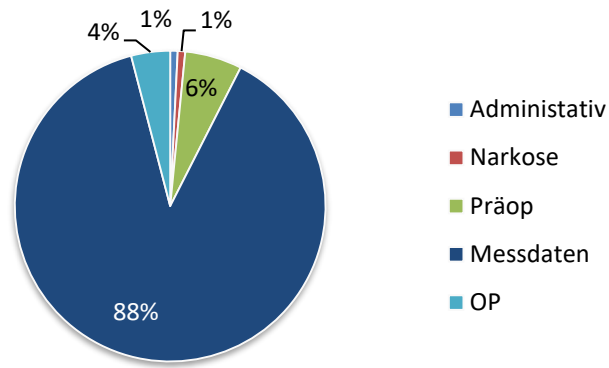


Abbildung 7: Anteil der Time-series Daten im Quellsystem

Die Verlaufsdaten zeichnen sich durch eine engmaschige Erfassung in der Verlaufsdokumentation aus. Dazu zählen vor allem die Vitalparameter, sowie die Beatmungsparameter. Bei einer genaueren Analyse der Messintervalle fällt auf, dass die Erfassung der Messungen überwiegend alle 5 Minuten bzw. 10 Minuten erfolgte.

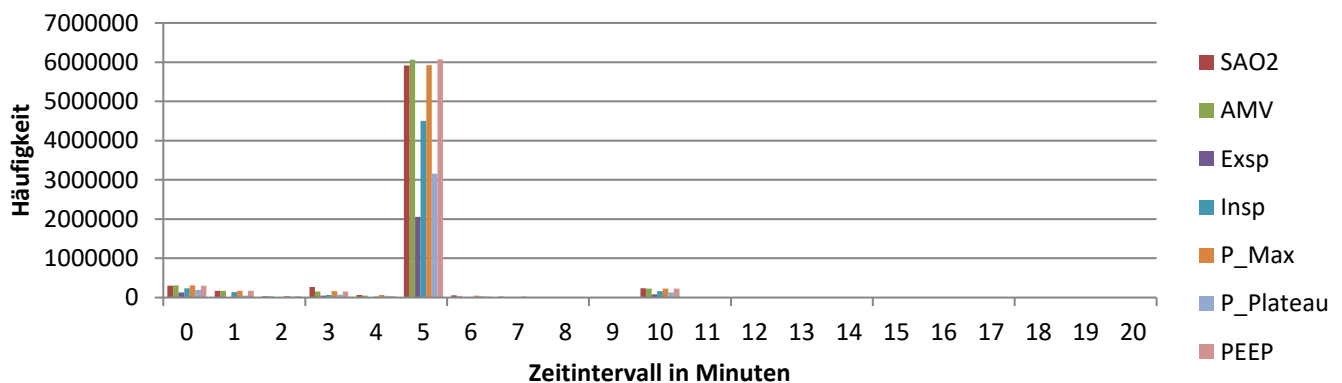


Abbildung 8: Intervall der Messwerterfassung am Beispiel der Beatmungsdaten

Abbildung 8 zeigt die Verteilung der Messwertintervalle am Beispiel der Beatmungswerte. Das Intervall wurde zur besseren Darstellung nach 20 Minuten gekappt.

Ein weiterer Aspekt, der in diesem Zusammenhang untersucht wurde, ist die strenge monotone Aufsteigung der Zeitstempel der Messwertreihen mit fortlaufenden Nummer (Sequence). Mit steigender Sequenznummer eines Datensatzes muss folglich auch der Zeitstempel fortlaufend größer werden.

Neben den Vital- und Beatmungsparametern enthält die Medikamententabelle ebenfalls teilweise Zeitreihendaten. In der Medikamententabelle wird sowohl die kontinuierliche Gabe der volatilen Anästhetika dokumentiert (Zeitreihen), als auch alle weiteren medikamentösen Einzelgaben (diskrete Werte). Für die Betrachtung der Messintervalle wurden dementsprechend lediglich die volatilen time-series Daten eingeschlossen.

Die Min und Max-Wert Analyse hat bei den Messwertdaten große Wertebereichschwankungen ergeben (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Wertebereich der Messwertdaten des Quellsystems (Stand Juni 2017)

Messungsparameter	Min-Wert	Max-Wert	Durchschnitt	Normalwerten [238]
Herzfrequenz	0/min	30689/min	73/min	60-100/min
Systolischer Blutdruck	0 mmHG	474 mmHG	118 mmHG	90-160 mmHG
Diastolischer Blutdruck	0 mmHG	400 mmHG	65 mmHG	50-95 mmHG
Mittlerer Arterieller Druck	0 mmHG	401 mmHG	84 mmHG	70-105 mmHG
Temperatur	0 °C	90°C	35,9 °C	36,5-37,4 °C
Sauerstoffsättigung	0%	100%	98%	98%
Atemminutenvolumen	0 l	142,6 l	8 l	8-10 l
Atemfrequenz	0	600	12	10-15
P_MAX	0	99	16	-
PEEP	0	99	4	-
P_PLATEAU	0	99	16	-

Alle minimalen Messwerte beginnen bei null und besitzen physiologisch nicht realistische Maximalwerte, die folglich Artefakte darstellen. Eine Ausnahme besteht für den Messparameter Sauerstoffsättigung, der einen begrenzten und physiologisch realistischen Wertebereich einnimmt (siehe Abbildung 9).

Nach Betrachtung der Verteilung der Ausprägungen fällt auf, dass die Häufigkeit der aufgetretenen Werte sich im Bereich der Norm befinden (siehe Abbildung 9, Abbildung 10 und Abbildung 11) [238].

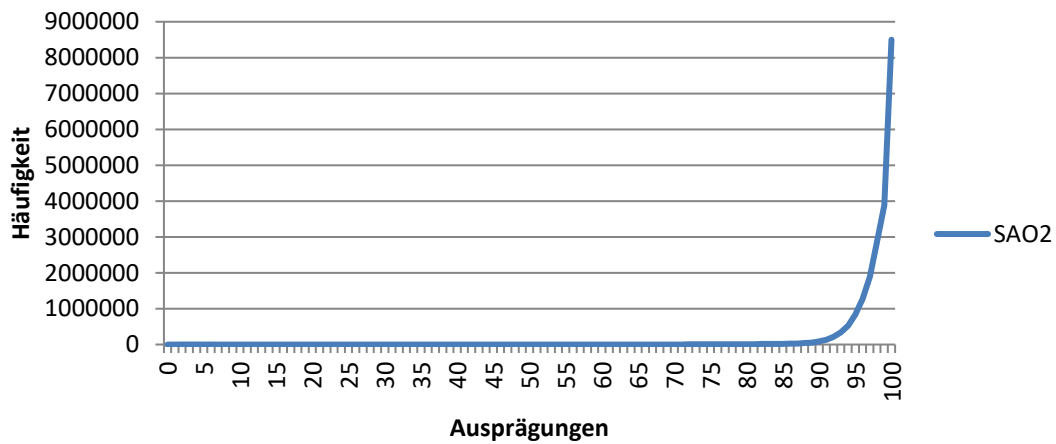


Abbildung 9: Häufigkeit der Sauerstoffsättigungsausprägungen

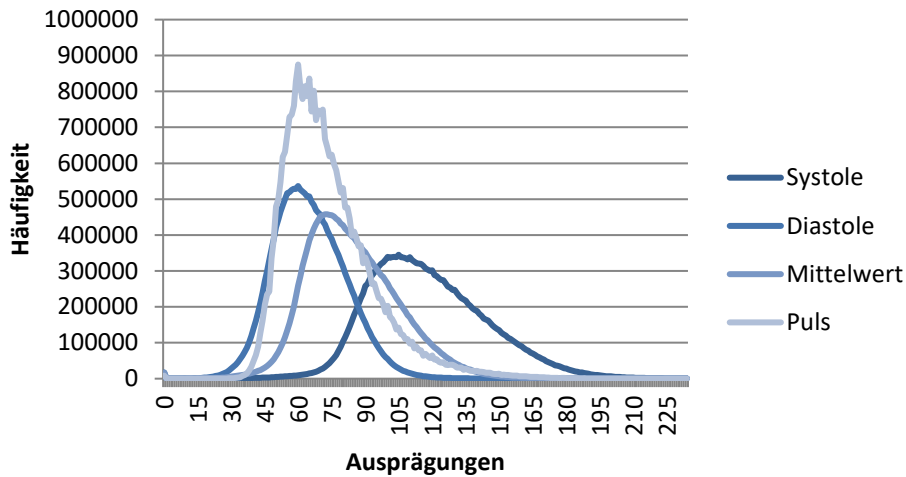


Abbildung 10: Häufigkeit der Herz-Kreislauf Messwertausprägungen

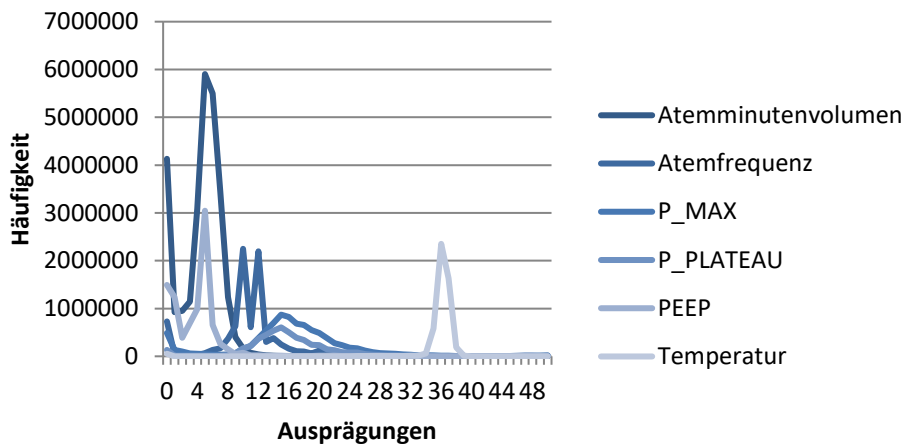


Abbildung 11: Häufigkeit der weiteren Messwertausprägungen

Auch in der Medikationstabelle ergeben sich Besonderheiten: Bei Gasnarkosen werden expiratorische Werte erfasst und nicht, wie ursprünglich angenommen, die tatsächliche Dosierung. Der Sachverhalt der expiratorischen Wertmessung hat keinen direkten Einfluss auf Auswertungen, muss aber bei der Interpretation der Ergebnisse einbezogen werden.

Außerdem sind bei der Eingabe der Medikamente freitextliche Ergänzungen möglich. Dies führt zu uneinheitlichen Daten, beispielsweise durch uneinheitliche Schreibweisen, Redundanzen, Tippfehler, Mehrfacheinträge, Abkürzungen oder (führende) Leerzeichen. Die Häufigkeitsanalyse der Medikationen zeigt jedoch, dass überwiegend die bereits vordefinierten Medikamente ausgewählt werden.

Neben der Möglichkeit der freitextlichen Eingabe, wird darüber hinaus keine Standardterminologie genutzt. Zwar verwendet NarkoData die ICD und OPS Klassifikationscodes, allerdings findet die ATC-Klassifizierung keine Anwendung. Daneben wird auch keine Standardterminologie für die Operationszeiten genutzt.

Durch die detaillierte Betrachtung einzelner Narkosen im Zuge des Data Profiling, sind Mehrfachdokumentationen von Maßnahmen aufgefallen. Dabei wurden einzelne Schritte, wie zum Beispiel der Beginn der Anästhesie mehrfach mit unterschiedlichen Zeitstempeln eingegeben. In diesem Zuge fiel auch auf, dass der eindeutige Narkoseschlüssel nicht immer numerisch, sondern auch alphanumerische Werte und Testdaten enthält. Des Weiteren konnte festgestellt werden, dass im Narkodata System Spalten zur Verfügung stehen, die nicht mehr im Gebrauch sind und somit fast ausschließlich inhaltslos sind.

Während der Betrachtung des Systems im Operationsaal und in Gesprächen, konnte in Erfahrung gebracht werden, dass die Dokumentation teilweise vom tatsächlichen Sachverhalt abweicht. Dies trifft vor allem auf die Narkoseart, als zentrales Paradebeispiel zu. Hierzu kommt es beispielsweise aufgrund von fehlerhafter Erfassung oder bedingt durch einen unerwarteten Wechsel der Narkoseart während der Operation mit fehlender nachträglicher Anpassung im System.

Zusammenfassung:

Die Daten des AIMS NarkoData konnten 1:1 in die Staging Area geladen werden. Dabei wurden die Tabellen gemäß der Literaturrecherche priorisiert und sukzessive übernommen. Für den Routinebetrieb des DWHs wurden Delta-Blockbeladungen vereinbart.

Die Datenelemente des AIMS NarkoData wurden anschließend gebenchmarkt. Ein Abgleich mit dem Kerndatensatz der DGAI hat ergeben, dass alle darin beschriebenen Datenelemente im NarkoData wiedergefunden werden konnten. Auch die verwendeten Attribute aus der Literatur-Recherche konnten im NarkoData wiedergefunden werden.

Die Verlaufstabellen standen bei der Data Profiling Analyse im Fokus. Die Auswertung über die Strukturiertheit hat ergeben, dass knapp 20% der Daten unstrukturiert in Form von Freitextfeldern vorherrschen. Dies liegt vor allem an den über die Geräteschnittstelle automatisch strukturiert übermittelten Messwertdaten, die 88% des Datenvolumens ausmachen. Dies liegt unter anderem daran, dass die durchschnittliche Messwernerfassung in einem Intervall von 4,8 Minuten liegt und somit innerhalb kurzer Zeit ein neuer Datensatz dokumentiert wird.

Allerdings konnte auch festgestellt werden, dass fehlende Attribute (NULL-Werte) vor allem bei den Messwertdaten auftraten. Es gab darüber hinaus eine hohe Bandbreite der Wertebereiche der Messwertdaten. Eine genauere Analyse der Häufigkeit der Ausprägungen hat aber gezeigt, dass diese Randmesswerte selten vorkommen.

Ferner konnten die Eindeutigkeit der Schlüsselattribute, die Kontinuität der Zeitstempel, sowie die Einhaltung der gültigen Wertebereiche in den vorliegenden Narkosedaten bestätigt werden.

Ein Verständnis der Daten konnte erlangt werden und die Besonderheiten, wie die freitextliche Ergänzung der Medikamentenstammdaten konnten ermittelt werden.

4.2.2 Ergebnisse der Integration der anästhesiologischen Daten in das cDWH

Die Extraktion, Transformation und Überführung der priorisierten Rohdaten aus dem AIMS NarkoData in das clinical Data Warehouse (cDWH) konnte vollständig mit Hilfe des am Standort etablierten ETL-Werkzeugs IBM Cognos Data ManagerTM umgesetzt werden. Insgesamt wurden die Faktentabellen aus 344289 Narkosen aus dem AIMS befüllt.

Die Initialbeladung erfolgte einmalig mit den Datensatz der bis einschließlich des Kalendertages des Beladungszeitpunktes zur Verfügung stand. Für weitere Deltabeladungen dient die Oracle Schnittstelle, die täglich ein Delta der Daten liefert. Dabei wird nicht, wie normalerweise üblich nach Veränderungszeitstempeln abgegrenzt, sondern nach Narkose-IDs. Dies liegt daran, dass es möglich ist, dass Narkosen erst nach Abschluss einer Operation in die Tabelle gespielt werden und diese somit als inhaltlich abgeschlossene Blöcke verstanden werden können.

Bei manuellen nachträglichen Änderungen durch den Systemadministrator ist das cDWH zu informieren. Diese Änderungen werden in einer Excel-Datei zur Verfügung gestellt und in regelmäßigen Intervallen abgefragt.

Extraktion

Im ersten Schritt erfolgte die Extraktion der Datenbestände und die Vereinheitlichung der Daten. Dazu fand eine Umstrukturierung der Quelldaten statt, die eine Vereinheitlichung des Datenformates, sowie die Aufspaltung der Zeitstempelattribute in Datums- und Timestamp-Formate beinhaltet.

Ferner erfolgte eine Aufteilung der Datensätze der Beatmungstabelle, welche in allgemein geltende Daten (z.B. Beatmungsgerät, Tubusgröße, Beatmungsform) und konkrete Messwertreihen (z.B. Atemminutenvolumen, Atemfrequenz, PEEP) getrennt wurde. Im Quellsystem wurde bei jeder Messung auch ein neuer Datensatz für die gleichbleibenden administrativen Geräteparameterdaten erzeugt. Dieser Datensatz enthält NULL-Werte. Wurden die Geräteparameter, beispielsweise durch einen Wechsel vom Intubationsraum in den Operationssaal geändert, so enthielten die Messwerte keine Parameter. Durch die Separierung dieser unterschiedlichen Datensätze in getrennte Tabellen, werden diese Redundanzen (und somit NULL-Werte) vermieden.

Auch konnte bereits während der Filterung eine erste Bereinigung redundant erfasster Zeitstempel durch Festlegung von Einschlusskriterien durchgeführt werden (z.B. bei mehrfach erfassten Operationsmaßnahmen): Bei einem beginnenden Operationsprozess ist der erste erfasste Wert zu wählen, bei einem endenden Prozess, der Letzte. Beispielsweise wird bei der Narkoseeinleitung der erste erfasste Wert in das cDWH übernommen, werden bei der Extubation der späteste Zeitpunkt genommen wird.

Harmonisierung

Die Harmonisierung beschreibt den Prozess der Vereinheitlichung und Zusammenführung mit bereits integrierten Datenbeständen. Die Narkosen konnten unter anderem mit Daten des klinischen Arbeitsplatzsystems und Patientendatenmanagementsystems erfolgreich über die Fallnummer über ein Mapping der Teilfallnummern mit Hilfe einer bereits bestehenden Mapping Tabelle aus dem cDWH zusammengeführt werden.

Außerdem fand eine Harmonisierung der originären Daten auf Standardterminologien statt. Ein Großteil (92,47%) der freitextlichen Medikationsdaten konnte auf die ATC-Klassifizierung abgebildet werden. Dieses Mapping ist bei einigen Ausprägungen allerdings mit einem Informationsverlust verbunden (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Ausprägungen der Medikationsfelder

Ausprägungen	Beispiele	Umgang mit diesen Daten
Korrekte Bezeichnung (Wirkstoff Konzentration) +	Propofol 0,5% Propofol 1% Propofol 2%	Mapping auf ATC-Code teilweise mit Informationsverlust möglich
Abweichende Schreibweise	Propofol 0,5 %	
Fehlende Konzentration	Propofol	
Handelsname	Disoprivan Disoprivan 1% Disoprivan 2% Disoprivan	
Kombination von Medikamenten	Midazolam/Propofol Propofol, Sufentanil-Perfusor Propofol/Midazolam Senfenta, Propofol Disoprivan 1% + Xylocain 0,2%/ml	Kaum verwertbar
Freitextkommentare im Namen	Propofol in Einleitung Propofol nach Rü mit Arzt in AWR Propofol über Hicky Disoprivan 2% TCI Disoprivan-P	Verwertbar mit Informationsverlust

Tabelle 6 zeigt eine Kategorisierung der Datenelemente und deren Umgang im cDWH. Durch die Verwendung der Standardterminologie sind alle Bezeichnungen, die Wirkstoffnamen und Konzentrationen, abweichende Schreibweisen, fehlende Konzentrationen und Handelsnamen enthalten, auf den ATC-Code abbildbar. Dabei entstand allerdings vor allem bei Bezeichnungen mit Konzentrationen ein Informationsverlust, da keine Übernahme der Konzentration bei Mappen auf ATC-Codes möglich ist. Bei einer Kombination von Medikamenten war nicht eindeutig erkennbar, welcher ATC Code für diese Kombination gilt und ein ATC-Mapping somit nicht möglich war. Sind die entsprechenden Medikamente freitextlich eingetragen, ist eine Abbildung auf den ATC-Code mit Verlust der weiteren Freitextinformationen möglich. Insgesamt konnte die ATC-Kodierung manuell exemplarisch an den Top 100 Medikamenten ergänzt werden. Dieses Mapping wurde im Anschluss durch die Anästhesisten auf alle Datensätze durchgeführt.

Daneben wurde auch ein Mapping entsprechend des Glossars operativer Kennzahlen [129] und Vorgaben des Data Warehouse durchgeführt. In NarkoData werden Operations- bzw. Narkosezeiten dokumentiert, welche unter anderem für die Planung und Workflowoptimierung im OP-Saal relevant sind. Eine Operation und somit auch die Operationszeiten werden vom OP-Dokumentationssystem Meierhofer bzw. in der Herzchirurgie, Kinderherzchirurgie vom Qims-System und dem Dokumentationssystem der Anästhesisten (NarkoData) erfasst. Wie auch bei den Medikamenten, orientieren sich die Ausprägungen der Datenelemente im NarkoData allerdings nicht an Standardterminologien. Deswegen wurden die originären Prozesszeiten auf das Glossar perioperative Prozesszeiten nach der Vorgabe der Fachgesellschaft der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin, des Berufsverbandes Deutscher Anästhesisten, des Berufsverbandes der Deutschen Chirurgen und des Verbands für OP-Management abgebildet.

Tabelle 7: Zusammenfassung der Abbildungen der NarkoData Zeitpunkte auf die Vorgaben im DWH (gemäß dem Glossar perioperativer Prozesszeiten)

Prozesszeitpunkte	Anzahl der Abbildungen
Zeitpunkte Anästhesie	8
Zeitpunkte Operation	4
Weitere DWH Zeitpunkte	17
Insgesamt	29

Es konnten insgesamt 29 Prozesszeitpunkte (siehe Tabelle 23) auf das Standardglossar abgebildet werden. Gegenüber dem originären Datenbestand des AIMS wurden zusätzlich zu den Standardprozessen 17 (davon fünf Anästhesie Zeitpunkte, 10 OP Zeitpunkte und zwei sonstige Zeitpunkte) abgeleitete Kennzahlen zum perioperativen Prozessablauf als weitere DWH Zeitpunkte ergänzt (z.B. Intubationszeitpunkt). Dies lag unter anderem daran, dass keine exakte Abbildung auf die Standardprozesse aufgrund abweichender Definitionen stattfinden konnte. Diese im Standardglossar nicht vorgesehenen Felder wurden entsprechend gekennzeichnet.

Anders als im Meierhofer werden die Prozesszeiten im NarkoData nicht zusätzlich eingriffsbezogen dokumentiert, was zur Folge hat, dass beispielsweise bei Mehrfacheingriffen während einer Operation mehrere unabhängige Schnitt-Naht-Zeiten existieren. Die Folge ist, dass die zur Narkose dokumentierten Zeiten insgesamt dem ersten Schnitt und der letzten Naht entsprechen.

Neben den standardisierten Zeitpunkten wurden ferner sieben Prozesskennzahlen anhand des Glossars perioperativer Prozesszeiten definiert. Diese stellen auswertungsrelevante Zeitintervalle wie: Schnitt-Naht Zeit, Dauer der Anästhesie oder operativer Nachlauf dar. Abbildung 12 zeigt diese Intervalle in einer Übersicht. Sieben Kennzahlen konnten aus dem Glossar perioperativer Prozesszeiten entnommen werden (z.B. K4 Anästhesiologischer Vorlauf) und zusätzlich konnten zwei Intervallzeiten definiert werden (z.B. Funktionsdienst Präsenzzeit).

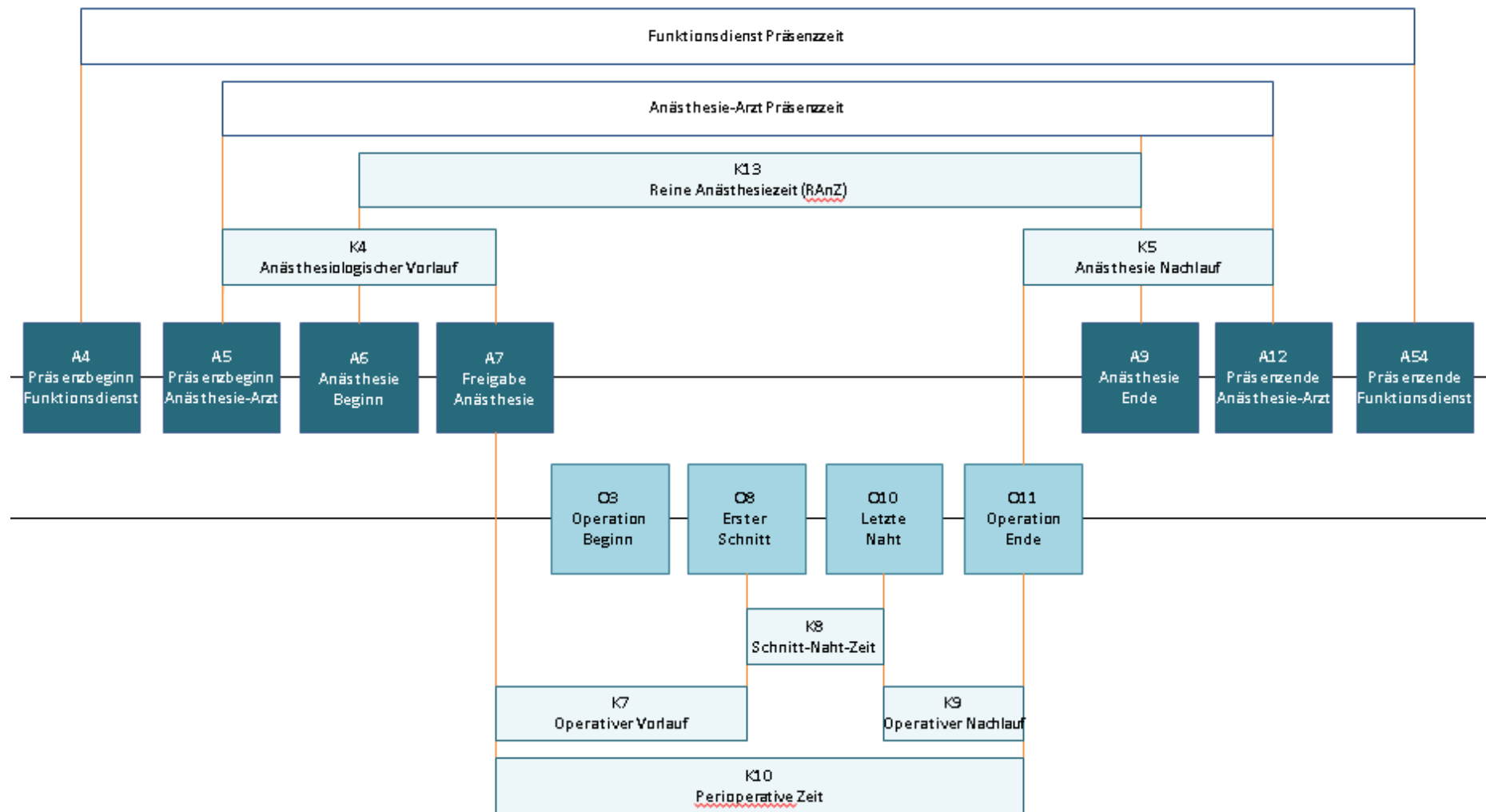


Abbildung 12: Prozesskennzahlen der Anästhesie- und OP-Zeiten

Aggregation

Die Hierarchien der Anästhesie-Dimensionen sind überwiegend flach. Beim Präoperativen Zustand allerdings konnten einige Dimensionen in Ober- und Einzelbegriffe unterteilt werden.

Anreicherung

Für alle Verlaufsdaten konnte eine neue Größe für zeitraumbezogene Auswertungen erstellt werden. Diese Größe gibt die Narkoseminute, zu der ein bestimmtes Ereignis bezogen auf den Narkosebeginn erfolgt ist, an. Dafür wurde der Zeitstempel jedes Eintrags als Intervall zu einem Ausgangspunkt errechnet, was Auswertungen über Zeiträume/Dauern ermöglicht. Der Bezugspunkt ist der Beginn der Anästhesie, welche mit der Gabe des ersten narkosebezogenen Medikaments definiert wurde. Beispielsweise ist es somit möglich, einfache Fragestellungen, wie: „Nach wie vielen Minuten nach Anästhesiebeginn wurde intubiert?“ zu beantworten.

Da der Präsenzbeginn (A4: Präsenzbeginn Funktionsdienst), welcher den Beginn des Narkoseprotokolls darstellt, vor dem Anästhesiebeginn (A6: Anästhesie Beginn) liegt, können auch negative Größen auftreten.

Des Weiteren konnten alle Messwerttabellen und die Gabe von kontinuierlichen Medikamenten (z.B. Propofol) mit Intervall-Kennzahlen angereichert werden: Für die initiale Messung ist der Wert immer null; für die folgenden Werte, stellt diese Kennzahl die Differenz aus dem aktuellen Wert und der nächsten Messung dar. Dies konnte beispielsweise bei der Erstellung des Narkoseform-Phenotyping Algorithmus Anwendung finden.

Bei der Gabe von Medikamenten ist es weiterhin für die Anästhesisten interessant, in welcher Phase der Operation das Medikament gegeben wurde. Dazu wurden drei Flags erstellt, die beschreiben, ob das Medikament in der Einleitung, während der Narkose oder im Aufwachraum gegeben wurde. Die Abgrenzungen der einzelnen Phasen wurden im ersten Entwurf durch die Zeitpunkte Intubation und Anästhesie Ende festgelegt (siehe

Abbildung 13).

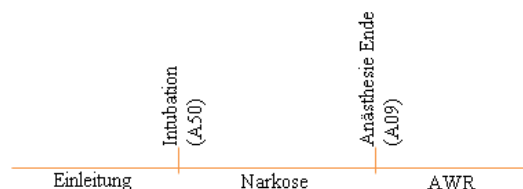


Abbildung 13: Phasen der Anästhesie

Allerdings mussten bei der Festlegung der abgrenzenden Zeitpunkte aufgrund des Dokumentationsstandes weitere Zeitpunkte herangezogen werden, da bei einer Regionalanästhesie beispielsweise der Intubationszeitpunkt keine Anwendung findet. Folglich wurden mehrere Zeitpunkte (je nach Befüllung) für diese Abgrenzung zur Hilfe genommen.

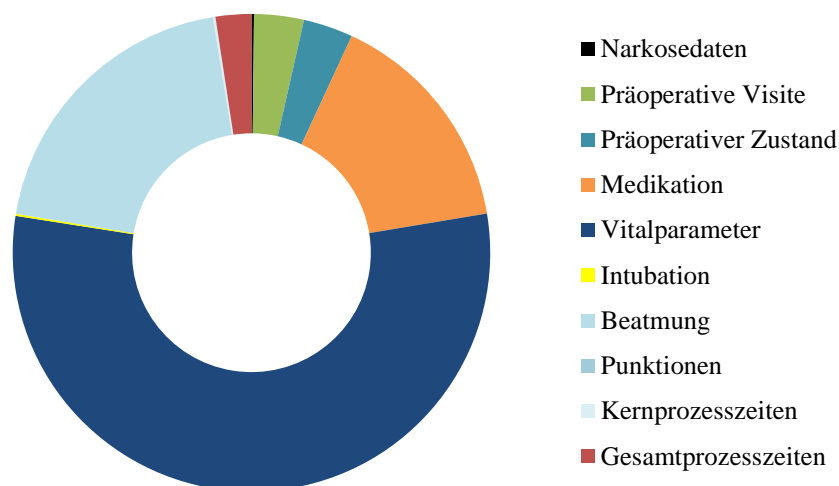
Daneben wurden weitere abgeleitete Größen vorausberechnet, die in vielen Auswertungen immer wieder abfragerelevant sind, wie beispielsweise Alter in Jahren und Tagen, oder der BMI.

Die Faktentabellen

In der Staging-Area befinden sich 67 Stammtabellen und 25 Verlaufstabellen. Diese wurden in Data Marts von 13 Faktentabellen und 27 Dimensionstabellen modelliert (siehe Abbildung 14). Faktentabellen werden dabei mit dem Suffix „F_“ und Dimensionen mit „D_“ gekennzeichnet.

Betrachtet man das Volumen der Daten nach der Re-Modellierung erneut, so stellt man fest, dass die Vitals tabellen zusammen mit den Beatmungstabellen und der Medikationstabelle mit 90,35% den größten Teil des aus dem AIMS importierten Gesamtdatenbestandes ausmachen. Diese drei Tabellen fallen in die Kategorie time-series data. Die Narkosestammdaten, die unter anderem auch die Patientenstammdaten enthalten, sind zum Teil aufgrund des integrierten Stammdatensatzes des Patientendatenverwaltungssystems (PDV) SAP ISH bereits im cDWH enthalten.

Abbildung 15: Verteilung der Datensätze in den Faktentabellen



Integration in i2b2 Plattform

Die anästhesiologischen Faktentabellen konnten in der Abfrageplattform i2b2 für die Kliniker bereitgestellt werden. Mit i2b2 konnte eine Auswertungsplattform etabliert werden, die die Erwartungen bezüglich einer benutzerfreundlichen der ad-hoc Auswertungsmöglichkeit erfüllt.

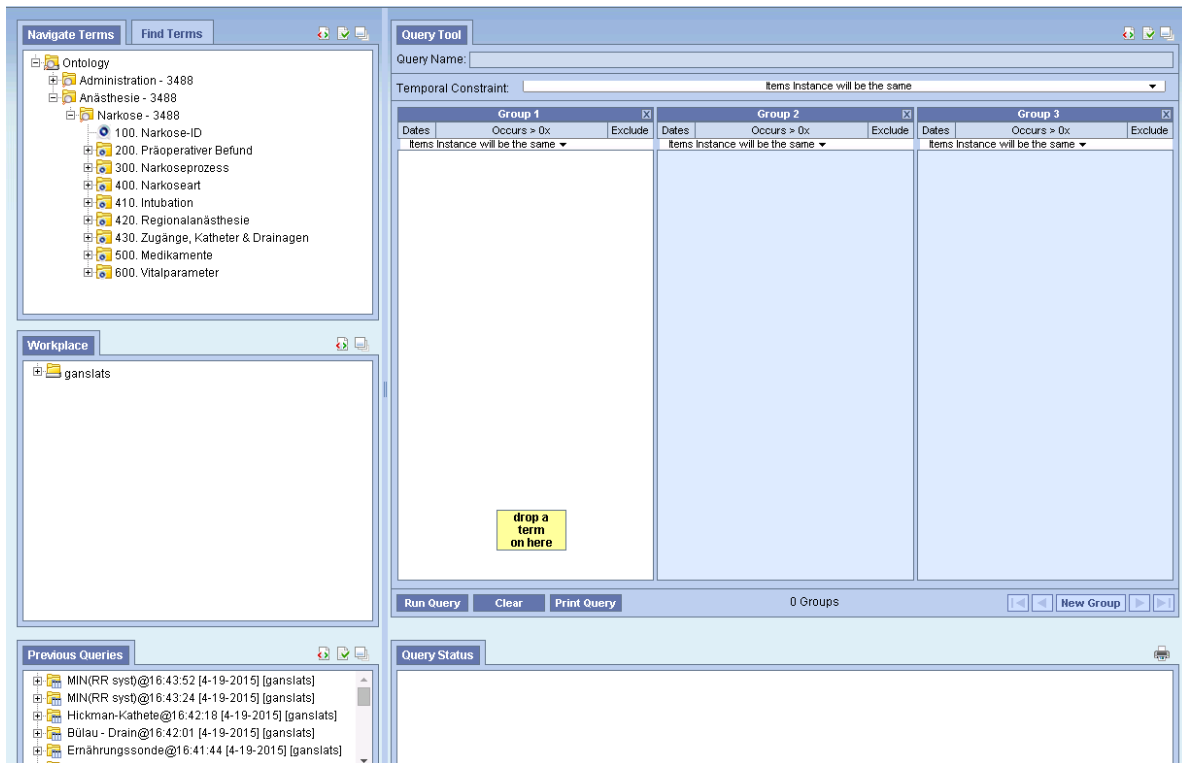


Abbildung 16: Toolansicht mit Konzepthierarchien der Narkosedenaten

Durch Drag-and-Drop wird es ermöglicht die Daten aus der linken Konzepthierarchie in beliebig viele Abfragebereiche zu selektieren und die entsprechenden Filterkriterien anzuwenden.

Beim überwiegenden Teil der aus dem AIMS übernommenen Datenelemente handelt es sich um strukturiert-codierte Attribute, die uneingeschränkt als Selektionskriterien in das Abfragewerkzeugen i2b2 eingesetzt werden können. Ein Einsatzgebiet stellt die Kohortenanalyse beispielsweise bei der Festlegung potentieller Einschlusskriterien für die Studienrekrutierungen. Dazu können strukturiert-codierte Attribute selektiert werden (siehe Abbildung 17).

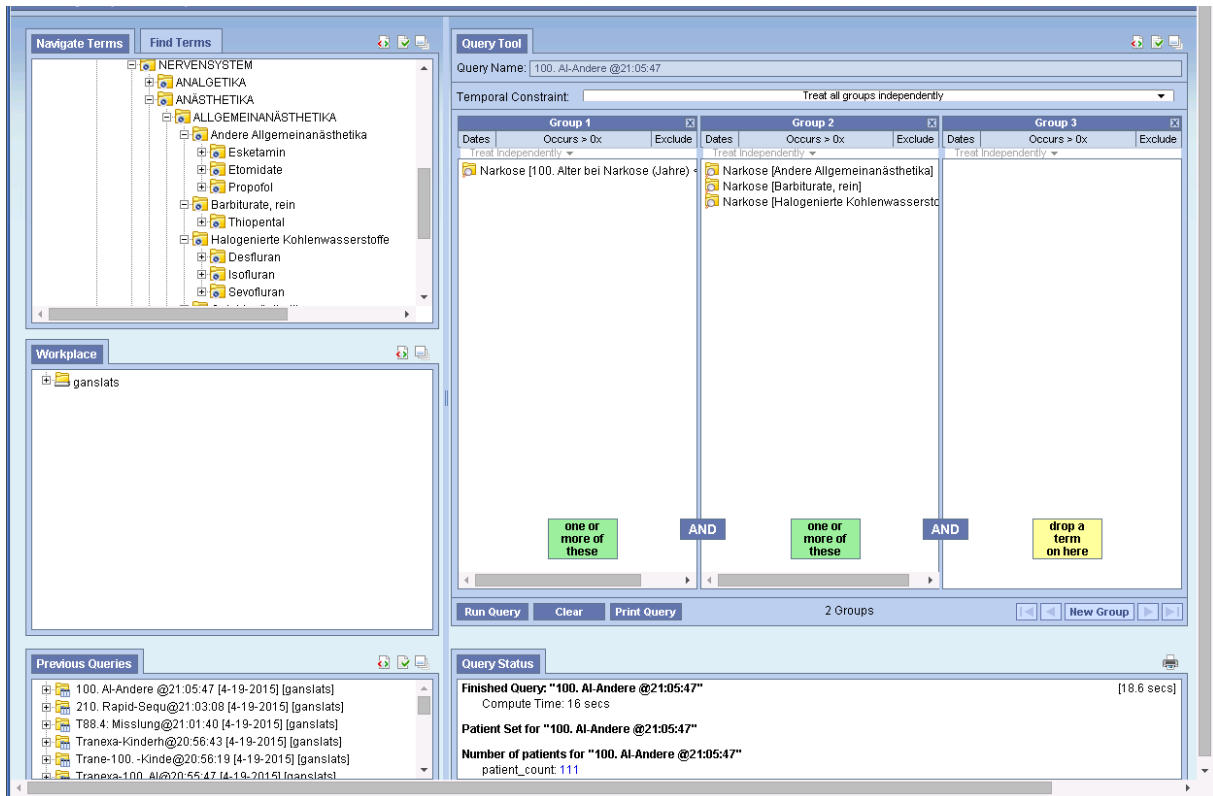


Abbildung 17: Beispiel i2b2 - Kohorte Allgemeinanästhetika bei Kinder unter 3 Jahren

Bestimmte Attribute, wie Time-series data, hingegen sind als Selektionskriterien nur eingeschränkt im i2b2 verwendbar, da sie im Narkoseverlauf starken Schwankungen unterliegen können. Einfache Filterkriterien, wie „Sauerstoffsättigung < 90%“ können zwar definiert werden, beziehen sich aber nur auf einzelne Datenpunkte und ignorieren so die Dauer von Ereignissen.

Komplexe Kriterien, wie „Sauerstoffsättigung < x% über mindestens y Minuten“ oder „Blutdruckabfall innerhalb von n Minuten nach Medikamentengabe“ können dagegen mit dem Abfragewerkzeug, wie i2b2 zurzeit noch nicht definiert werden, da die entsprechende temporale Logik für relative Veränderungen im Zeitverlauf nicht ausreicht. Stattdessen wurden die Messparameter als Kompromiss in einem vereinfachten Ansatz mit aggregierten Daten, wie Minimum, Maximum oder Durchschnittswert zur Verfügung gestellt werden. Diese einfachen SQL Abfragen sind allerdings für eine sinnvolle Auswertung nicht aussagekräftig genug.

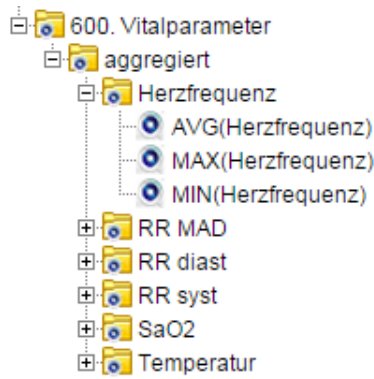


Abbildung 18: Auszug i2b2 über aggregierte Datenelemente

Ferner sind alleinige Betrachtungen der Zeitreihenkurven ohne Querbeziehungen zum operativen Bezug nutzlos, denn ein Blutdruckabfall allein ist nicht aussagekräftig; setzt man diesen allerdings mit einem verabreichten Medikament, wie einem Blutdrucksenker, in Bezug, können diese Kurven erklärt werden.

Dieser Erkenntnisgewinn führt folglich dazu, dass die vorhandenen Abfragewerkzeuge für die Interpretation von Zeitreihendaten unzureichend und Erweiterungen zu Kurvendiskussionen notwendig sind.

Zusammenfassung

Die ETL-Strecke der Narkosedaten aus NarkoData in das cDWH konnte erfolgreich realisiert werden. Der erste Schritt bestand dabei aus einer initialen Datenselektion anhand der Resultate der Literaturrecherche. Die Daten wurden in ein einheitliches Format gebracht, Redundanzen wurden eliminiert und es gab Umstrukturierungen innerhalb der Attribute und Tabellen.

Die in der Quellsystemanalyse aufgedeckten Schwachstellen konnten zum großen Teil bereinigt werden. Zwar scheint auf den ersten Blick zunächst eine Standarderschließung der Quelldaten in das Data Warehouse möglich zu sein, allerdings ergeben sich bei näherer Betrachtung Optimierungs- und Bereinigungsbedarf.

Während der Harmonisierung wurden die Narkosedaten mit Hilfe der Fallnummer mit bestehenden cDWH Daten in Verbindung gebracht. Die bestehenden originären Daten wurden auf übliche Terminologien standardisiert und es erfolgte eine Anreicherung der Daten mit Kennzahlen durch die Berechnung abgeleiteter Merkmale. Weiterhin wurde das Mapping auf standardisierte perioperative Zeitpunkte und eine sinnvolle Zusammenfassung der Daten erreicht. Zusätzliche Aufgaben sind die Bereinigung der Zeitreihendaten, die nicht Fokus dieser Arbeit darstellen, sowie das implizite Ableiten der Narkoseform aufgrund der vorhandenen Datenbasis (siehe 3.4.3).

Die Re-Modellierung der operativen Daten erfolgte mittels des Star-Schemas.

Die Verfügbarkeit der Daten im Berichtportal i2b2 ermöglicht den Endnutzern eine bessere Verfügbarkeit der Anästhesiedaten. Allerdings reicht das Abfragewerkzeug für komplexe Fragestellungen nicht aus.

Eine erheblich erweiterte Auswertungsmöglichkeit wird durch Integration mit dem Gesamtdatenbestand des cDWH über die Fallnummern ermöglicht.

4.3 Ergebnisse des Phenotyping

4.3.1 Ergebnisse des Narkoseform-Phenotypings

Der erste Schritt bei der Ermittlung der Narkoseform mittels Phenotyping ist zunächst die Definition der Kriterien im Expertengespräch mit den Anästhesisten. Anschließend wurde anhand der im Gespräch erarbeiteten Kriterien für die Narkoseformen der Algorithmus erstellt, der nachfolgend auf die Narkosedaten angewandt wurde. Die Ergebnisse wurden im Anschluss der Narkoseform aus NarkoData gegenübergestellt.

Definition der Narkoseformen

Es konnten in Zusammenarbeit mit den Klinikern die relevanten Narkoseformen identifiziert werden. Die definierten Narkoseformen sind volatile Anästhesie, total intravenöse Anästhesie (TIVA), Regionalanästhesien, Mischnarkosen, Stand-By bzw. ZVK-Dienstleistungen und reine Sedierungen. Die Kriterien der einzelnen Narkoseformen wurden nach Absprache mit den Anästhesisten festgelegt.

Tabelle 8: Determinierung der Narkoseform und Kriterien

Kategorie	Gas	IVA	Propofol	TCI	Regionale
1. Volatil	1	-	0	0	-
1.1 Volatil ohne Regionale	1	-	0	0	0
1.2 Volatil mit Regionale	1	-	0	0	1
2. TIVA	0	-	1	-	-
2.1 TIVA ohne Regionale	0	-	1	-	0
2.1.1 TIVA konventionell ohne Regionale	0	-	1	0	0
2.1.2 TCI ohne Regionale	0	-	1	1	0
2.2 TIVA mit Regionale	0	-	1	-	1
2.2.1 TIVA konventionell mit Regionale	0	-	1	0	1
2.2.2 TCI mit Regionale	0	-	1	1	-
3. Standby/ZVK	0	0	0	-	0
4. Sedierung	-	-	1	-	-
5. Regionale	0	-	-	-	1
5.1 Regionale ohne Sedierung	0	0	-	-	1
5.2 Regionale mit Sedierung	0	1	-	-	1
6. Mischnarkosen	1	-	-	1	-
7. Sonstiges	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0

Tabelle 8 zeigt die Narkoseformen mit entsprechenden Kriterien. Beispielsweise zeichnet sich eine volatile Anästhesie durch die Applikation von Gas, und das Nichterfüllen der Flags Propofol und TCI aus.

Für die Erstellung der einzelnen Flags konnten Regeln erzeugt werden. Dabei werden logische Beschränkungen auf diskrete Werte angewandt. Zum Beispiel wird das Flag der Gabe des Medikaments Sevofluran über die Dosis, die höher als 0,5 MAK⁹ und über ein Intervall von mehr als 15 Minuten definiert. Dieses Vorgehen wird regelbasiert (rule-based) genannt. Es wurden mehrere Restriktionen sequentiell auf mehrere Parameter angewandt.

Tabelle 9: Definition der Kriterien

Narkoseform	Medikationen	Kriterien
Gas	Sevofluran	Dosis \geq 0,5 MAK Intraoperative Dauer >15 Min
	Desfluran	Dosis \geq 1,5 MAK Intraoperative Dauer >15 Min
	Isofluran	Dosis \geq 0,25 MAK Intraoperative Dauer >15 Min
IVA	Propofol	Intraoperative Gabe
	Ketamine (Esketamin, Ketamin)	Intraoperative Gabe
	Midazolam	Intraoperative Gabe
	Etomidate	Intraoperative Gabe
	Opiate (Opioidanästhetika, Andere Opiode, Opiode in Kombination mit Spasmolytika)	Intraoperative Gabe
	Relaxanzien (Curare-Alkaloide, Cholin-Derivate, Andere quartäre Ammonium-Verbindungen)	Intraoperative Gabe
	Propofol	Intraoperative Gabe
Propofol	Intraoperative Gabe	
TCI	-	Intraoperative Gabe Applikationsform
Regionale	-	Erfolgreiche Punktion

Das Flag Gas besitzen jene Narkosen, die eine Narkosedauer von mindestens 15 Minuten mit der Standardmedikation Sevofluran, Desfluran oder Isofluran aufweisen. Diese Medikation muss zusätzlich eine bestimmte MAK-Konzentration pro Wirkstoff überschreiten (Sevofluran: 0,5%, Desfluran: 1,5% und Isofluran: 0,25%). Außerdem wurden die Zeiträume der Narkoseeinleitung und des Aufwachraum für diese Festlegung ausgeschlossen.

Das Flag IVA wird anhand der Gabe der folgenden Wirkstoffe festgelegt: Propofol, Ketamine, Midazolam, anästhesiologische Standardopiate, sowie Relaxanzien. Die Medikation muss dabei zur Narkoseaufrechterhaltung intraoperativ erfolgt sein. Einen Schwellwert gibt es hier allerdings nicht. Zusätzlich werden alle Medikationen nochmals als eigenständiges Kriterium abgelegt. Die Unterform

⁹ MAK (Minimale alveoläre Konzentration): Beschreibt die Potenz der Inhalationsnarkotika

TCI kann anhand der gesonderten Applikationsform erkannt werden. Typische TCI Medikationen sind dabei Propofol, Sufentanil oder Remifentanil. Die Medikation wird hierbei nicht beschränkt. Eine Regionalanästhesie wird über eine erfolgreiche Punktion definiert.

Erstellung des Algorithmus

Die Narkoseformen konnten mit SQL erfolgreich umgesetzt werden. Es konnte für die Selektion der Medikamente auf die ATC-Klassifizierung zurückgegriffen werden. Für das Selektionskriterium der intraoperativen Gabe wurde der Beginn auf die Anästhesie-Freigabe und das Ende durch das Ende der Anästhesie festgelegt. Aber auch alle (kontinuierlichen) Gaben, die diese Intervallgrenzen überschreiten wurden eingeschlossen.

Tabelle 10 zeigt die Verteilung der abgeleiteten Narkoseformen aus dem Phenotyping Algorithmus, sowie die Daten aus NarkoData und deren Abweichungen.

Tabelle 10: Anwendung der Narkoseform-Kriterien auf die anästhesiologischen Daten

Narkoseform	Phenotyping	NarkoData	Delta
1. Volatil=balancierte AN	19,61%	16,65%	2,96%
1.1 Volatil ohne Regionale	18,33%	15,52%	
1.2 Volatil mit Regionale	1,28%	1,13%	
2. TIVA	55,65%	56,79%	1,14%
2.1 TIVA ohne Regionale	52,53%	53,40%	
2.1.1 TIVA konv. ohne Regionale	18,39%	19,26%	
2.1.2 TCI ohne Regionale	34,14%	34,14%	
2.2 TIVA mit Regionale	3,12%	3,39%	
2.2.1 TIVA konv.mit Regionale	1,83%	2,09%	
2.2.2 TCI mit Regionale	1,29%	1,29%	
3. Standby/ZVK	9,04%	10,13%	1,09%
4. Sedierung	-	-	
5. Regionale	4,57%	4,57%	0%
5.1 Regionale ohne Sedierung	4,57%	4,57%	
5.2 Regionale mit Sedierung	0%	0%	
6. Mischnarkosen	2,84%	2,84%	0%
7. Sonstige	8,29%	9,01%	0,72%

Nach dem Phenotyping Algorithmus stellt die volatile Narkose mit ca. 20% die am häufigsten verwendete Narkoseform dar, gefolgt von einer reinen intravenösen Anästhesie. Dies spiegelt auch das Auftreten in der Literatur wieder.

Vergleich mit den dokumentierten Narkoseformen

Um die Ergebnisse den Eingaben in NarkoData gegenüber stellen zu können, mussten die Narkoseformen zunächst zusammengefasst werden. Für eine Vergleichbarkeit wurde die dokumentierte

Narkoseform ebenfalls mit Flags versehen. Da in Narkodata TCI nicht explizit dokumentiert wurde und dies eine Unterform der TIVA Narkose ist, wurde diese zu IVA zusammengefasst.

Nach der Aufbereitung wird deutlich, dass die größte Abweichung bei den balancierten Narkosen, gefolgt von TIVA und Stand-By bestehen (siehe Tabelle 10 und Abbildung 19). Regionale Anästhesie und Mischnarkosen hingegen zeigen eine Differenz von 0%.

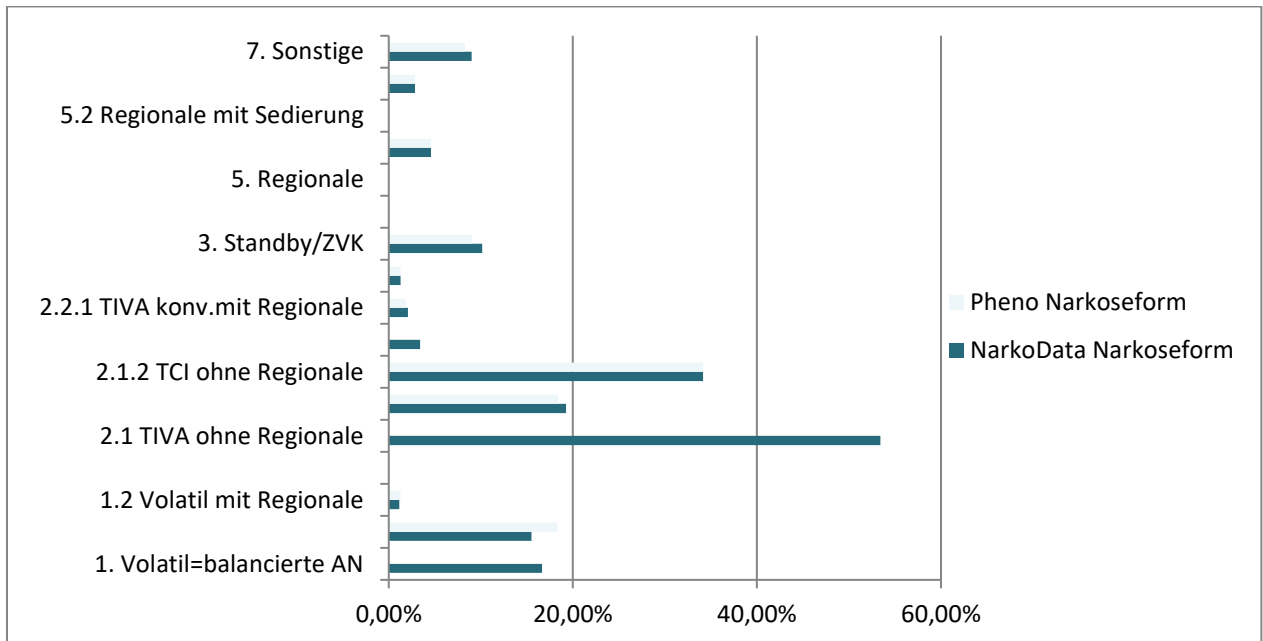


Abbildung 19: Gegenüberstellung der Narkoseformen: NarkoData vs. Phenotyping

4.3.2 Ergebnisse des PONV-Phenotypings

Im Folgenden wird auf die Ergebnisse der Teilschritte zur Erstellung des Phenotyping Algorithmus eingegangen.

Verständnis der medizinischen Annotation

Anhand der Spaltenbeschriftungen und angewandten Formeln konnte die Bedeutung der medizinischen Doktorarbeit nachvollzogen werden. Diese Arbeit stellt den Goldstandard für den Phenotyping Algorithmus dar. Für die Auswertung über postoperatives Erbrechen bzw. postoperative Übelkeit wurden folgende Kriterien in der medizinischen Doktorarbeit identifiziert:

Tabelle 11: PONV Kriterien der medizinischen Doktorarbeit

Kriterium	Definition	Ausprägung
Apfel-Score	Je ein Punkt für: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Geschlecht ▪ Raucher-Status ▪ Positive PONV-Anamnese bzw. Reisekrankheit in der Anamnese ▪ Postoperative Opiatgabe 	Wert zwischen 0 und 4
PONV-Prophylaxe	Intraoperative Antiemetikagabe	Gabe-Flag: 0 oder 1
Tatsächliches PONV-Auftreten	Postoperative Antiemetikagabe	Gabe-Flag: 0 oder 1

Insgesamt wurden der Apfel-Score, sowie das Auftreten von PONV und Gabe einer PONV-Prophylaxe (siehe Tabelle 11) in die Erstellung des Phenotyping Algorithmus einbezogen.

Nachvollziehen der PONV-Annotation mit Phenotyping

Die Prüfung über das Vorhandensein der Narkosedaten im cDWH ergab eine 100%ige Übereinstimmung. Durch iterative Entwicklung des Phenotyping-Algorithmus konnten die einzelnen Kriterien (siehe Tabelle 11) separat im cDWH reproduziert werden.

Apfel-Score

Bei der Feststellung des Geschlechts konnte auf ein strukturiertes Attribut zurückgegriffen werden. Die Information über den Status „Raucher“ kann sowohl in der präoperativen Visite als auch im präoperativen Zustand dokumentiert werden. Beide strukturierten Attribute wurden für die Abfrage eingeschlossen.

Die PONV-Anamnese kann sowohl strukturiert während der Erfassung des präoperativen Zustands, als auch in mehreren Freitextfeldern (z.B. Kommentar oder Anamnese) erfasst werden. Insgesamt gibt es fünf Attribute, die für die Phenotyping Abfrage verwendet wurden. In den Freitext-Feldern wurde mit Hilfe der regulären Ausdrücke nach dem Ausdruck „PONV“ gesucht.

Tabelle 12: Abweichungen bei der PONV-Anamnese

Herkunft	Anzahl händische Annotation	Anzahl Phenotyping	Abweichung	Datenformat
Patientenstamm_InfoFeld	26	25	1	Unstrukturiert
PräOpZustand_Kommentar	31	30	1	Unstrukturiert
PräOPVisite_PONV	2164	2158	7	Strukturiert
PräOpVisite_Anamnese	133	116	17	Unstrukturiert
PräOPVisite_Kommentar	204	191	13	Unstrukturiert
Sonstige Annotationen	0	6	6	unstrukturiert
Insgesamt	2404	2437	45	-

Die Abweichungen wurden im nächsten Schritt in Kombination als Annotation für die PONV-Anamnese in mehreren Runden mit den Anästhesisten validiert. Insgesamt hatten 2.418 Patienten eine positive PONV-Anamnese, während 28.061 eine negative PONV-Anamnese hatten.

Die 45 Abweichungen lassen sich wie folgt unterteilen (siehe Tabelle 13):

- ❖ 19 Narkosen wurden durch den Algorithmus fälschlicherweise als positiv annotiert (falsch-positiv).
- ❖ 20 weitere Narkosen wurden zusätzlich zur medizinischen Arbeit als richtig positiv erkannt.
- ❖ sechs weitere Narkosen wurden zusätzlich zur medizinischen Arbeit als richtig negative Narkosen durch den Algorithmus identifiziert.

Das ergibt insgesamt eine Abweichung von ca. 0,06%

Tabelle 13: Vier-Feldertafel über die PONV Annotation

Algorithmus	Positive PONV-Anamnese	Negative PONV-Anamnese
Positiv annotiert	2.418	19
Negativ annotiert	0	28.063

Opiatgabe und Antiemetikagabe

Für die Selektion der im Goldstandard betrachteten Medikamente wurde der ATC-Code determiniert (siehe Tabelle 14). Mit der Nutzung der ATC-Codes konnte die Medikationsgabe nachvollzogen werden.

Tabelle 14: ATC-Codes für die Standardmedikationen

	Medikament	Recherchierter ATC-Code
Opiate	Piritramid	N02AC03
	Fentanyl	N01AH01
	Remifenta	N01AH06
	Alfentanil	N01AH02
	Sufenta	N01AH03
Anti-emetika	Morphin	N02AA01
	Dexamethason	R03BA09
	Dimenhydrinat	A04AB02
	Metoclopramid	A03FA01
	Ondansetron	A04AA01

Die intraoperative Antiemetikagabe beschreibt die PONV-Prophylaxe und konnte mit Hilfe des Algorithmus rekonstruiert werden

Die postoperative Opiatgabe konnte ebenso mit dem Algorithmus nachgebildet werden. Es gab eine Abweichung bei der Gabe von Morphin und zwei Abweichung bei der PONV-Prophylaxe mit Dimenhydrinat. Erstere war richtig positiv, während letztere falsch positiv annotiert wurden.

Das tatsächliche Auftreten von Emesis und Vomitus, determiniert durch die postoperative Gabe von Antiemetika konnte im Algorithmus nachgebildet werden.

Zusammenfassung

Insgesamt konnten 30.479 von 30.500 Narkosen korrekt abgebildet werden; 21 Narkosen hatten abweichende Zuordnungen. (siehe Tabelle 15). Insgesamt beträgt die Abweichung 0,07%, was eine Übereinstimmung von ca. 99,93% ergibt.

Tabelle 15: Vergleich des Algorithmus mit den Annotationen

		Kriterium	Übereinstimmung mit dem Goldstandard	Abweichende Narkosen zum Phenotyping Algorithmus
Apfel-Score	Postoperative Opiate	Geschlecht	100%	0
		Raucher	100%	0
		PONV-Anamnese	99,34%	19
		Gabe Dipidolor	100%	0
		Gabe Fentanyl	100%	0
		Gabe Remifentanil	100%	0
		Gabe Sufentanil	100%	0
		Gabe Alfentanil	100%	0
PONV-Prophylaxe	Intraop. Antiemetika	Gabe Dexamethason	100%	0
		Gabe Diphenhydramin	100%	2
		Gabe Metoclopramid	100%	0
		Gabe Ondansetron	100%	0
PONV-Auftreten	Postop Antiemetika	Gabe Dexamethason	100%	0
		Gabe Diphenhydramin	100%	0
		Gabe Metoclopramid	100%	0
		Gabe Ondansetron	100%	0
Insgesamt		Übereinstimmung	99,93%	21

4.4 Ergebnisse der Evaluierung der Datenaufbereitung

4.4.1 Ergebnisse des Testens der Daten im Data Warehouse

Die Entwicklertests und das Testen der ETL-Strecke konnte erfolgreich durchgeführt werden. Sowohl die Initialbeladung, als auch die Deltabeladung konnten erfolgreich umgesetzt werden. Die ETL-Strecken enthielten keine Abbrüche oder Warnungen.

Der Abgleich der Stage mit den Quelldaten konnte in Bezug auf Vollständigkeit und Richtigkeit erfolgreich durchgeführt werden. Alle selektierten Tabellen konnten vollständig in die Staging Area übernommen werden. Auch die Formatprüfung konnte erfolgreich durchgeführt werden. In die Stage wurden die Quelldaten eins zu eins übernommen. Insgesamt konnten 45 Tabellen erfolgreich geladen werden.

Im nächsten Schritt wurden diese Daten weiter aufbereitet und in Faktentabellen modelliert. Die Logik der Fakt-Erzeugung konnte erfolgreich im vier-Augenprinzip validiert werden. Die Faktentabellen wurden ferner mit dem Quellsystem verglichen, womit beispielsweise die Berechnung der Narkoseminuten stichprobenartig (n=50) getestet und verifiziert werden konnte. Dieser Schritt fand außerdem während der Entwicklung der Faktentabelle kontinuierlich statt.

Die Validierung der Dimensionstabelle fand auch während der Entwicklung statt. Diese konnte ebenfalls stichprobenartig erfolgreich durchgeführt werden.

4.4.2 Ergebnisse der Validierung des Narkoseform Phenotyping Algorithmus

Der Narkoseform-Algorithmus konnte erfolgreich validiert werden. Es wurde eine Excel-Datei mit den Narkosen und den zu annotierenden Flags zur Verfügung gestellt.

60 Narkosen wurden auf Basis dieser Datei annotiert. Tabelle 16 zeigt die Anzahl der Abweichungen. Es fällt auf, dass vor allem das Flag IVA mit 28,33% zu starken Abweichungen führt.

Tabelle 16: Validierung Narkoseform-Phenotyping

	Gasnarkose	IVA	TCI	Regional
Anzahl falscher Annotationen	1	17	0	1

Die Regeln für die einzelnen Flags wurden daraufhin nochmals geprüft und iterativ korrigiert.

Anschließend wurden die Daten in Excel für die Plausibilisierung des Mengengerüsts dargestellt. Dabei fielen ungewöhnliche Kombinationen, wie beispielsweise die Gabe einer Gas-Narkose ohne Intubation auf. Diese Fälle wurden stichprobenartig betrachtet und der Algorithmus entsprechend angepasst.

Nach der Validierung des Narkosetyps konnte die Annotation des Narkoseform Phenotyping als zusätzliches Datenelement in das cDWH aufgenommen werden.

4.4.3 Ergebnisse der Validierung des PONV Phenotyping Algorithmus

Der Abgleich mit dem Goldstandard hat eine Übereinstimmung von 99,93% ergeben (siehe Kapitel 4.3.2). Der zweite Teil bestand in der Bewertung weiterer Narkosen. Aus 100 Narkosen gab es Abweichungen in sieben Narkosen (siehe Tabelle 17).

Tabelle 17: Abweichungen PONV-Evaluierung

Kriterium	Anzahl Abweichungen	Begründung
Opiat-AWR	1	Fehleingabe durch Arzt
PONV-Anamnese	1	Kinetose in Anamnese
Antiemetika-AWR	1	Erweiterung der Medikation
Antiemetika-OP	4	Erweiterung der Medikation, differente Indikation
Insgesamt	7	-

Wie man in Tabelle 17 erkennt, bestehen vor allem Abweichungen bei der Medikation. Des Weiteren gibt es eine Abweichung durch eine fehlerhafte Dokumentation seitens der Ärzte und eine weitere bei der PONV-Anamnese, welche durch freitextliche Eingaben zu tätigen ist. Die Fehlerquelle in der Antiemetika-Gabe (im AWR und OP) liegen in einem nicht im Algorithmus berücksichtigten Medikament (Navoban = Tropisetron) und kann durch Anpassung in der ATC-Gruppen-Selektion bereinigt werden.

Damit ergibt sich bei der Evaluierung eine Abweichung von insgesamt 7 %. Nach Aufarbeitung ergibt sich eine bleibende Abweichung von einer Narkose, da Fehleingaben von Ärzten nicht abgefangen werden können.

5 Diskussion

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine zentrale Datengrundlage für die wissenschaftliche Sekundärnutzung anästhesiologischer bereitgestellt. Darüber hinaus konnten weitere Methoden zur Verbesserung der Datenbasis angewandt werden. Speziell wurden Phenotyping Algorithmen entwickelt, um implizite Informationen aus den anästhesiologischen Daten zu erhalten.

Schwierigkeiten waren dabei die Entwicklung des Verständnisses der gewachsenen Datengrundlage, da hier fast kein Dokumentationsmaterial zur Verfügung stand. Außerdem war der Prozess des Datenzugriffs langwierig.

Nachdem die Daten erschlossen wurden, konnten diese nach den Aufbereitungsschritten im cDWH zur Verfügung gestellt werden. Die Modellierung richtete sich an die Modellierungsrichtlinien der bereits im cDWH befindlichen Daten.

Die Nutzung eines konsistenten Data Warehouse als Grundlage für Auswertungen zeigt sich auch in den Anforderungen der Kliniker zusammengefasst in folgende drei Oberbegriffe Objektivität, Reliabilität und Validität. Folglich müssen die Daten im cDWH bevor sie zur Verfügung gestellt werden können entsprechend getestet bzw. validiert werden.

Die Bereitstellung dieser Daten im i2b2 war bis auf die Problematik der Zeitreihendarstellung ebenfalls ohne weiteres möglich. Die nächsten Schritte sind die Bereitstellung der Standardberichte aus dem cDWH in einem Report (z.B. mit Cognos Report Studio™), den sich die Kliniker quasi per Knopfdruck anzeigen lassen können.

5.1 Diskussion der Basisanalyse

Die Schwierigkeit der Anforderungsanalyse besteht darin, dass der subjektive Informationsbedarf sich nicht immer mit dem objektiven Informationsbedarf bzw. mit dem Informationsangebot deckt [239]. Deshalb ist eine umfassende IST-Aufnahme und Anforderungsanalyse für die Erlangung eines gemeinsamen Verständnisses überaus wichtig. Untersuchungen haben gezeigt, dass der häufigste Grund für einen Projektabbruch einer unvollständigen Anforderungserfassung zuzuordnen ist [240].

Die Determinierung der Anforderungen auf Basis von Literaturrecherchen und Expertengesprächen sind gängige Ermittlungstechniken in der Praxis [241, 242]. Obschon des hohen Zeitaufwandes, ist dieses Verfahren vor allem in der Medizininformatik erprobt, da in diesem Bereich eine große Vielfalt an spezifischen (z.B. medizinisches, system-technisches, prozessorientiertes) Fachwissen aufzufinden ist. Mit detaillierten Interviews erreicht man ein schnelles Verständnis der Bedürfnisse und infolgedessen eine hohe Qualität der Anforderungsanalyse. Aufgrund der gewünschten Reaktivität auf bedeutungsorientierten Fragestellungen und der möglichen Interaktion wurden offene bzw. semi-strukturierte Interviews als Methodik gewählt [243]. Weitere Methoden können Fragebogen oder

geschlossene Interviews sein. Diese fanden hier allerdings keine Anwendung, da eine umfassende Exploration stattfinden sollte, die jegliche Aspekte umfasst. Die Vorgabe eines Rahmes in Form von strukturierten Fragenkatalogen würde eine Restriktion bedeuten.

Die IST-Aufnahme hat dargelegt, dass die aktuelle Vorgehensweise für die Erstellung anästhesiologischer Auswertungen mit steigenden Anforderungen und Auswertungswünschen perspektivisch nicht realisierbar ist. Die Gründe dafür sind vielfältig: Bei einer hohen Taktung der Auswertungswünsche ist es für eine Person allein nicht möglich allen Anforderungen gerecht zu werden; es kann zu einem Ressourcenengpass kommen. Des Weiteren ist man mit der aktuell existierenden Lösung auf anästhesiologische Daten begrenzt und kann keine fachübergreifenden Auswertungen durchführen. Ferner gestaltet sich die Nachvollziehbarkeit und Reproduzierbarkeit der Auswertungen als schwierig, da es keinen Mechanismus zur Transparenz oder Historisierung gibt: Bei bestehenden manuelle Voraufbereitung kann es zu Inkonsistenzen und Abweichungen der Auswertungen kommen. Jeder Auswertungswunsch wird separiert, singulär und dezentral erstellt, was zu einem hohen Aufwand (u.a. in der Wartung) führt: Mit den steigenden Anforderungen an komplexeren Auswertungen ist eine händische Bereitstellung und Aufarbeitung der Daten nicht umsetzbar. Eine zentrale Stelle, an der Daten angereichert und aufbereitet werden, ist somit für eine solide Datenqualität unabdingbar.

Zudem können einfache Auswertungen direkt an die Kliniker ausgelagert werden, die mit einem tagesaktuellen Datenbestand ihre Ad-hoc Abfragen eigenständig durchführen können. Auch kann die Erstellung von Standardberichten automatisiert werden, indem das Framework für diese Berichte einmalig in einem Auswertungstool (z.B. im Cognos Report StudioTM) erstellt und ausgeführt werden. Außerdem sind weiterführende Analysen, wie Big Data Analysen auf Basis des cDWHs ebenfalls möglich.

Durch die Nutzung eines Data Warehouses können zusammenfassend selbstständig ad-hoc Abfragen durch Kliniker direkt durch die Datenbereitstellung in i2b2 durchgeführt werden. Weiterhin sorgt das Data Warehouse für die Verfügbarkeit der Daten und für einen Qualitätsstandard durch das Präprozessing und die Transformationen. Zu guter Letzt können durch die Anbindung vieler verschiedener klinischer Systeme unter Berücksichtigung des Datenschutzes fachübergreifende Auswertungen durchgeführt werden. Somit sind drei der vier Anforderungen der Kliniker erfüllt.

Die einzige Anforderung, die in dieser Arbeit nicht betrachtet wurde ist der Wunsch nach Big Data-Analysen. Die beiden Begrifflichkeiten Data Warehouse und Big Data haben Überschneidungen und unterscheiden sich in einigen Punkten. Für diese Arbeit zielt ein konventionelles Data Warehouse auf eine konsistente einheitliche Datenbasis ab, während sich Big Data vor allem durch eine hohe und heterogene Datenmenge auszeichnet, welche ohne großen zeitlichen Aufwand explorativ analysiert werden kann und damit einen hohen Grad an Schnellebigkeit besitzt (siehe 6.3).

5.2 Diskussion der Datenerschließung

5.2.1 Diskussion der Datenanalyse

Die Datenanalyse hat gezeigt, dass die aus NarkoData stammenden Anästhesiedaten grundsätzlich den Mindestanforderungen des Kerndatensatzes der DGAI (siehe Tabelle 21) entsprechen. Weiterhin enthalten sie alle identifizierten Parameter der Literaturanalyse. Folglich können mit diesen Daten publizierte Studien nachgestellt werden, um so Outcomes zu vergleichen.

In der Literatur wurde bereits der DGAI Kerndatensatz als Standard zur Erfassung von Narkosedaten deklariert und für interne und externe Qualitätssicherung erprobt und bewertet [227, 244–246], vor allem auch da Sicherheit und Qualität zu den Hauptaufgaben der Anästhesie zählen [247]. Damit ist ein institutionsübergreifender Vergleich der Anästhesiequalität möglich. Dieser schafft Transparenz bei einer Gegenüberstellung der Einrichtungen [88]. Die Nutzung des Kerndatensatzes der Anästhesie bedeutet ferner eine einfachere Teilnahme an überregionale Studien.

Die Standardisierung von erfassbaren Merkmalen ist in der Medizin nicht unüblich. Neben der anästhesiologischen Empfehlung existieren noch weitere medizinische Kerndatensätze, wie der Kerndatensatz „Notaufnahme“ der DIVI¹⁰ [248–251], eine modulare, ganzheitlich interdisziplinäre Dokumentationsgrundlage für die Versorgung im Schockraum [248] oder der Kerndatensatz der Intensivmedizin der DIVI und DGAI [252]. Es zeigt sich also, dass Minimalstandards zur Erfassung von medizinischen Daten sowohl für die interne Qualitätsdokumentation, als auch für einen institutionsübergreifenden (Prozess-)Vergleich einen wichtigen Stellenwert einnehmen.

Mit Hilfe von Data Profiling konnten die Daten genauer betrachtet werden. Mit der Anwendung der statistischen bzw. heuristischen Auswertungen konnten Auffälligkeiten und fehlerhafte Werte festgestellt werden, was für die Datenqualität sehr wichtig ist [253]. Data Profiling wird bei der Entwicklung von Data Warehouses in der Regel als initiale Analyse verwendet [254–256], um so die Vorsystem Daten zu identifizieren und zu verstehen [125, 126].

So wurde beim Verschaffen eines ersten Überblicks über die gesamten Narkosedaten die Komplexität und Vielfalt der verfügbaren Datenelemente ersichtlich. Die Anästhesie ist ein standardisierter Prozess mit festgelegten Prozessschritten und deterministischen Reihenfolgen: Narkoseeinleitung, Narkoseaufrechterhaltung und Narkoseausleitung. Trotz des prozessähnlichen Charakters der Anästhesie, ist es innerhalb dieser Schritte nicht ohne weiteres möglich ein generalisiertes Muster beispielsweise für die Abläufe der Beatmung oder für die operativen Maßnahmen aus diesen Daten abzuleiten. Dies liegt unter anderem an der Diversität der morphologischen und physischen Verfassung der Patienten.

¹⁰ Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin e. V.

Nichtsdestotrotz zeichnen sich die Narkosedaten tatsächlich durch einen hohen Strukturierungsgrad aus, welche sich besonders für die Einbindung in Data Warehouses und somit für den Secondary Use eignen [257]. Allerdings ist die Möglichkeit der freitextlichen Eingabe aufgrund der schnellen Erfassung während Komplikationen oder nicht vorhergesehener spezifischer Besonderheiten durchaus gerechtfertigt. Unstrukturierte Daten bestehen lediglich aus einer Zeichenfolge, die keiner rigiden Struktur folgt und somit bis dato nicht direkt für Abfragen zur Verfügung stehen [236]. Dies stellt auch das cDWH vor eine Herausforderung. Der Einschluss strukturierter Daten in das cDWH ist grundsätzlich mit weniger Aufwand im Prä-Prozessing verbunden, als bei unstrukturierte Daten [258].

Für die Einbindung von unstrukturierten und semi-strukturierten Daten existieren bereits Integrationsbemühungen z.B. durch Textanalyse mit Hilfe von NLP [259, 260]. Ziel ist, das Gewinnen von strukturierten Informationen aus unstrukturierten Daten, um damit eine umfängliche Sicht mit erweiterten Analysen zu ermöglichen. Dies steht in dieser Arbeit allerdings nicht im Fokus.

Der Informationsgehalt ist vor allem bei der freitextlichen Dokumentation der Medikamente aufgrund der hohen Relevanz von großer Bedeutung. Neben der Nutzung eines Dropdown Menüs, können Medikationen auch freitextlich eingetragen werden. Das Abbilden auf ATC-Codes vereinheitlicht diese Medikamente.

Der ATC-Code ist eine von der EPhMRA¹¹ entwickelte offiziell herausgegebene internationale Klassifikation von Arzneistoffen mit definierten Tagesdosen (DDD, Defined Daily Doses), die jährlich aktualisiert wird. Sie basiert dabei auf Substanzen statt auf Handelspräparaten. Damit werden Arzneimittel gemäß ihrem Wirkmechanismus, Indikation oder chemischen Struktur klassifiziert.

Dadurch sind aussagekräftige Vergleiche über die Nutzung von Wirkstoffen respektive Arzneimittel erreichbar. Nachteile sind, dass unterschiedliche pharmazeutische Zubereitungen eines Wirkstoffes (z.B. topisch oder systemisch) getrennte ATC-Codes besitzen. Ein Präparat kann somit eigene ATC-Codes entsprechend der therapeutischen Anwendung (Indikation) und Applikationsform enthalten. Beispielsweise hat Prednisolon je nach Indikation unterschiedliche ATC-Codierungen [261] (siehe Tabelle 18).

Tabelle 18: ATC-Code für Prednisolon

ATC-Codes	ATC-Obergruppe
A07EA01	Intestinale Antiphlogistika
C05AA04	Mittel zur Behandlung von Hämorrhoiden und Analfissuren zur topischen Anwendung
D07AA03	Dermatika
H02AB06	Corticosteroide zur systemischen Anwendung
R01AD02	Nasale Dekongestiva
S01BA04	Ophthalmika
S02BA03	Otologika

¹¹ European Pharmaceutical Market Research Association

Durch das Abbilden der Medikamente auf den ATC-Code können diese Daten zwar für Auswertungen erschlossen werden, allerdings kann es hier auch zu Abweichungen bei der Klassifikation des ATC-Codes kommen, da die therapeutische Anwendung aus dem Medikamentennamen nicht ersichtlich ist. Zwar wird in der Anästhesie auf Standardmedikationen mit eindeutigem ATC-Code zurückgegriffen, allerdings kann die Mehrdeutigkeit nicht ausgeschlossen werden. Außerdem gehen zum Teil wertvolle Informationen, die bei der freitextlichen Eingabe getätigt wurden, dadurch verloren.

Eine Empfehlung ist die Nutzung eines Stammdatensatzes für Medikamente mit zugewiesenen ATC-Codes, um damit die Unschärfe zu vermeiden.

Mit den Codes wird der Spagat zwischen Standardisierung und Individualisierung gegangen. Dies ist besonders in der Medizin schwierig, da der Trend in der Medizin zu Personalisierung [262–264] geht, aber nur eine Standardisierung Vergleichbarkeit und Auswertbarkeit ermöglicht. Es muss also eine sinnvolle Balance gefunden werden.

Die Nutzung von Freitextfeldern für Dokumentationszwecke ist unausweichlich, da es perioperative Vorkommnisse bzw. Sonderausprägungen geben kann, die eine strukturierte Erfassung nicht praktikabel machen, wie beispielsweise seltene Reaktionen auf Medikamente. Für diverse Bedürfnisse sind freitextliche Angaben also zwingend erforderlich. Allerdings ist die Empfehlung eine einheitliche Ablage strukturierter Ausprägungen durch Verwendung vorgesehener Datenfelder und Minimierung der Informationseingabe in Freitextfeldern.

Die Datenanalyse hat weiterhin gezeigt, dass vor allem die Messwerttabellen mit 99,1% einen hohen Anteil an NULL-Werten enthalten. Ein Grund liegt darin, dass NarkoData in den Dokumentationsmasken eine hohe Anzahl an erfassbaren Merkmalen ermöglicht und für jedes Attribut eine eigene Spalte angelegt wird. Allerdings werden oft für einen Patienten nicht alle vorgesehenen Datenfelder erfasst, sodass im Datenmodell diese Felder inhaltslos sind [131]. Wenn beispielsweise während einer Operation für einen Patienten zwar der Blutdruck gemessen wird, allerdings kein Puls, führt dies zu fehlenden Werten (missing values), in Form von NULL Einträgen zu jedem gemessenen Zeitpunkt während der Narkose. Das Phänomen, dass es zwar viele Spalten gibt, aber nur wenige Werte wird Sparse Tables (spärlich besetzte Tabellen) genannt und hat zur Folge, dass Speicherplatz wertlos verbraucht wird. Im Gesundheitsbereich findet deswegen ein variables Datenmodell, das in einer generischen Metadatendefinition Entitäten, Attribute und Werte in Beziehung setzt, regelmäßige Verwendung [131, 265].

Des Weiteren hat die Analyse der Mengengerüste ergeben, dass einige Attribute per se inhaltslos sind bzw. lediglich eine Ausprägung aufweisen. Diese geringe Nutzung der Spalten zeigt an, dass diese Felder nicht unbedingt notwendig sind bzw. noch nicht genutzt werden. Da diese Felder zukünftig an Bedeutung gewinnen können, werden sie nichtsdestotrotz in das cDWH übernommen.

Die Analyse der minimalen und maximalen Werte für alle Messwertattribute hat ergeben, dass sich in diesen Daten auch viele „Ausreißer“ befinden. Dies liegt daran, dass eine Operation eine große Belastung für den gesamten Körper bedeutet, sodass Verlaufsdaten erheblichen Schwankungen im Narkoseverlauf unterliegen. Diese Daten sind besonders anfällig für Messfehler und enthalten häufig Rauschen oder Ausreißer. Außerdem kann es vorkommen, dass Sonden, die nicht angeschlossen werden, Messwerte erfassen und damit Artefakte mit hohen Schwankungen und unrealistische Werte produzieren. Diese Feststellung wurde von den Anästhesisten während der Sichtung des Systems im Operationsraum bestätigt. Die Bereinigung von Zeitreihendaten ist bereits Gegenstand intensiver Forschung und soll allerdings nicht Fokus dieser Arbeit bilden.

Die Maskenanalyse hat gezeigt, dass Informationen durch das Frontend des NarkoData an unterschiedlichen Stellen abgelegt werden konnte. Durch Gewohnheit und Routine der Kliniker, hat sich dieses Verhalten manifestiert. Beispielsweise kann das Kriterium „Raucher“ explizit durch Setzen eines Häkchens präoperativ erfasst werden. Nichtsdestotrotz kann dieses Kriterium in mehreren Freitextfeldern in der präoperativen Eingabemaske ebenso dokumentiert sein. Dies erschwert eine Erfassung des Status Raucher, da alle Eventualitäten für die Dokumentation des Merkmals in Betracht gezogen werden müssen. Eine einheitliche Dokumentation dieser expliziten Merkmale in Form einer Dokumentationsempfehlung bzw. Dokumentationsleitfaden könnte diese verteilte Dokumentation innerhalb des Quellsystems reduzieren.

Ferner gibt es bei der Narkoseform inhaltliche Differenzen zwischen der Datenlage und der tatsächlichen Durchführung, die es bei der Aufbereitung zu bereinigen galt, da diese Daten andernfalls mögliche Auswertungen verfälschen können. Die Sichtung der Dokumentationsmaske ergab dabei, dass die unsaubere Dokumentation durch die Eingabemöglichkeit begründet werden kann. Anästhesieformen, sowie deren Kombinationen können in zwei Eingabefeldern einzeln oder kombiniert dokumentiert werden, sowie auch zu einem späteren Zeitpunkt ergänzt werden.

Die Zeitreihendaten machen aufgrund der engmaschigen Erfassung die höchste Datendichte aus und begründet deshalb besondere Aufmerksamkeit. Zwar könnten diese Daten aufgrund der Strukturiertheit ohne weitere Aufbereitung in das cDWH übernommen werden, dennoch konnte festgestellt werden, dass die Datenqualität für Auswertungen nicht optimal ist. Beispielsweise konnte ermittelt werden, dass die höchste Dauer eines Messwertintervalls in den Beatmungsdaten bei 12.758 Minuten lag. Dieses Intervall hat allerdings bei einer Verlaufsbeurteilung wenig Aussagekraft und eine geringe Relevanz. Es handelt sich wohl bei diesen hohen Messwertintervallen um Artefakte. Grundsätzlich sind die angewandten Methoden zur Beurteilung der Qualität der Messwertdaten wenig aussagekräftig; besser eignen sich Methoden zur Beurteilung des Verlaufs der Daten. Zunächst müssen so Ausreißer, unerwartete Werte, sowie fehlende Werte determiniert und bereinigt werden, wie auch die Konsistenz der zeitlichen Abfolge der Zeitreihen erfüllt werden, um diese Daten sinnvoll auswerten zu können. Die Bereinigung von Zeitreihen und deren Analyse ist ein eigenes Themengebiet, das nicht im Fokus dieser

Arbeit steht. Die Erkenntnisse über die Beschaffenheit der Zeitreihendaten und die Notwendigkeit weiterer Aufbereitungsschritte bildet allerdings einen Teil der Datenanalyse im Hinblick auf die entscheidungsorientierte Nutzung der Anästhesiedaten.

Eine isolierte Betrachtung der physiologischen Werte ist ferner wenig aussagekräftig, sodass diese in Kombinationen mit weiteren Narkosefaktoren, wie beispielsweise den Medikamenten betrachtet werden müssen. Folglich müssen diese Messdatensätze immer in Bezug zu anderen Daten gesetzt werden.

5.2.2 Diskussion der Datenintegration

Es ist häufig nicht einfach aus der Fülle an Daten, die wesentlichen Informationen und Schlüsse zu ziehen – es herrscht „*Informationsarmut im Informationsüberfluss*“ [266]. Ziel ist also die Kongruenz von Informationsbedarf und -angebot [267]. Die selektierten Daten liegen aber in einer für Auswertungszwecke noch nicht unmittelbar geeigneten Form vor, wie Kapitel 4.2.1 zeigt. Mithilfe der Transformation, dem aufwendigsten und anspruchsvollsten Schritt [113, 125, 268], konnte eine Filterung mit Bereinigung (cleaning, cleansing), eine Harmonisierung (conform), sowie Anreicherung (enrichment) der Rohdaten vorgenommen werden [107, 126, 257].

Die Extraktion der Narkosedaten aus dem NarkoData System in die Staging Area konnte nach Auswahl der relevanten Daten erfolgreich mit dem Werkzeug IBM CognosTM durchgeführt werden. Die enge Zusammenarbeit mit den Administratoren der operativen Systeme war hilfreich, um die zusätzliche Schnittstelle für das Datenexportverfahren aus dem operativen System zu erarbeiten. Dabei dient die Staging Area als temporärer Zwischenspeicher. Kimball et al. beschreiben die Staging Area als Küche des Data Warehouse, in der das Essen ausgewählt, gewaschen, geschnitten, gekocht und auf dem Teller arrangiert wird, bevor es an den Gast im Speisesaal geht [107]. Diese Metapher ist für DWH-Einbindungen generell sehr treffend, da Abfragen (meist Massenabfragen) und Arbeitsschritte während der Transformation auf eben dieser Staging Area erfolgen. Dies ermöglicht zum einen zusätzliche Last auf das Quellsystem und minimiert die Gefährdung oder Unterbrechung des Produktivbetriebs, zum anderen wird sichergestellt, dass die Analyse vom Quellsystem entkoppelt wird, um die Datenintegrität zu wahren, da Änderungen (z.B. Löschen) sich nicht auf die originären Datensätze auswirken.

Für die Daten aus dem NarkoData hat diese Entkopplung in der Staging Area mit dem Ziel der Quellsystementlastung keine überaus große Relevanz, da das Narkoseprotokoll als abgeschlossene Einheit in einer Datei abgelegt und anschließend in einer Datenbank geladen wird. Nichtsdestotrotz ist die Staging Area wichtig, da sie die Grundlage für das Data Profiling und weiteren ETL-Schritte darstellt.

Weiterhin eröffnet die Staging Area Zugriffsmöglichkeit auf operative Datenbestände [269]. Oftmals müssen bei operativen Systemen beim Laden der Daten in die Staging Area bestimmte Zeitfenster berücksichtigt werden, um nicht mit den Batchprozessen der operativen Anwendung zu konkurrieren. Das Auslesen operativer Daten in Extraktionsroutinen erfolgt meist nachts, um den operativen

Tagesbetrieb nicht durch ressourcenverbrauchende Lese und Kopiervorgänge zu behindern oder sogar zu sperren [269]. Allerdings ist auch dieses Problem durch die Entkopplung der NarkoData Datenbank nicht maßgeblich.

Nichtsdestotrotz wird die Staging Area als Ausgangsbasis für die Optimierung des Datenmodells für Auswertungen benötigt und ist unverzichtbar. Es wurden hier auch Datenbankmechanismen, wie Partitionierung und Indizierung angewandt. Der erste Transformationsschritt auf der Staging Area ist die Filterung mit Bereinigung nach dem split, merge, delete –Prinzip. Es konnte zwar festgestellt werden, dass die Datenqualität im Grunde sehr hoch war, allerdings befinden sich in jedem System Besonderheiten, wie beispielsweise historisch gewachsene Änderungen. Eine erfolgreiche Datenanalyse setzt neben der Datenerhebung auch eine sorgfältige Datenbereinigung voraus [270]. Die Datenbereinigung ist ein nicht trivialer Schritt und kann Fehlerquellen verursachen, die die Datenauswertungen verfälschen können [270].

Die Datenstandardisierung in der Transformationsphase fand auf den bereits gesäuberten Datenquellen statt. Eine zentrale Aufgabe des Data Warehouse ist die Datenintegration [270]. Viele voneinander unabhängige Systeme mit überlappenden Daten, unterschiedlicher Granularität und abweichenden Wertebereichen müssen sinnvoll zusammengeführt werden. Mit Hilfe der Harmonisierung konnten die Probleme von unterschiedlich kodierten Daten, sowie das Auftreten von Synonymen/Homonymen gelöst werden [269]. Die Harmonisierung gewinnt bei der Zusammenführung von Quelldaten an Bedeutung, da sie ein allgemeines Vokabular und ein einheitliches Kodierungsschema gewährleistet, sodass eine einheitliche Interpretation der Datenelemente ermöglicht wird [271].

Durch die Harmonisierung konnte die Heterogenität der verschiedenen Systeme beispielsweise durch eine einheitliche Nutzung von etablierten Standardterminologien überwunden werden. Beispielsweise gab es keinen eindeutigen übergreifenden Identifikator für Narkosen und zugehörigen Operationen; eine Annäherung über die Patientenidentifikationsnummer, sowie dem Operationszeitpunkt (O8_Schnitt) in einem 15-minütigen Zeitfenster ist allerdings bereits umgesetzt worden.

Auch beim Mapping der Operationszeiten zeigte sich, dass es durch die unterschiedlichen Schwerpunkte Abweichungen in der Definition der Zeitpunkte und Wertebereichen gab. Minimale Abweichungen in der Definition machen eine Vereinheitlichung schwer. Deshalb wurde auf die standardisierte Vorgabe der Fachgesellschaft zur Benennung perioperativer Prozesszeiten [129] abgebildet. Um relevante Informationen nicht zu verlieren, wurde das Glossar mit zusätzlichen systemspezifischen Attributen nach einer einheitlichen Namenskonvention ergänzt.

Die Tatsache der fehlenden Standardterminologie stellt sich bei den Medikationsdaten in NarkoData als besonders problematisch dar, denn der Wirkstoff bzw. das Präparat kann freitextlich erfasst werden. Der Kliniker kann bei der Gabe von Medikamenten in NarkoData aus einer vordefinierten Auswahlliste an Standardmedikamenten wählen, welche in einer Stammtabelle abgelegt sind und damit ein

Nachschlagewerk bilden [272]. Dennoch ist es dem Arzt weiterhin möglich, neben den vorgeschlagenen Medikamenten, auch händisch weitere Präparate einzutragen. Dies mag für den Arzt bedienfreundlich erscheinen, hat aber Konsequenzen im Datenbankmodell, denn das Hinzufügen erzeugt neue Einträge in der Stammdatentabelle. Die Folge ist, dass es keine einheitliche Schreibweise gibt und somit die Semantik fehlt, da keine einheitlichen Kodierungsstandards genutzt werden. Dies erschwert eine Auswertung über die Medikamente, da alle Schreibweisen bedacht werden müssen. Deswegen ist für eine sinnvolle Nutzung der Medikationsdaten im cDWH ein Mapping auf die verbreitete WHO ATC-Klassifikation notwendig. Das ATC-Mapping erlaubt Strukturierung und gemeinsame Abfragen. Diese semantische Optimierung konnte erfolgreich umgesetzt werden, allerdings ist die Pflege der Standardterminologie ein aufwändiger, kontinuierlich fortzuschreibender Prozess.

Die Anreicherung der Faktentabellen konnte erfolgreich durchgeführt werden; vor allem in der Medikationstabelle wurden Ergänzungen durchgeführt. Durch das Erstellen von einheitlichen Kennzahlen wird Konsistenz geschaffen. Die Erstellung der Kennzahlen erfolgt zentral im cDWH, sodass die darauf aufsetzenden Auswertungsprogrammen lediglich Visualisierungsfunktionalitäten und möglichst keine Berechnungslogik beinhalten müssen [269]. Nicht nur aus Performancegründen, sondern auch für die Etablierung einer abgestimmten homogenen Schicht, sind Anreicherungen zwingend erforderlich [273].

Für eine sinnvolle Zusammenfassung der Datenelemente wurden die Quelltabellen in Fakten und Dimensionstabellen modelliert. Vor allem bei den Verlaufsdaten ist aufgefallen, dass viele Felder inhaltslos sind. Zum Umgehen dieser Tatsache hat sich in der Medizin das sogenannte Entity-Attribute-Value-Datenschema (EAV Datenschema) etabliert [131]. Die Datensätze werden vertikalisiert, sodass Attribute zeilenweise mit der jeweiligen Attributsausprägung und ihrem Wert eingefügt werden. Damit werden NULL-Werte (sparse tables) in den Fakten vermieden.

In den Faktentabellen konnte die Anreicherung erfolgreich durchgeführt werden. Durch das Erstellen von einheitlichen Kennzahlen wird Konsistenz garantiert und damit wird die Logik auf dem cDWH sitzenden Auswertungsprogrammen reduziert, so dass diese lediglich Visualisierungsfunktionalitäten beinhalten müssen [269]. Nicht nur aus Performancegründen, sondern auch für die Etablierung einer abgestimmten homogenen Schicht, sind Anreicherungen sind zwingend erforderlich [273].

Aktuell besteht kein Historisierungs-Konzept der cDWH Daten, was zur Folge hat, dass bei harten Updates (beispielsweise bei manuellen nachträglichen Änderungen), der alte Stand im DWH überschrieben wird. Dies widerspricht allerdings dem Grundprinzip der Beständigkeit (*nonvolatile*) eines Data Warehouses. Eine Möglichkeit diese Daten zu historisieren ist das Einfügen von Zeitstempelpaaren, die die fachliche und technische Gültigkeit der Datensätze beschreiben.

Die Besonderheit der Narkosedaten besteht in ihrer fachlichen Abgeschlossenheit. Zwar besitzen die Protokolle zwar einen Start- und Endzeitpunkt, allerdings stehen diese Datensätze stets erst nach

Abschluss des Narkoseprotokolls zur Verfügung. Somit gibt es keine stetigen Datenelemente. Ein gegensätzliches Beispiel ist der Abschluss eines Vertrags: Dieser ist nämlich selbst nach Erstellung des Datensatzes noch laufend, da das Enddatum, wenn vorhanden, in der Zukunft liegt.

Die Integration der Narkosedaten in i2b2 konnte erfolgreich vorgenommen werden. Dies sorgt für bessere Verfügbarkeit für Endnutzer durch das eigenständig nutzbare Berichtsportal. Dennoch scheint das i2b2 ein unzureichendes Werkzeug für Interpretation von Zeitreihendaten zu sein und ist als Abfragewerkzeuge für komplexe Fragestellungen, wie Beobachtungen über den zeitlichen Verlauf nicht ausreichend.

Als Workaround für die Nutzung der Zeitreihendaten können die Analysen relevanter Konstellationen in den ETL-Prozess vorverlagert werden, um diese als explizite Datenelemente für Abfragen verfügbar zu machen. Eine dynamische Anpassung der Kriterien zur Laufzeit durch den Anwender wäre so jedoch nicht möglich. Eine weitere Möglichkeit ist, R-Skripte als Plug-Ins in das i2b2 Werkzeug zu integrieren.

Bisher war eine intensive Kenntnis der Struktur des anästhesiologischen Datenmodells zum Erzeugen von Auswertungen unverzichtbar. Ein selbstständiges Auswerten der Rohdaten im Sinne eines Self-Service war nicht möglich und hätte inkonsistente Ergebnisse zur Folge. Durch das cDWH werden die Daten an einer zentralen Stelle vorgehalten und durch einen größeren Personenkreis erreichbar. Auch können Standard-Berichte initial erstellt werden und erfordern keine weitere manuelle Arbeit, was die Flexibilität und Unabhängigkeit der Kliniker stärkt. Zusätzlich können einfache Vorselektionen (z.B. Fallzahlabschätzungen) aus dem cDWH im Tool i2b2 von Ärzten durchgeführt werden ohne eigene tiefe Kenntnis des Datenmodells. Durch Integration mit dem Gesamtdatenbestand des DWH existieren erheblich erweiterte Auswertungsmöglichkeiten.

5.3 Diskussion des Phenotypings

5.3.1 Diskussion des Narkoseform Phenotypings

In NarkoData konnte festgestellt werden, dass die dokumentierte/geplante Narkoseform von der tatsächlichen Narkoseform abweicht. Die Literatur beweist, dass der Sachverhalt der inadäquaten Dokumentation kein Einzelfall ist, beispielsweise bei der Dokumentation der Diagnose mittels der ICD Kodierung [120, 274, 275].

In diesem Fall hängt es damit zusammen, dass es mehrere Felder gibt, in denen die Narkoseform spezifiziert werden kann. Beispielsweise kann eine balancierte Narkose in einem Feld „Gas/IVA“, sowie als Kombination mehrerer Felder „TIVA“ & „Gas“ beschrieben werden. Die impliziten Merkmale des Datenbestands können Aufschluss über die tatsächliche Narkoseform geben.

Ein Vergleich der Ergebnisse des Phenotyping über die Narkoseform mit jener in Narkodata dokumentierten Narkoseformen stellte sich als schwierig heraus, da die Auswahl der Kriterien sich unterscheidet: Bezieht sich der Phenotyping Algorithmus lediglich auf die vier Haupt-Narkosen, wird

in NarkoData teilweise detaillierter dokumentiert; auf der anderen Seite dokumentiert NarkoData nicht TCI-Narkosen.

Die Literatur-Recherche hat ergeben, dass eine "balanced anaesthesia" gefolgt von der TIVA die häufigste Narkoseform ist. Allerdings wird der Begriff der balancierten Narkose in der Literatur auch unterschiedlich definiert: Mischform von Inhalations- und intravenöser Anästhesie [276] oder Kombination von Inhalationsnarkotika und Opiaten [277], oder auch als Gabe eines intravenösen Analgetikums, mit Inhalationsanästhetika und Muskelrelaxanzien [278]. Der angloamerikanische Term "balanced anaesthesia" hat darüber hinaus eine weitere eigene Definition, nämlich die Kombination eines intravenösen Analgetikums mit einem Sauerstoff-Lachgas-Gemisch, allerdings ohne Gabe eines volatilen Anästhetikums [278]. Diese Bedeutungsvielfalt liegt vermutlich an der historischen Entwicklung dieser „ausgewogenen“ Anästhesie. 1926 wurde der Begriff „balanced anaesthesia“ erstmals von Lundy in einer Publikation erwähnt. Er erzielte eine Supplementierung der üblichen Mono-Inhalationsanästhetika (Äther oder Chloroform) durch eine kombinierte Gabe aus Lokalanästhesie, Inhalationsanästhesie und intravenösen Anästhesie. Durch diese Kombination wurden geringere Dosen mehrerer Anästhetika die toxischen Nebenwirkungen höher dosierter Monoanästhesien vermieden [62, 279].

Für diese Arbeit wurde balancierte Narkose als Kombination verschiedener Substanzgruppen mit einer volatilen Narkose, folglich als Gegenteil einer total intravenösen Anästhesie definiert. Häufig wird mit intravenösen Narkotika eingeleitet und im Anschluss mit Gasnarkose und weiteren Substanzen die Aufrechterhaltung durchgeführt.

Der Phenotyping Algorithmus ergab, dass rund 20% der Narkosen eine balancierte Narkose hatten. Somit wurden die Ergebnisse bezüglich Narkosehäufigkeit aus der Literatur auch in NarkoData wiedergefunden.

Um eine Vergleichbarkeit mit den Angaben in NarkoData herzustellen, wurden diese Daten entsprechend mit Flags versehen und annotiert. Dies war notwendig, da die Annotationen geringfügig abwichen und sie damit nicht unmittelbar verglichen werden konnten.

5.3.2 Diskussion des PONV Phenotyping

Der Phenotyping Algorithmus konnte erfolgreich iterativ anhand der Vorgabe des Goldstandards aufgebaut werden. Die Prüfung über das Vorhandensein der Narkosen im cDWH war erfolgreich und ergab eine 100%ige Übereinstimmung.

Die Auswahl der Medikationen beschränkte sich auf Standardpräparate: es wurden sechs Opiate (Dipidolor, Fentanyl, Remifentanyl, Sufentanyl, Alfentanyl, Morphin) und vier Antiemetika (Dexamethason, Diphenhydramin, Metoclopramid, Ondansetron) in der medizinischen Auswertung

betrachtet. Die Gabe der genannten Medikamente wurde intraoperativ und zum Teil im Aufwachraum (postoperativ) betrachtet. Die Dosis der Medikation spielte dabei allerdings keine Rolle. Durch die Anreicherung der Medikationsdaten mit dem ATC-Code ist es ebenfalls möglich die Liste der Medikationen zu erweitern. Auf diese Weise ist es im Nachgang auch möglich Suchkriterien auf einer höheren Ebene der Klassifikation zu nutzen - beispielsweise statt der Verwendung des ATC-Code eines Antiemetika-Wirkstoffs, ist es möglich den ATC-Code A04A, welche der Klassifikation „Antiemetika und Mittel gegen Übelkeit“ entspricht, übergreifend zu nutzen. Damit beschränkt man sich nicht auf die Standardpräparate. Auf diese Weise würde man die Abweichung aus Kapitel 4.3.2 im Wirkstoff Tropisetron (ATC-Code A04AA03) und Dimenhydrinat (ATC-Code A04AB02), sowie Morphin (ATC-Code N02AA01) ebenfalls erschlagen. Dies gilt ebenfalls für die postoperative Opiatgabe. Die korrekten Abweichungen aufgrund der Nutzung der ATC-Klassifikation konnten dabei durch einen Anästhesisten bestätigt werden.

Eine weitere essentielle Kenntnis, die aus der medizinischen Vorarbeit entnommen werden konnte, war die Abgrenzung zwischen intraoperativ und postoperativ. Dieser Zeitpunkt wird in der Literatur unterschiedlich wahrgenommen. Für diese Arbeit wurde intraoperativ als sämtliche Maßnahmen bis einschließlich des Zeitpunktes „Ende der Anästhesie“ (Prozesszeitpunkt A9) definiert; ab diesem Zeitstempel beginnt die postoperative Phase. Diese Abgrenzung ist wichtig für die Zuordnung der Antiemetika-Gabe: Im Aufwachraum gegebene Antiemetika kann als Maßnahme gegen vorherrschende Übelkeit interpretiert werden, während intraoperative Antiemetika-Gabe auf eine PONV-Prophylaxe hindeutet.

Die Abfrage über Freitextfelder sorgte bei der Erstellung des Phenotyping Algorithmus für eine Unschärfe (siehe Tabelle 12). Diese Ungenauigkeit rührt in den semantischen Informationen, die über einen regulären Ausdruck nicht vollständig abgefangen werden kann. Es werden somit teilweise falsch positive Treffer, wie beispielsweise „*Narkosen bei Eltern unauffällig bis auf PONV*“, „*PONV-Anamnese in der Familie*“, „*vermutlich PONV nach Hüfte 1974*“, „*PONV vor 20 Jahren*“, oder „*PONV bei Mutter bekannt*“ gefunden. Momentan werden PONV-Fälle in der Familie nicht betrachtet, durch Fuzzy-Logik könnten allerdings auch diese Informationen zum Feststellen der PONV-Anamnese hinzugezogen und beispielsweise gewichtet bzw. in Grade unterteilt werden.

Insgesamt ergibt sich aus der freitextlichen Abfrage eine Abweichung von 0,12% (entspricht 45 Narkosen). Aufgrund der überschaubaren Anzahl wurden diese Abweichungen durch einen Anästhesisten verifiziert und als Vier-Feldertafel dargestellt. Neben falsch-positiven Ergebnissen, gab es auch richtig-negative und richtig-positive Annotationen. Falsch-negative Ergebnisse konnten nicht festgestellt werden. (siehe Tabelle 13). Somit fungierte diese Arbeit zusätzlich als Verifizierung der manuellen Annotation der medizinischen Arbeit.

Für den Einschluss des Kriteriums Status Raucher wurden lediglich zwei strukturierte Felder eingeschlossen. Bei genauerer Inspektion der Daten fiel allerdings auf, dass weitere Felder (z.B. Kommentarfelder) für diese Angabe hinzugezogen werden können. Folglich können Informationen an mehreren Stellen (ggf. auch widersprüchlich) abgelegt werden. Die Empfehlung ist die Strukturfelder, soweit vorhanden für diese Zwecke zu nutzen und Freitextfelder lediglich für weiterführende Informationen zu nutzen, aber Informationen nicht redundant zu speichern.

Überdies ist es möglich zusätzliche PONV-relevanten Daten aus dem cDWH in den PONV-Algorithmus einzuschließen, um präzisere Ergebnisse zu erhalten. In der Literatur werden weitere mögliche PONV-Risikofaktoren, für Prognosesysteme beschrieben (siehe Tabelle 19) [67, 215, 218, 280, 281]. Auch die Dosis der Anästhetika kann Einfluss auf das PONV-Risiko nehmen.

Tabelle 19: Risikofaktoren für das Auftreten von PONV

Gruppe	Risikofaktor
Patientenabhängig	Weibliches Geschlecht
	PONV-Anamnese
	Reise- und Bewegungskrankheit
	Nichtraucherstatus
Anästhesiebedingt	Alter des Patienten
	Volatile Anästhetika
	Lachgas
Operationsbedingt	Anästhesiedauer
	Art der OP
Allgemein	Dauer der OP
	Intraoperative Opiatgabe
	Postoperative Opiatgabe

Da Inhalationsanästhetika das Risiko für PONV erhöhen, sollte bei hohem Risiko beispielsweise auf eine totale intravenöse Anästhesie (TIVA) zurückgegriffen werden. Auch die Durchführung der Operation in Regionalanästhesie verringert das Risiko für postoperatives Erbrechen und postoperative Übelkeit. Wenn die genannten Verfahren kombiniert werden, lässt sich das Risiko für PONV deutlich senken.

Des Weiteren gibt es neben dem Apfel-Score weitere Prognosemodelle für die Errechnung des Risikos für postoperative Übelkeit und postoperatives Erbrechen, wie Koivuranta oder Eberhart (für Kinder) [68, 69, 282]. Durch das Einbeziehen weiterer Felder ist Erweiterungspotential vorhanden.

5.4 Diskussion Evaluierung

5.4.1 Data Warehouse

Der Test der Daten im Data Warehouses konnte überwiegend durch den ETL-Entwickler durchgeführt werden. Für die Überprüfung der Staging Area konnten quantitative Methoden gewählt werden, da dieser Bereich keine weitere Logik enthält und dementsprechend die Fehlerquote gering ist. Die Mitarbeit der Kliniker war erst bei der Verifizierung der höheren Data Warehouse Schichten notwendig.

Während der Entwicklung wurden die Kennzahlen mit den Anästhesisten besprochen und aufgebaut. Damit wurden diese Daten, die die Logik enthalten sowohl qualitativ in Zusammenarbeit mit den Klinikern, als auch quantitativ durch den Entwicklungsprozess in Augenschein genommen. Nichtsdestotrotz ist der Aufbau eines Data Warehouses nie komplett vollends beendet, da es immer weitere Auswertungsanforderungen gibt, die eine Voraggregation/Kennzahl erfordern.

Außerhalb des Tests liegt die fachliche Korrektheit der Daten, die im Narkoseprotokoll eingegeben wurden. Auch wurden die Daten gegen die Quelldaten geprüft und nicht gegen das Narkoseprotokoll. Es ist davon auszugehen, dass das System NarkoData die korrekte Datenablage gewährleistet. Dieser Test ist nicht Fokus dieser Arbeit.

5.4.2 Phenotyping Narkoseform

Die Validierung der einzelnen Narkoseformen stellte sich als nicht praktikabel heraus, sodass man sich letztendlich auf eine Plausibilisierung der Daten via Mengenabschätzung einigte. Diese konnte zusammen mit den bereits annotierten 60 Narkosen erfolgreich in mehreren Iterationen durchgeführt werden.

Bei der Annotation der Narkosen gab es einige Unstimmigkeiten: z.B. wurden einige Narkoseprotokolle in NarkoData nicht gefunden. Diese Protokolle wurden aus der Evaluierung ausgeschlossen.

Besonderes Augenmerk lag während der Validierung vor allem auf unüblichen Konstellationen, wie beispielsweise volatile Anästhesie ohne Intubation. Diese wurden im Detail betrachtet und es fiel auf, dass es an einigen Stellen an einer unsaubereren Dokumentation lag. Beispielsweise wurden auch Medikationen in einigen Protokollen v.a. bei der TCI-Gabe nicht beendet.

Der Abgleich mit dem NarkoData Mengengerüst zeigte allerdings, dass der Phenotyping Algorithmus nicht sehr von den in NarkoData notierten Narkoseformen abweicht.

5.4.3 Validierung Phenotyping PONV

Die Validierung des PONV-Algorithmus konnte erfolgreich durchgeführt werden. Es gab ein zweistufiges Validierungskonzept. Der erste Teil bestand aus dem Abgleich mit dem Goldstandard und

ergab eine Korrektheit von 99,93%, während die Validierung anhand 100 Narkosen eine Abweichung von 7% ergab.

Für die höhere Abweichung kann es mehrere Fehlerquellen geben, wie beispielsweise fehlerhafte Dokumentationen der Mediziner oder noch nicht berücksichtigte Aspekte im Algorithmus.

Ersterer Punkt kann beispielsweise eine fehlende Medikamentenverwerfung sein. Da diese Eingaben den Input für den Algorithmus darstellen, kann in dieser Arbeit keine Abhilfe geschaffen werden, es können lediglich Arbeitsempfehlungen seitens der Mediziner für die sorgfältige Eingabe ausgegeben werden. Letzterer Punkt kann durch Anpassungen bzw. Erweiterungen im Algorithmus korrigiert werden.

Bei der Abweichung der Antiemetika-Gabe im AWR und OP liegt es an einem im Algorithmus nicht berücksichtigten Wirkstoff: Tropisetron. Durch Selektion der Medikation über die ATC-Gruppen, kann diese Fehlerquelle beseitigt werden.

Eine weitere Fehlerquelle lag beim Annotieren der PONV-Anamnese. Hier wurde in einem Kommentarfeld der Verlaufsmedikation für Dexamethason die PONV-Prophylaxe dokumentiert, unter anderem auch *Kinetosen*, weswegen der Algorithmus hier die PONV-Prophylaxe nicht annotiert hat. Im Kommentarfeld des Medikationsverlaufs stecken ferner weitere wichtige Informationen. Beispielsweise kann eine hohe Dosis Dexamethason mit „aWdO“ kommentiert eine chirurgische Indikation haben anstatt einer PONV. In einigen Fällen ist dieses Indikationsfeld des Weiteren nicht gefüllt, weswegen eine klare Differenzierung der Indikation bedingt durch eine hohe Dosis bestimmter Medikamente nicht immer exakt erklärbar ist.

Weiterhin ist bei der Analyse der Kommentarfelder aufgefallen, dass sich ein Raucherstatus teilweise auch über die tägliche Zigaretten dosis impliziert. Dabei muss die Abgrenzung des Raucherstatus klar definiert werden, denn Formulierungen wie „Lunge: ehemals 35 Zig/d“ oder „Ex-Nikotin 20py“ lassen auf einen (ehemaligen) Raucher schließen und müssen gegebenenfalls auch berücksichtigt werden.

Somit ist ersichtlich, dass in der Analyse der Freitextfelder großes Potential liegt. Durch Methoden, wie Textanalyse (text mining) [283] oder (qualitative) Inhaltsanalyse (content analysis) [284–286] wird versucht unstrukturierter Text zu strukturieren bzw. auf die wesentlichen Inhalte zu reduzieren [287]. Dies stellt im Hinblick auf die immer größer werdenden Datenmengen – Schlagwort Big Data – ein eigenes Forschungsgebiet dar.

Hinzukommend gab es zum Teil systemübergreifende Diskrepanzen, beispielsweise bei der Dokumentation des Geschlechtes: Hier wurde in NarkoData teilweise konträr zur elektronischen Krankenakte SoarianClinicals dokumentiert. Diese Fälle können bei redundanter Informationsablage immer auftreten und sollten konsistent gehalten werden. Allerdings lässt sich dieses Szenario nicht ausschließen und die Empfehlung ist hier ein führendes System zu wählen, welches zentral gepflegt

wird und die Stamminformationen aus diesem auszuwerten. In diesem Fall wäre Informationen zum Geschlecht aus SoarianClinicals zu beziehen.

6 Ausblick

6.1 Die Wichtigkeit der Informationsgewinnung

„Zuverlässige Informationen sind unbedingt nötig für das Gelingen eines Unternehmens“

(Christoph Kolumbus, 1451-1506)

Die in der klinischen Routine erfassten Daten werden mittlerweile nicht nur für den primären Dokumentationszweck genutzt, sondern Secondary Use hat sich etabliert und viele Daten sind für wissenschaftliche Zwecke verfügbargemacht worden. Dadurch werden Redundanzen vermieden, sowie Abweichungen bei der Übertragung der Routinedokumentation in die Forschung. Folglich hat sich mittlerweile der Fokus von der Datenbeschaffung hin zur Wissensgenerierung verschoben. Herausforderung ist es die vorherrschende Datenflut [288] analytisch zu bewältigen.

Die Herausforderung besteht darin verlässliche Informationen und Wissen aus den Daten zu generieren. Mit LHS versucht man diese Herausforderung mit Hinblick auf reduziertem time-to-market, also die Zeit, die es braucht, um vorhandene Daten für wissenschaftliche Zwecke in entsprechender Form bereitzustellen, zu erfüllen.

Allerdings gibt es noch Potential beispielsweise bei der Analyse von Freitextfeldern oder bei der Erschließung von Zeitwertdaten. Ein essentieller Grundstein wurde allerdings bereits mit der Erstellung eines Data Warehouses gesetzt, welcher der Beginn für weitere Analysemöglichkeiten bietet.

6.2 Zukunft der Anästhesie

Bis dato werden in elektronischen Narkoseprotokollen die aktuellen Werte der einzelnen Narkoseparameter angezeigt. Es wird allerdings nicht lange dauern, bis diese Systeme zukünftig prognostizierte Verläufe von Parametern errechnen und anzeigen und proaktiv Warnungen den Anästhesisten unterstützen. Weiterhin ist denkbar, dass diese Systeme bei komplexen Situationen Entscheidungshilfen bzw. Therapievorschlüsse anbieten, wie beispielsweise die Minimierung des PONV [289]. Allerdings ist der Weg zu einer vollautomatischen Anästhesie wird in den nächsten Jahren jedoch aufgrund der Komplexität der Narkose, sowie die die Verfügbarkeit bzw. Verlässlichkeit der Daten des Patientenzustands.

6.3 Big Data, Data Mining und Machine Learning

In der Literatur gibt es viele Artikel, Papers und Veröffentlichungen zum Thema Datenanalyse und Datenauswertung. Klassische Data Warehouse Systeme fragen dabei strukturierte Daten aus einer aufbereiteten, häufig aggregierten Datenbank mit menschlich definierten Abfragen und Regeln ab. Dabei basieren die Reports auf vergangenen Daten. Der Trend in der Literatur zeichnet sich darin ab, nicht nur retrospektive Betrachtungen durchzuführen, sondern auch Dinge vorherzusagen. In diesem

Zuge werden häufig Big Data Technologien, Machine Learning Verfahren, sowie Data Mining und Predictive Analytics Methoden zusätzlich zu einem klassischen DWH verwendet.

Eine Kritik an Data Warehouse Systemen ist dabei häufig, dass es sehr starr ist und inflexibel sind [290]. Wird beispielsweise ein neues Attribut oder eine neue Kennzahl in einem Bericht gefordert, muss diese durch alle Schichten des Data Warehouse integriert werden. Dies ist häufig mit zeitlichem Aufwand verbunden. Darauf reagierend wurde in der Literatur über die Einführung einer Abstraktionsschicht diskutiert zur Erreichung von mehr Agilität. Diese wird häufig als logical data warehouse oder virtualization layer bezeichnet [291]. Mit der neuen Data Warehouse Architektur sollen die die Stärken eines klassischen Data Warehouse mit alternativen Datenmanagement und Zugriffsstrategien kombiniert werden [292].

Nichtsdestotrotz zeigen die Datenflut, der Bedarf nach schnellen Auswertungen und Heterogenität der Daten dem traditionellen Data Warehouse auch schnell seine Grenzen auf [293]. Eine neue, hippe, prospektive Richtung rückt in den Vordergrund: Machine Learning. Gartner zeigt in seinem Hype Cycle für aufkommende Technologien, dass Machine Learning Methoden sich momentan auf dem Höhepunkt befinden (siehe Abbildung 20) [294]. Dabei werden Modelle durch historische Daten trainiert und anhand des Modells werden auf Basis neuer Daten Vorhersagen erzeugt. Durch regelmäßige Wiederholung des Trainings mit neuen Daten wird das Model optimiert bzw. es ist selbstlernend.

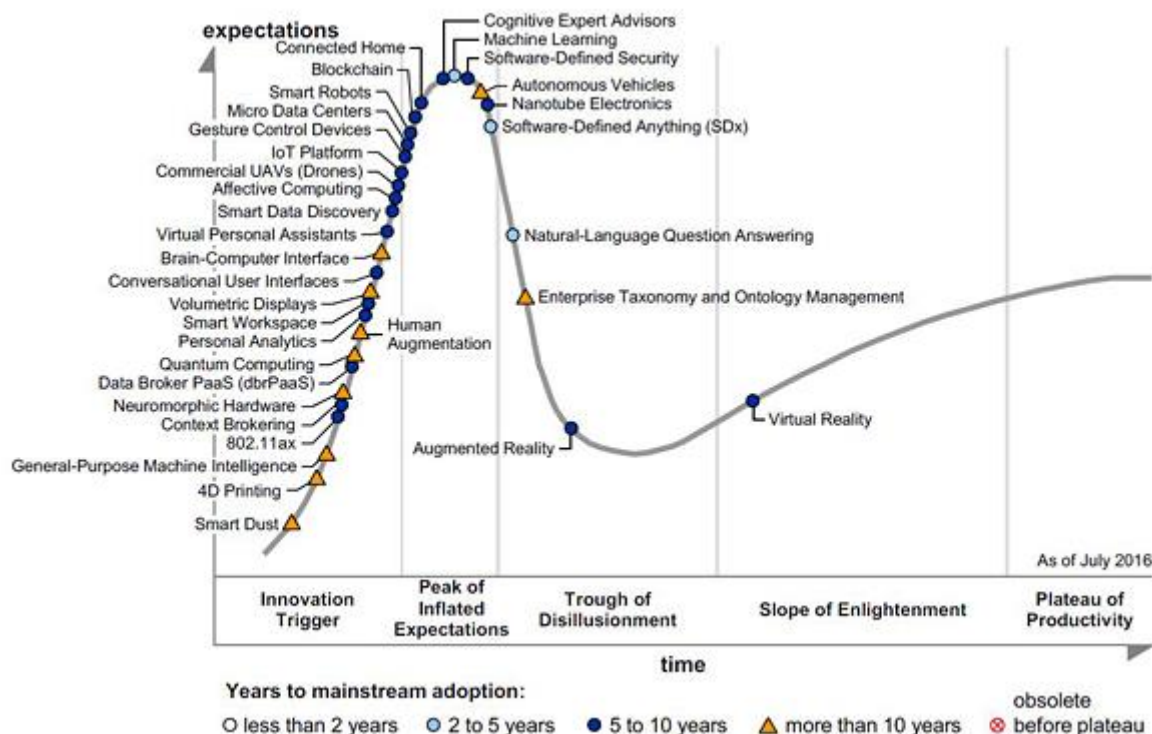


Abbildung 20: Gartners Hype Cycle für aufkommende Technologien [294]

Die notwendigen Daten müssen dabei nicht mittels ETL-Schritten aufwendig in eine konsistente zentrale Datenbasis geladen werden, sondern werden in kleinen abgeschirmten Umgebungen, sogenannte Sandboxes, geladen und dort für Auswertungen aufbereitet. Dabei liegt der Fokus auf das Erkennen von Zusammenhängen ohne konkrete Fragestellung. Es herrscht eine Schnelllebigkeit und Dynamik von heterogenen Daten, welche in einer Big Data Architektur Landschaft zur Verfügung gestellt wird.

Es haben damit sowohl Big Data Technologie als auch Data Warehouse Architekturen ihren Auswertungsfokus und damit ihre Daseinsberechtigung [295–298].

6.3.1 Erschließung von Zeitreihendaten

Der Patientenzustand wird über die Aufzeichnung der hämodynamischen Variablen in der Vitalkurve erfasst. Das Bestreben ist, den Patienten stabil zu halten, was bedeutet den Verlauf konstant auf einem entsprechenden Niveau zu halten und starke abrupte Schwankungen (Niveauänderungen) zu vermeiden. Nichtsdestotrotz gibt es Abschnitte/Etappen, in denen es zu Schwankungen - beispielsweise bei der Narkoseeinleitung - oder langsam wachsenden Trends - beispielsweise bei der nachlassenden Wirkung eines Medikaments – kommt.

Um den Verlauf der Vitalparameter zu beobachten und Trends frühzeitig zu erkennen und entsprechen zu warnen (Decision-Monitoring), können machine learning Algorithmen angewandt werden und prädiktive Modelle erstellt werden.

Dazu sind zunächst die Definition des Ausgangsmesswertes, sowie die Deklaration einer Veränderung notwendig. Durch Abstraktionen der Zeitreihendaten können Muster im Operationsverlauf identifiziert werden. Des Weiteren können beispielsweise neue Kenngrößen für die Blutdruckwerte, ähnlich des Hyperglykämischen Indexes evaluiert werden. Eine weitere Möglichkeit ist es die Vitalparameterkurven als Mathematische Funktionen bzw. Kurvendiskussion zu sehen und entsprechend mit Ableitungen, Integralen, Steigungen, Maximum und Minimum-Werten zu arbeiten und aus diesen Daten weitere Scores zu entwickeln. Ferner sind Auswertungen über Frequenz und Amplitude der Zeitreihe, sowie deren postoperativen Outcome denkbar.

Die Suche nach Mustern und Erstellung von Modellen zählt zum Forschungsgebiet Data Science. Primäre Herausforderung ist auch hier die Bereinigung der Daten von Ausreißern und die Extraktion rauschbehafteter Signale.

Mögliche Methoden zur Glättung von Zeitreihendaten sind klassische Glättungsverfahren, wie gleitende Mittelwerte (moving average) oder gleitende Mediane, welche Ausreißer (outliers) und Niveauänderungen (level shifts) in den Daten identifiziert und mit einem entsprechenden Filter glätten [299]. Allerdings verliert der Mediane Filter bei sich langsam entwickelnden Trendperioden an Robustheit, weswegen im anästhesiologischen Umfeld häufig robuste Regressionsverfahren (z.B. L1-

Regression, wiederholenden Median (repeated median) und Methode der kleinsten Quadrate (least median of squares)) Einsatz finden [299].

Ein ganz anderer Ansatz zur Analyse der Zeitreihendaten ist der Ansatz des Zustandsraum-Modells. Ein Beispiel hierfür ist der Kalman-Filter, welcher nicht auf linear stochastische Prozesse beschränkt ist.

6.3.2 Phenotyping

6.3.3 Natural Language Processing

Natural Language Processing befasst sich mit der computerbasierten Verarbeitung von natürlicher Sprache mithilfe von Regeln und Algorithmen [300]. Das Forschungsgebiet rund um Freitext-Analysen steckt in Deutschland im Vergleich zu Amerika, bedingt durch die Komplexität der Grammatik, noch in den Kinderschuhen. Ziel ist es Semantik aus der Syntax der Daten zu erlangen. Hierfür gibt es verschiedene Ansätze, wie beispielsweise Semantic Web.

7 References

1. Prokosch HU, Ganslandt T (2009) Perspectives for medical informatics. Reusing the electronic medical record for clinical research. *Methods of information in medicine* 48(1):38–44
2. Osswald PM (1987) Grundvorstellungen über die Datendokumentation während der Anaesthetie. *Der Anaesthesist* 36(2):47–54
3. Haux R (2006) Health information systems - past, present, future. *International journal of medical informatics* 75(3-4):268–281
4. Lenz R, Reichert M (2007) IT support for healthcare processes-premises, challenges, perspectives. *Data & Knowledge Engineering* 61(1):39–58
5. Haux R, Ammenwerth E, Herzog W, Knaup P (2002) Health care in the information society. A prognosis for the year 2013. *International journal of medical informatics* 66(1):3–21
6. Gunter TD, Terry NP (2005) The emergence of national electronic health record architectures in the United States and Australia: models, costs, and questions. *Journal of Medical Internet Research* 7(1):e3
7. Haas P (2005) *Medizinische Informationssysteme und elektronische Krankenakten*. Springer-Lehrbuch. Springer, Berlin [u.a.]
8. Kaplan B (1994) Reducing barriers to physician data entry for computer-based patient records. *Topics in health information management* 15(1):24–34
9. McDonald CJ, Tierney W, Blevins L (1989) The benefits of automated medical record systems for ambulatory care. In: *Implementing Health Care Information Systems*. Springer, pp 67–84
10. McDonald CJ, Overhage JM, Tierney WM, Dexter PR, Martin DK, Suico JG, Zafar A, Schadow G, Blevins L, Glazener T, others (1999) The Regenstrief medical record system: a quarter century experience. *International journal of medical informatics* 54(3):225–253
11. Beckmann MW, Sell C, Aydogdu M, Brucker SY, Fehm T, Janni W, Kreienberg R, Kümmel S, Neumann M, Scharl A, Schleicher B, Wallwiener D, Wöckel A, Fasching PA, Lux MP (2016) Dokumentationsaufwand und verbundene Ressourcen bei Patientinnen mit einem primären Mammakarzinom – von der Primärdiagnose bis zur Abschluss der Nachsorge – Ergebnisse der multizentrischen Erhebung. *Gesundheitswesen (Bundesverband der Ärzte des Öffentlichen Gesundheitsdienstes (Germany))* 78(7):e52
12. Safran C, Bloomrosen M, Hammond WE, Labkoff S, Markel-Fox S, Tang PC, Detmer DE, Expert Panel (2007) Toward a national framework for the secondary use of health data: an American Medical Informatics Association White Paper. *Journal of the American Medical Informatics Association: JAMIA* 14(1):1–9
13. Friedman CP, Wong AK, Blumenthal D (2010) Achieving a nationwide learning health system. *Science translational medicine* 2(57):57cm29
14. Powell J, Buchan I (2005) Electronic health records should support clinical research. *Journal of Medical Internet Research* 7(1)
15. Abernethy AP, Etheredge LM, Ganz PA, Wallace P, German RR, Neti C, Bach PB, Murphy SB (2010) Rapid-Learning System for Cancer Care. *Journal of Clinical Oncology* 28(27):4268–4274
16. Balas EA, Boren SA (2000) Managing clinical knowledge for health care improvement. *Yearbook of medical informatics* 2000(2000):65–70
17. Waegemann, C, P (1999) Current status of EPR developments in the US. *Toward an Electronic Health Record '99*, Medical Records Institute:116–118
18. Prokosch HU (2001) KAS, KIS, EKA, EPA, EGA, E-Health: Ein Plädoyer gegen die babylonische Begriffsverwirrung in der Medizinischen Informatik. *Informatik Biometrie und Epidemiologie in Medizin und Biologie* 32(4):371–382

19. Meyfroidt G, Güiza F, Ramon J, Bruynooghe M (2009) Machine learning techniques to examine large patient databases. *Best practice & research. Clinical anaesthesiology* 23(1):127–143
20. Naisbitt J (1982) *Megatrends: Ten new directions transforming our lives*. Warner Books, New York
21. Sunna Gieseke (2012) *Das digitale Zeitalter frisst Zeit und Geld: Patientendaten in Praxis und Klinik werden digitalisiert. Kritiker Patientendaten in Praxis und Klinik werden digitalisiert. Kritiker warnen: Das kostet viel Zeit und Geld. Befürworter feiern hingegen das digitale Zeitalter in der Medizin*. Accessed 1 September 2015
22. Bauer A, Günzel H (2008) *Data-Warehouse-Systeme: Architektur, Entwicklung, Anwendung*, 3rd edn. Dpunkt, Heidelberg, Neckar
23. Griffon N, Charlet J, Darmoni SJ (2013) Managing free text for secondary use of health data. *Yearbook of medical informatics* 9(1):167–169
24. Christoph J, Griebel L, Leb I, Engel I, Köpcke F, Toddenroth D, Prokosch H-U, Laufer J, Marquardt K, Sedlmayr M (2015) Secure Secondary Use of Clinical Data with Cloud-based NLP Services. Towards a Highly Scalable Research Infrastructure. *Methods of information in medicine* 54(3):276–282
25. Sahama TR, Croll PR (2007) A data warehouse architecture for clinical data warehousing. In: *Proceedings of the fifth Australasian symposium on ACSW frontiers*-Volume 68, pp 227–232
26. Ganslandt T, Kunzmann U, Diesch K, Pálffy P, Prokosch H-U (2005) Semantic challenges in database Federation: lessons learned. *Studies in health technology and informatics* 116:551–556
27. Prokosch H-U, Ries M, Beyer A, Schwenk M, Seggewies C, Köpcke F, Mate S, Martin M, Bärthlein B, Beckmann MW, Stürzl M, Croner R, Wullich B, Ganslandt T, Bürkle T (2011) IT infrastructure components to support clinical care and translational research projects in a comprehensive cancer center. *Studies in health technology and informatics* 169:892–896
28. Kadry B, Feaster WW, Macario A, Ehrenfeld JM (2012) Anesthesia information management systems: past, present, and future of anesthesia records. *The Mount Sinai journal of medicine, New York* 79(1):154–165
29. Pearse RM, Moreno RP, Bauer P, Pelosi P, Metnitz P, Spies C, Vallet B, Vincent J-L, Hoefft A, Rhodes A (2012) Mortality after surgery in Europe: a 7 day cohort study. *The Lancet* 380(9847):1059–1065
30. Köpcke F, Kraus S, Scholler A, Nau C, Schüttler J, Prokosch H-U, Ganslandt T (2013) Secondary use of routinely collected patient data in a clinical trial: an evaluation of the effects on patient recruitment and data acquisition. *International journal of medical informatics* 82(3):185–192
31. Hripcsak G, Albers DJ (2013) Next-generation phenotyping of electronic health records. *Journal of the American Medical Informatics Association* 20(1):117–121
32. Prys-Roberts C (1987) Anaesthesia: a practical or impractical construct? *British journal of anaesthesia* 59(11):1341–1345
33. Larsen R *Anästhesie und Intensivmedizin: Für Schwestern und Pfleger*, 4th edn.
34. Eger EI, Sonner JM (2006) Anaesthesia defined (gentlemen, this is no humbug). *Best practice & research. Clinical anaesthesiology* 20(1):23–29
35. Gerges FJ, Kanazi GE, Jabbour-Khoury SI (2006) Anesthesia for laparoscopy: a review. *Journal of Clinical Anesthesia* 18(1):67–78
36. Hein L, Tonner PH (2011) *Pharmakotherapie in der Anästhesie und Intensivmedizin: [Grundlagen und klinische Konzepte]*. Springer, Berlin [u.a.]
37. Wilhelm W (2008) Target-controlled infusion (TCI). *Anaesthesist* 57(3):221–222
38. Schraag S, Kreuer S, Bruhn J, Frenkel C, Albrecht S (2008) „Target controlled infusion“ (TCI) – ein Konzept mit Zukunft? *Anaesthesist* 57(3):223–230
39. Schrag S, Flaschar J, Georgieff M (2000) Target Controlled Infusion (TCI) - Stellenwert und klinische Perspektiven. *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 35(01):12–20

40. Rossaint R, Werner C, Zwißler B (eds) (2012) Die Anästhesiologie. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg
41. Billard V, Servin F (2008) Light or deep general anaesthesia: does it matter and how to assess it? *European journal of anaesthesiology* 25(10):781–783
42. Eger EI, Saidman LJ, Brandstater B (1965) Minimum alveolar anesthetic concentration: a standard of anesthetic potency. *Anesthesiology* 26(6):756–763
43. Davidson JA, Macleod AD, Howie JC, White M, Kenny GN (1993) Effective concentration 50 for propofol with and without 67% nitrous oxide. *Acta anaesthesiologica Scandinavica* 37(5):458–464
44. Johansen JW, Sebel PS (2000) Development and clinical application of electroencephalographic bispectrum monitoring. *Anesthesiology* 93(5):1336–1344
45. Rampil IJ (1998) A primer for EEG signal processing in anesthesia. *Anesthesiology* 89(4):980–1002
46. Drummond JC (2000) Monitoring depth of anesthesia: with emphasis on the application of the bispectral index and the middle latency auditory evoked response to the prevention of recall. *Anesthesiology* 93(3):876–882
47. Tempe DK (2001) In search of a reliable awareness monitor. *Anesthesia and analgesia* 92(4):801–804
48. Schwender D, Klasing S, Dauderer M, Madler C, Pöppel E, Peter K (1995) Wachzustände während Allgemeinanästhesie. Definition, Häufigkeit, klinische Relevanz, Ursachen, Vermeidung und medikolegale Aspekte (Awareness during general anesthesia. Definition, incidence, clinical relevance, causes, avoidance and medicolegal aspects). *Der Anaesthesist* 44(11):743–754
49. Sleight JW, Donovan J (1999) Comparison of bispectral index, 95% spectral edge frequency and approximate entropy of the EEG, with changes in heart rate variability during induction of general anaesthesia. *British journal of anaesthesia* 82(5):666–671
50. Doi M, Gajraj RJ, Mantzaridis H, Kenny GN (1997) Relationship between calculated blood concentration of propofol and electrophysiological variables during emergence from anaesthesia: comparison of bispectral index, spectral edge frequency, median frequency and auditory evoked potential index. *British journal of anaesthesia* 78(2):180–184
51. Rügheimer E, Dinkel M Neuromonitoring in Anästhesie und Intensivmedizin. *Klinische Anästhesiologie und Intensivtherapie*, vol 46
52. Royston D, Cox F (2003) Anaesthesia: the patient's point of view. *The Lancet* 362(9396):1648–1658
53. Apfel CC, Roewer N, Korttila K (2002) How to study postoperative nausea and vomiting. *Acta Anaesthesiol Scand* 46(8):921–928
54. Gan TJ (2002) Postoperative nausea and vomiting--can it be eliminated? *JAMA* 287(10):1233–1236
55. Macario A, Weinger M, Carney S, Kim A (1999) Which Clinical Anesthesia Outcomes Are Important to Avoid? The Perspective of Patients. *Anesthesia & Analgesia* 89(3):652
56. Toprak V, Keles GT, Kaygisiz Z, Tok D (2004) Subcutaneous emphysema following severe vomiting after emerging from general anesthesia. *Acta anaesthesiologica Scandinavica* 48(7):917–918
57. Baráth L, Viola M (2001) Subkutánny emfyzém ako následok pooperačného zvracania (Subcutaneous emphysema caused by postoperative vomiting). *Rozhledy v chirurgii : mesicnik Ceskoslovenske chirurgicke spolcnosti* 80(10):511–513
58. Schumann R, Polaner DM (1999) Massive subcutaneous emphysema and sudden airway compromise after postoperative vomiting. *Anesthesia and analgesia* 89(3):796–797
59. Kranke P, Eberhart L (eds) (2012) Übelkeit und Erbrechen in der perioperativen Phase (PONV): Risikoeinschätzung, Vermeidung und Therapie in der klinischen Praxis; mit 15 Tabellen, 1st edn. Dt. Ärzte-Verl., Köln

60. Lim H, Doo AR, Son J-S, Kim J-W, Lee K-J, Kim D-C, Ko S (2016) Effects of intraoperative single bolus fentanyl administration and remifentanyl infusion on postoperative nausea and vomiting. *Korean journal of anesthesiology* 69(1):51–56
61. Vance JP, Neill RS, Norris W (1973) The incidence and aetiology of post-operative nausea and vomiting in a plastic surgical unit. *British journal of plastic surgery* 26(4):336–339
62. Heck M, Fresenius M, Busch C (2010) *Repetitorium Anästhesiologie: Für die Facharztprüfung und das Europäische Diplom*, 6th edn. Springer, Berlin, New York
63. Habib AS, Chen Y-T, Taguchi A, Hu XH, Gan TJ (2006) Postoperative nausea and vomiting following inpatient surgeries in a teaching hospital: a retrospective database analysis. *Current medical research and opinion* 22(6):1093–1099
64. Andrews PL (1992) Physiology of nausea and vomiting. *British journal of anaesthesia* 69(7 Suppl 1):2S-19S
65. Hirsch J (1994) Impact of postoperative nausea and vomiting in the surgical setting. *Anaesthesia* 49 Suppl:30–33
66. Apfel CC, Korttila K, Abdalla M, Kerger H, Turan A, Vedder I, Zernak C, Danner K, Jokela R, Pocock SJ, Trenkler S, Kredel M, Biedler A, Sessler DI, Roewer N (2004) A factorial trial of six interventions for the prevention of postoperative nausea and vomiting. *The New England journal of medicine* 350(24):2441–2451
67. Apfel CC, Kranke P, Eberhart, L H J, Roos A, Roewer N (2002) Comparison of predictive models for postoperative nausea and vomiting. *British journal of anaesthesia* 88(2):234–240
68. Eberhart LH, Högel J, Seeling W, Staack AM, Geldner G, Georgieff M (2000) Evaluation of three risk scores to predict postoperative nausea and vomiting. *Acta anaesthesiologica Scandinavica* 44(4):480–488
69. Pierre S, Benais H, Pouymayou J (2002) Apfel's simplified score may favourably predict the risk of postoperative nausea and vomiting. *Can J Anesth/J Can Anesth* 49(3):237–242
70. Traeger M, Eberhart A, Geldner G, Morin AM, Putzke C, Wulf H, Eberhart, L H J (2003) Vorhersage von Übelkeit und Erbrechen in der postoperativen Phase durch ein künstliches neuronales Netz (Prediction of postoperative nausea and vomiting using an artificial neural network). *Der Anaesthesist* 52(12):1132–1138
71. Awad K, Ahmed H, Abushouk AI, Al Nahrawi S, Elsherbeny MY, Mustafa SM, Attia A (2016) Dexamethasone combined with other antiemetics versus single antiemetics for prevention of postoperative nausea and vomiting after laparoscopic cholecystectomy: An updated systematic review and meta-analysis. *International journal of surgery (London, England)*
72. Shaikh SI, Nagarekha D, Hegade G, Marutheesh M (2016) Postoperative nausea and vomiting: A simple yet complex problem. *Anesthesia, essays and researches* 10(3):388–396
73. Gocke P, Baehr M (2011) *IT im Krankenhaus: Von der Theorie in die Umsetzung*. MWV, Med.-Wiss. Verlag-Ges
74. Muksch H, Behme W (2000) *Das Data-warehouse-Konzept: Architektur - Datenmodelle - Anwendungen mit Erfahrungsberichten*, 4th edn. Gabler, Wiesbaden
75. Dorda W, Gall W, Duftschmid G (2002) Clinical data retrieval: 25 years of temporal query management at the University of Vienna Medical School. *Methods of information in medicine* 41(2):89–97
76. Parmar V (2006) Role of information management system and automated record in anaesthesia. *Indian Journal of Anaesthesia* 50(2):99
77. Petty CP (1984) A task-oriented anesthesia record. *J Amer Assoc of Nurse Anes* 52:51–54
78. Gravenstein JS (1991) The automated anesthesia record. *Anaesthesiologie und Reanimation* 16(1):23–30
79. Fisher JA, Bromberg IL, Eisen LB (1994) On the design of anaesthesia record forms. *Canadian journal of anaesthesia = Journal canadien d'anesthésie* 41(10):973–983

80. Blumenthal D (1997) The Future of Quality Measurement and Management in a Transforming Health Care System. *JAMA* 278(19):1622
81. Kimberly JR (1997) Assessing "quality" in health care: issues in measurement and management. *International journal for quality in health care : journal of the International Society for Quality in Health Care / ISQua* 9(3):161–162
82. Shepard A (1977) An anesthesiologist's view of the anesthesia chart. *AANA journal* 45(3):304–305
83. Gore GF (1976) As a lawyer views your chart. *AANA journal* 44(6):590–597
84. Birnbaum J, Spies CD (2013) SOPs in Anästhesiologie und Schmerztherapie: Alle relevanten Standards und Techniken für die Klinik. Thieme, Stuttgart [u.a.]
85. Landauer B (2000) Medikolegale Aspekte der Anästhesie-Schwerpunkte der neueren Rechtsprechung. In: *Refresher Course Aktuelles Wissen für Anästhesisten*. Springer, pp 119–129
86. Zollinger RM, Kreul JF, Schneider AJ (1977) Man-made versus computer-generated anesthesia records. *The Journal of surgical research* 22(4):419–424
87. Ahnefeld FW, Osswald PM, Weiß C (1993) Empfehlungen der DGAI zur Qualitätssicherung: Kerndatensatz Anästhesie. *Anästh Intensivmed* 34:330–335
88. Heinrichs W, Blumrich W, Deil S, Freitag M, Kutz N, Lüdtke I, Röhrig R, Streuf R (2010) Kerndatensatz Anästhesie Version 3.0/2010. *Anästh Intensivmed* 51:S33-S55
89. Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin, others (1999) Runder Tisch Qualitätssicherung in der Anästhesie von DGAI und BDA. Modifikation des Kerndatensatzes Anästhesie und Kerndatensatz Anästhesie-Version 2.0. *Anasth Intensivmed* 40:649–658
90. Schwarz-Schilling G (1996) Dokumentation als ärztliche Haftungsprophylaxe. na
91. Weil G, Motamed C, Eghiaian A, Guye ML, Bourgain JL (2015) The use of a clinical database in an anesthesia unit: focus on its limits. *Journal of clinical monitoring and computing* 29(1):163–167
92. Castellanos I, Ganslandt T, Prokosch HU, Schüttler J, Bürkle T (2013) Einführung eines Patientendatenmanagementsystems. *Anaesthesist* 62(11):887–897
93. Prokosch HU (1995) Hospital information systems: a pragmatic definition. *Hospital Information Systems: Design and Development Characteristics. Impact and Future Architecture*:221–239
94. Goethe, Johann Wolfgang von, Muschg A (1982) *Wilhelm Meisters Wanderjahre, oder, Die Entsagenden*, 1st edn. Insel Taschenbuch, vol 575. Insel, Frankfurt am Main
95. Pommerening K, Reng M (2004) Secondary use of the EHR via pseudonymisation. *Studies in health technology and informatics* 103:441–446
96. Dugas M, Breil B, Thiemann V, Lechtenböcker J, Vossen G (2009) Single source information systems to connect patient care and clinical research. *Studies in health technology and informatics* 150:61–65
97. Botsis T, Hartvigsen G, Chen F, Weng C (2010) Secondary Use of EHR: Data Quality Issues and Informatics Opportunities. *AMIA Joint Summits on Translational Science proceedings AMIA Summit on Translational Science 2010*:1–5
98. Danciu I, Cowan JD, Basford M, Wang X, Saip A, Osgood S, Shirey-Rice J, Kirby J, Harris PA (2014) Secondary use of clinical data: the Vanderbilt approach. *Journal of biomedical informatics* 52:28–35
99. Herzberg S, Dugas M (2011) Single source information systems can improve data completeness in clinical studies: an example from nuclear medicine. *Studies in health technology and informatics* 169:872–876
100. Kush R, Alschuler L, Ruggeri R, Cassells S, Gupta N, Bain L, Claise K, Shah M, Nahm M (2007) Implementing Single Source: the STARBRITE proof-of-concept study. *Journal of the American Medical Informatics Association : JAMIA* 14(5):662–673

101. Dugas M, Lange M, Müller-Tidow C, Kirchhof P, Prokosch H-U (2010) Routine data from hospital information systems can support patient recruitment for clinical studies. *Clinical trials* (London, England) 7(2):183–189
102. Christoph J, Griebel L, Leb I, Engel I, Köpcke F, Toddenroth D, Prokosch H-U, Laufer J, Marquardt K, Sedlmayr M, others (2014) Secure Secondary Use of Clinical Data with Cloud-based NLP Services. *Methods Inf Med* 53
103. Lyman JA, Scully K, Harrison JH (2008) The development of health care data warehouses to support data mining. *Clinics in Laboratory Medicine* 28(1):55–71
104. Gluchowski P, Gabriel R, Chamoni P (1997) *Management Support Systeme: Computergestützte Informationssysteme für Führungskräfte u. Entscheidungsträger*. Springer, Berlin, Heidelberg [u.a.]
105. Kemper H-G, Unger C, Mehanna W (2006) *Business intelligence - Grundlagen und praktische Anwendungen: Eine Einführung in die IT-basierte Managementunterstützung*, 2nd edn. Vieweg, Wiesbaden
106. Kimball R, Ross M (2011) *The data warehouse toolkit: the complete guide to dimensional modeling*. John Wiley & Sons
107. Kimball R, Caserta J (2004) *The data warehouse ETL toolkit: Practical techniques for extracting, cleaning, conforming, and delivering data*. Wiley, Indianapolis, IN
108. Inmon WH (2010) *building the data warehouse*, 4th edn. Wiley-India, New Delhi
109. Kimball R, Ross M (2002) *The data warehouse toolkit: The complete guide to dimensional modeling*, 2nd edn. Wiley, New York
110. Goeken M (2006) *Entwicklung von Data-Warehouse-Systemen: Anforderungsmanagement, Modellierung, Implementierung*, 1st edn. DUV Wirtschaftsinformatik. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden
111. Röger M (2010) *Konzeption und realisierung eines data warehouses zue analyse chirurgischer workflows*. Diplomica Verlag, Hamburg
112. Omelchenko A (2008) *Hierarchische physische Data-Cube-Strukturen in einem mobilen Data-Warehouse*. Diplomica Verlag, Hamburg
113. Totok A (2000) *Modellierung von OLAP- und Data-Warehouse-Systemen*. Gabler Edition Wissenschaft. Dt. Univ.-Verl. [u.a.], Wiesbaden
114. Kemper A, Eickler A (2006) *Datenbanksysteme: Eine Einführung*, 6th edn. Oldenbourg, München [u.a.]
115. Murphy SN, Weber G, Mendis M, Gainer V, Chueh HC, Churchill S, Kohane I (2010) Serving the enterprise and beyond with informatics for integrating biology and the bedside (i2b2). *Journal of the American Medical Informatics Association : JAMIA* 17(2):124–130
116. Natter MD, Quan J, Ortiz DM, Bousvaros A, Ilowite NT, Inman CJ, Marsolo K, McMurry AJ, Sandborg CI, Schanberg LE, Wallace CA, Warren RW, Weber GM, Mandl KD (2013) An i2b2-based, generalizable, open source, self-scaling chronic disease registry. *Journal of the American Medical Informatics Association* 20(1):172–179
117. Mate S (2009) *Evaluation von i2b2 am Universitätsklinikum Erlangen*. In: Seminar paper, University of Erlangen-Nuremberg
118. Conway M, Berg RL, Carrell D, Denny JC, Kho AN, Kullo IJ, Linneman JG, Pacheco JA, Peissig P, Rasmussen L, Weston N, Chute CG, Pathak J (2011) Analyzing the heterogeneity and complexity of Electronic Health Record oriented phenotyping algorithms. *AMIA ... Annual Symposium proceedings / AMIA Symposium*. AMIA Symposium 2011:274–283
119. Richesson RL, Rusincovitch SA, Wixted D, Batch BC, Feinglos MN, Miranda ML, Hammond WE, Califf RM, Spratt SE (2013) A comparison of phenotype definitions for diabetes mellitus. *J Am Med Inform Assoc* 20(e2):e319-e326

120. Shivade C, Raghavan P, Fosler-Lussier E, Embi PJ, Elhadad N, Johnson SB, Lai AM (2014) A review of approaches to identifying patient phenotype cohorts using electronic health records. *Journal of the American Medical Informatics Association : JAMIA* 21(2):221–230
121. Shearer C (2000) The CRISP-DM model: the new blueprint for data mining. *Journal of data warehousing* 5(4):13–22
122. Rupp C (2004) *Requirements-Engineering und -Management: Professionelle, iterative Anforderungsanalyse für die Praxis*, 3rd edn. Hanser, München, Wien
123. Rehm M, Peter K (2004) Passen wirtschaftliches und ärztliches Handeln zusammen? *Anaesthesist* 53(7)
124. Ulsenheimer K (2004) ökonomische Zwänge und anesthesiologische Standards. *Anaesthesist* 53(7)
125. Cios KJ, Pedrycz W, Swiniarski RW (1998) *Data Mining Methods for Knowledge Discovery*. The Springer International Series in Engineering and Computer Science, vol 458. Springer US, Boston, MA
126. Apel D, Behme W, Eberlein R, Merighi C (2010) *Datenqualität erfolgreich steuern: Praxislösungen für Business-Intelligence-Projekte*, 2nd edn. Hanser, München, Wien
127. Maur E von, Winter R (eds) (2003) *Data Warehouse Management: Das St. Galler Konzept zur ganzheitlichen Gestaltung der Informationslogistik*. Business Engineering. Springer, Heidelberg
128. Hinrichs H (2001) Datenqualitätsmanagement in Data Warehouse-Umgebungen. In: Heuer A; Leymann F; Priebe D (eds) *Datenbanksysteme in Büro, Technik und Wissenschaft*. 9. GI-Fachtagung Oldenburg, 7.-9. März 2001. Informatik aktuell. Springer, Berlin, Heidelberg, pp 187–206
129. Bauer M, Diemer M, Ansorg J, Schleppers A, Bauer K, Bomplitz M, Tsekos E, Hanss R, Schuster M (2008) Glossar perioperativer Prozesszeiten und Kennzahlen-Eine gemeinsame Empfehlung von DGAI, BDA, BDC und VOPM. *Anaesthesiol Intensivmed* 49:93-S105
130. Nadkarni PM, Marenco L, Chen R, Skoufos E, Shepherd G, Miller P (1999) Organization of Heterogeneous Scientific Data Using the EAV/CR Representation. *Journal of the American Medical Informatics Association* 6(6):478–493
131. Prokosch HU (1991) Datenmodellierung und Datenbankdesign für relationale medizinische Datenbanken. *Software Kurier* 4:39–45
132. Nadkarni PM, Brandt C, Frawley S, Sayward FG, Einbinder R, Zeltermann D, Schacter L, Miller PL (1998) Managing attribute-value clinical trials data using the ACT/DB client-server database system. *Journal of the American Medical Informatics Association* 5(2):139–151
133. Ganslandt T, Krieglstein CF, Müller ML, Senninger N, Prokosch HU (2000) Elektronische Dokumentation in der Medizin: Flexible Konzepte versus Einzellösungen. *Zentralbl Gynakol* 122(8):445–452
134. Nadkarni PM, Brandt C (1998) Data extraction and ad hoc query of an entity-attribute-value database. *Journal of the American Medical Informatics Association : JAMIA* 5(6):511–527
135. Nadkarni PM (2000) Clinical patient record systems architecture: an overview. *Journal of postgraduate medicine* 46(3):199–204
136. Abenstein JP, De Vos, C B, Abel MD, Tarhan S (1992) Eight year's experience with automated anesthesia record keeping: lessons learned--new directions taken. *International journal of clinical monitoring and computing* 9(2):117–129
137. Fuchs C, Quinzio L, Benson M, Michel A, Röhrig R, Quinzio B, Hempelmann G (2006) Integration of a handheld based anaesthesia rounding system into an anaesthesia information management system. *International journal of medical informatics* 75(7):553–563
138. Benson M, Junger A, Quinzio L, Michel A, Sciuk G, Fuchs C, Marquardt K, Hempelmann G (2000) Data processing at the anesthesia workstation: from data entry to data presentation. *Methods of information in medicine* 39(4-5):319–324

139. Benson M, Junger A, Quinzio L, Michel A, Sciuk G, Böttger S, Marquardt K, Hempelmann G (2000) Einsatz eines Anästhesie-Informationen-Management-Systems (AIMS) in einer Operativen Tagesklinik. *Der Anaesthesist* 49(9):810–815
140. Wanderer JP, Rao AV, Rothwell SH, Ehrenfeld JM (2012) Comparing two anesthesia information management system user interfaces: a usability evaluation. *Canadian journal of anaesthesia = Journal canadien d'anesthésie* 59(11):1023–1031
141. Epstein RH, Vigoda MM, Feinstein DM (2007) Anesthesia information management systems: a survey of current implementation policies and practices. *Anesthesia and analgesia* 105(2):405–411
142. Halbeis ECB., Epstein RH, Macario A, Pearl RG, Grunwald Z (2008) Adoption of Anesthesia Information Management Systems by Academic Departments in the United States. *Anesthesia & Analgesia* 107(4):1323–1329
143. Eichhorn JH (1993) Anesthesia record keeping. *International journal of clinical monitoring and computing* 10(2):109–115
144. Notley SV, Bell SL, Smith DC (2010) Auditory evoked potentials for monitoring during anaesthesia: a study of data quality. *Medical engineering & physics* 32(2):168–173
145. Balust J, Macario A (2009) Can anesthesia information management systems improve quality in the surgical suite? *Current opinion in anaesthesiology* 22(2):215–222
146. Gibby GL (1997) Anesthesia information-management systems: their role in risk-versus cost assessment and outcomes research. *Journal of cardiothoracic and vascular anesthesia* 11(2 Suppl 1):2–5
147. Feldman JM (2004) Medicolegal aspects of Anesthesia Information Management Systems. *Seminars in Anesthesia, Perioperative Medicine and Pain* 23(2):86–92
148. Duygulu OÜ, Gündem, TI (2013) A temporal XML data model in anaesthesia information systems. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences* 21(1):274–299
149. Shahar Y (1999) Timing Is Everything: Temporal Reasoning and Temporal Data Maintenance in Medicine. In: Goos G; Hartmanis J; van Leeuwen J; Horn W; Shahar Y; Lindberg G; Andreassen S; Wyatt J (eds) *Artificial Intelligence in Medicine*, vol 1620. *Lecture Notes in Computer Science*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp 30–46
150. Deng F, Hickey JV (2015) Anesthesia Information Management Systems: An Underutilized Tool for Outcomes Research. *AANA journal* 83(3):189–195
151. Marcantonio ER, Goldman L, Orav EJ, Cook EF, Lee TH (1998) The association of intraoperative factors with the development of postoperative delirium. *The American journal of medicine* 105(5):380–384
152. Chase CR, Merz BA, Mazuzan JE (1983) Computer assisted patient evaluation (CAPE): a multi-purpose computer system for an anesthesia service. *Anesthesia and analgesia* 62(2):198–206
153. Benson M, Junger A, Quinzio L, Jost A, Hempelmann G (1999) Statistiken und Auswertungen mit einer grafischen SQL-Oberfläche im Rahmen eines Anästhesie-informations-Management-Systems (AIMS). *AINS. Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin, Schmerztherapie* 34(1):24–32
154. Kohn LT, Corrigan JM, Donaldson MS (2000) *To err is human: building a safer health care system*. Washington, DC: National Academy Press
155. Cooper JB, Gaba D (2002) No myth: anesthesia is a model for addressing patient safety. *Anesthesiology* 97(6):1335–1337
156. Beecher HK, Todd DP (2007) A study of deaths associated with anesthesia and surgery. 1954. *International anesthesiology clinics* 45(4):1–6
157. Chopra V, Bovill JG, Spierdijk J (1990) Accidents, near accidents and complications during anaesthesia. A retrospective analysis of a 10-year period in a teaching hospital. *Anaesthesia* 45(1):3–6

158. Gravenstein JS (2000) How does human error affect safety in anesthesia? *Surgical oncology clinics of North America* 9(1):81-95, vii
159. McKenzie AG (1996) Mortality associated with anaesthesia at Zimbabwean teaching hospitals. *South African medical journal = Suid-Afrikaanse tydskrif vir geneeskunde* 86(4):338-342
160. Lagasse RS (2002) Anesthesia safety: model or myth? A review of the published literature and analysis of current original data. *Anesthesiology* 97(6):1609-1617
161. Abeysekera A, Bergman IJ, Kluger MT, Short TG (2005) Drug error in anaesthetic practice: a review of 896 reports from the Australian Incident Monitoring Study database. *Anaesthesia* 60(3):220-227
162. Botney R (2008) Improving patient safety in anesthesia: a success story? *International journal of radiation oncology, biology, physics* 71(1 Suppl):182-6
163. Mukherjee K, Seavell C, Rawlings E, Weiss A (2003) A comparison of total intravenous with balanced anaesthesia for middle ear surgery: effects on postoperative nausea and vomiting, pain, and conditions of surgery. *Anaesthesia* 58(2):176-180
164. Vicent O, Hübler M, Kirschner S, Koch T (2007) Stellenwert von Regional- und Allgemeinanästhesie in der Orthopädie (The value of regional and general anaesthesia in orthopaedic surgery). *Der Orthopäde* 36(6):529-536
165. Kehlet H, Holte K (2002) Epidural anaesthesia and analgesia in major surgery. *Lancet (London, England)* 360(9332):568-9; author reply 569
166. Juckenhöfel S, Feisel C, Schmitt HJ, Biedler A (1999) TIVA mit Propofol/Remifentanyl oder balancierte Anästhesie mit Sevofluran/Fentanyl bei laparoskopischen Operationen. *Anaesthesist* 48(11):807-812
167. Dexter F, Bayman EO, Epstein RH (2010) Statistical modeling of average and variability of time to extubation for meta-analysis comparing desflurane to sevoflurane. *Anesthesia and analgesia* 110(2):570-580
168. Casati A, Torri G (2004) Cardiovascular stability during inhalational anaesthesia in morbidly obese patients: which is better, sevoflurane or desflurane? *British journal of anaesthesia* 93(1):153-4; author reply 154-5
169. Alayurt S, Memis D, Pamukcu Z (2004) The addition of sufentanil, tramadol or clonidine to lignocaine for intravenous regional anaesthesia. *Anaesthesia and intensive care* 32(1):22-27
170. Dundee JW (1980) Application of recent pharmacological research to the clinical practice of anaesthesia. *Journal of the Royal Society of Medicine* 73(10):695-697
171. Hocking G, Hennessy B, Weightman W, Gibbs NM (2008) Awareness and anaesthesia. *British journal of anaesthesia* 101(5):740; author reply 740-1
172. Schuster M, Kotjan T, Fiege M, Goetz AE (2008) Influence of resident training on anaesthesia induction times. *British journal of anaesthesia* 101(5):640-647
173. Breckenridge JL, Aitkenhead AR (1983) Awareness during anaesthesia: a review. *Annals of the Royal College of Surgeons of England* 65(2):93-96
174. Khetarpal S, Martin L, Shanks AM, Tremper KK (2009) Prediction and outcomes of impossible mask ventilation: a review of 50,000 anesthetics. *Anesthesiology* 110(4):891-897
175. Bolton J, Russell WJ (2001) Are nasal spectacles adequate for supplementary oxygen in patients after anaesthesia? *International journal of nursing practice* 7(5):329-335
176. Bachman L, Eger EI, Waud BE, Waud DR (1971) MAC and dose-response curves. *Anesthesiology* 34(2):201-204
177. Stomberg MW, Sjöström B, Haljamäe H (2001) Routine intra-operative assessment of pain and/or depth of anaesthesia by nurse anaesthetists in clinical practice. *Journal of clinical nursing* 10(4):429-436
178. Stonell C (2001) Close loop anaesthesia using bispectral index. *Anaesthesia* 56(3):287-288

179. Rehberg B, Ryll C, Hadzidiakos D, Baars J (2007) Use of a target-controlled infusion system for propofol does not improve subjective assessment of anaesthetic depth by inexperienced anaesthesiologists. *European journal of anaesthesiology* 24(11):920–926
180. Salazar D, Hazel A, Tauchen AJ, Sears BW, Marra G (2016) Neurocognitive Deficits and Cerebral Desaturation During Shoulder Arthroscopy With Patient in Beach-Chair Position: A Review of the Current Literature. *American journal of orthopedics (Belle Mead, N.J.)* 45(3):E63-8
181. Bijker JB, van Klei, Wilton A, Vergouwe Y, Eleveld DJ, van Wolfswinkel L, Moons, Karel G M, Kalkman CJ (2009) Intraoperative hypotension and 1-year mortality after noncardiac surgery. *Anesthesiology* 111(6):1217–1226
182. Reich DL, Hossain S, Krol M, Baez B, Patel P, Bernstein A, Bodian CA (2005) Predictors of hypotension after induction of general anesthesia. *Anesthesia and analgesia* 101(3):622-8
183. Reich DL, Wood RK, Emre S, Bodian CA, Hossain S, Krol M, Feerman D (2003) Association of intraoperative hypotension and pulmonary hypertension with adverse outcomes after orthotopic liver transplantation. *Journal of cardiothoracic and vascular anesthesia* 17(6):699–702
184. Wesselink EM, Kappen TH, van Klei, W A, Dieleman JM, van Dijk D, Slooter, A J C (2015) Intraoperative hypotension and delirium after on-pump cardiac surgery. *British journal of anaesthesia* 115(3):427–433
185. Cheung CC, Martyn A, Campbell N, Frost S, Gilbert K, Michota F, Seal D, Ghali W, Khan NA (2015) Predictors of intraoperative hypotension and bradycardia. *The American journal of medicine* 128(5):532–538
186. Lesser JB, Sanborn KV, Valskys R, Kuroda M (2003) Severe bradycardia during spinal and epidural anesthesia recorded by an anesthesia information management system. *Anesthesiology* 99(4):859–866
187. Röhrig R, Junger A, Hartmann B, Klasen J, Quinzio L, Jost A, Benson M, Hempelmann G (2004) The incidence and prediction of automatically detected intraoperative cardiovascular events in noncardiac surgery. *Anesthesia and analgesia* 98(3):569-77
188. Kertai MD, White WD, Gan TJ (2014) Cumulative duration of "triple low" state of low blood pressure, low bispectral index, and low minimum alveolar concentration of volatile anesthesia is not associated with increased mortality. *Anesthesiology* 121(1):18–28
189. Myles PS (2014) Untangling the triple low: causal inference in anesthesia research. *Anesthesiology* 121(1):1–3
190. Sessler DI, Sigl JC, Kelley SD, Chamoun NG, Manberg PJ, Saager L, Kurz A, Greenwald S (2012) Hospital stay and mortality are increased in patients having a "triple low" of low blood pressure, low bispectral index, and low minimum alveolar concentration of volatile anesthesia. *Anesthesiology* 116(6):1195–1203
191. Warden JC, Holland R (1995) Anaesthesia mortality. *Anaesthesia and intensive care* 23(2):255–256
192. Higham H, Mishra P, Foëx P (2001) Reduction of postoperative mortality and morbidity. Research into modern anaesthesia techniques and perioperative medicine is needed. *BMJ (Clinical research ed.)* 322(7295):1182–1183
193. Kheterpal S, Woodrum DT, Tremper KK (2009) Too much of a good thing is wonderful: observational data for perioperative research. *Anesthesiology* 111(6):1183–1184
194. Braz LG, Braz DG, Cruz, Deyvid Santos da, Fernandes LA, Módolo, Norma Sueli Pinheiro, Braz, José Reinaldo Cerqueira (2009) Mortality in anesthesia: a systematic review. *Clinics (São Paulo, Brazil)* 64(10):999–1006
195. Cheney FW, Posner KL, Lee LA, Caplan RA, Domino KB (2006) Trends in anesthesia-related death and brain damage: A closed claims analysis. *Anesthesiology* 105(6):1081–1086
196. Macintosh RR (1949) Deaths under anaesthetics. *British journal of anaesthesia* 21(3):107–136

197. Riediger H, Krueger CM, Makowiec F, Adam U (2016) Einfluss des Lebensalters und der Begleiterkrankungen auf die perioperative Mortalität nach 250 Pankreaskopfresektionen (Impact of Age and Comorbidity on Perioperative Mortality after 250 Pancreatic Head Resections). *Zentralblatt für Chirurgie*
198. Sinn M, Bahra M, Denecke T, Travis S, Pelzer U, Riess H (2016) Perioperative treatment options in resectable pancreatic cancer - how to improve long-term survival. *World journal of gastrointestinal oncology* 8(3):248–257
199. Beecher HK, Todd DP (1954) A study of the deaths associated with anesthesia and surgery: based on a study of 599, 548 anesthetics in ten institutions 1948-1952, inclusive. *Annals of surgery* 140(1):2–35
200. Calder I (1995) Predicting outcome in anaesthesia. *Anaesthesia and intensive care* 23(1):125–126
201. Myles PS, Williams NJ, Powell J (1994) Predicting outcome in anaesthesia: understanding statistical methods. *Anaesthesia and intensive care* 22(4):447–453
202. Sticher J, Junger A, Hartmann B, Benson M, Jost A, Golinski M, Scholz S, Hempelmann G (2002) Computerize anesthesia record keeping in thoracic surgery--suitability of electronic anesthesia records in evaluating predictors for hypoxemia during one-lung ventilation. *Journal of clinical monitoring and computing* 17(6):335–343
203. Brenck F, Hartmann B, Katzer C, Obaid R, Brüggmann D, Benson M, Röhrig R, Junger A (2009) Hypotension after spinal anesthesia for cesarean section: identification of risk factors using an anesthesia information management system. *Journal of clinical monitoring and computing* 23(2):85–92
204. Hartmann B, Junger A, Klasen J, Benson M, Jost A, Banzhaf A, Hempelmann G (2002) The incidence and risk factors for hypotension after spinal anesthesia induction: an analysis with automated data collection. *Anesthesia and analgesia* 94(6):1521-9
205. Mashour GA, Stallmer ML, Kheterpal S, Shanks A (2008) Predictors of difficult intubation in patients with cervical spine limitations. *Journal of neurosurgical anesthesiology* 20(2):110–115
206. Horosz B, Nawrocka K, Malec-Milewska M (2016) Anaesthetic perioperative management according to the ERAS protocol. *Anaesthesiology intensive therapy* 48(1):49–54
207. Hopkins JC, Howes N, Chalmers K, Savovic J, Whale K, Coulman KD, Welbourn R, Whistance RN, Andrews RC, Byrne JP, Mahon D, Blazeby JM (2015) Outcome reporting in bariatric surgery: an in-depth analysis to inform the development of a core outcome set, the BARIACT Study. *Obesity reviews : an official journal of the International Association for the Study of Obesity* 16(1):88–106
208. Jammer I, Wickboldt N, Sander M, Smith A, Schultz MJ, Pelosi P, Leva B, Rhodes A, Hoeft A, Walder B, Chew MS, Pearse RM (2015) Standards for definitions and use of outcome measures for clinical effectiveness research in perioperative medicine: European Perioperative Clinical Outcome (EPCO) definitions: a statement from the ESA-ESICM joint taskforce on perioperative outcome measures. *European journal of anaesthesiology* 32(2):88–105
209. Boldt J, Maleck W (2001) Stellenwert der klinischen Forschung in Deutschland - Verteilung experimenteller versus klinischer Studien aus deutschen anaesthesiologischen Universitäts-Abteilungen (The standing of clinical research in Germany - distribution of experimental versus clinical research in anaesthesia). *Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin, Schmerztherapie : AINS* 36(12):749–753
210. Shaw AJ, Meechan JG, Kilpatrick NM, Welbury RR (1996) The use of inhalation sedation and local anaesthesia instead of general anaesthesia for extractions and minor oral surgery in children: a prospective study. *International journal of paediatric dentistry / the British Paedodontic Society [and] the International Association of Dentistry for Children* 6(1):7–11

211. Kheterpal S, Tremper KK, Heung M, Rosenberg AL, Englesbe M, Shanks AM, Campbell DA (2009) Development and validation of an acute kidney injury risk index for patients undergoing general surgery: results from a national data set. *Anesthesiology* 110(3):505–515
212. Jost A, Junger A, Zickmann B, Hartmann B, Banzhaf A, Quinzio L, Müller M, Wagner RM, Hempelmann G (2003) Potential benefits of Anaesthesia Information Management Systems for multicentre data evaluation: risk calculation of inotropic support in patients undergoing cardiac surgery. *Medical informatics and the Internet in medicine* 28(1):7–19
213. von Ungern-Sternberg, B S, Regli A, Reber A, Schneider MC (2005) Comparison of perioperative spirometric data following spinal or general anaesthesia in normal-weight and overweight gynaecological patients. *Acta anaesthesiologica Scandinavica* 49(7):940–948
214. Wolters U, Wolf T, Stützer H, Schröder T (1996) ASA classification and perioperative variables as predictors of postoperative outcome. *British journal of anaesthesia* 77(2):217–222
215. Koivuranta M, Läärä E, Snåre L, Alahuhta S (1997) A survey of postoperative nausea and vomiting. *Anaesthesia* 52(5):443–449
216. Kerger H (2013) Prophylaxis of intra- and postoperative nausea and vomiting in patients during cesarean section in spinal anesthesia. *Med Sci Monit* 19:993–1000
217. Griffiths JD, Gyte GML, Paranjothy S, Brown HC, Broughton HK, Thomas J (1996) Interventions for preventing nausea and vomiting in women undergoing regional anaesthesia for caesarean section. In: *Cochrane Database of Systematic Reviews*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK
218. Apfel CC, Läärä E, Koivuranta M, Greim CA, Roewer N (1999) A simplified risk score for predicting postoperative nausea and vomiting: conclusions from cross-validations between two centers. *Anesthesiology* 91(3):693–700
219. Walsh M, Devereaux PJ, Garg AX, Kurz A, Turan A, Rodseth RN, Cywinski J, Thabane L, Sessler DI (2013) Relationship between Intraoperative Mean Arterial Pressure and Clinical Outcomes after Noncardiac Surgery. *Anesthesiology* 119(3):507–515
220. Hirsch J, DePalma G, Tsai TT, Sands LP, Leung JM, Absalom AR (2015) Impact of intraoperative hypotension and blood pressure fluctuations on early postoperative delirium after non-cardiac surgery. *Br. J. Anaesth.* 115(3):418–426
221. Reich DL, Wood RK, Mattar R, Krol M, Adams DC, Hossain S, Bodian CA (2000) Arterial Blood Pressure and Heart Rate Discrepancies Between Handwritten and Computerized Anesthesia Records. *Anesthesia & Analgesia* 91(3):612–616
222. Maile MD, Patel RA, Blum JM, Tremper KK (2011) A case of malignant hyperthermia captured by an anesthesia information management system. *Journal of clinical monitoring and computing* 25(2):109–111
223. Newman MF, Kramer D, Croughwell ND, Sanderson I, Blumenthal JA, White WD, Smith LR, Towner EA, Reves JG (1995) Differential age effects of mean arterial pressure and rewarming on cognitive dysfunction after cardiac surgery. *Anesthesia and analgesia* 81(2):236–242
224. Story DA, Shelton AC, Poustie SJ, Colin-Thome NJ, McIntyre RE, McNicol PL (2006) Effect of an anaesthesia department led critical care outreach and acute pain service on postoperative serious adverse events. *Anaesthesia* 61(1):24–28
225. Kehlet H, Dahl JB (2003) Anaesthesia, surgery, and challenges in postoperative recovery. *Lancet (London, England)* 362(9399):1921–1928
226. Myles PS, Reeves MD, Anderson H, Weeks AM (2000) Measurement of quality of recovery in 5672 patients after anaesthesia and surgery. *Anaesthesia and intensive care* 28(3):276–280
227. Junger A, Benson M, Quinzio L, Jost A, Veit C, Klöss T, Hempelmann G (1999) Qualitätsdokumentation mit einem Anästhesie-Informationen-Management-System (AIMS). *Anaesthesist* 48(8):523–532
228. Xindong Wu, Xingquan Zhu, Gong-Qing Wu, Wei Ding (2014) Data mining with big data. *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.* 26(1):97–107

229. Mazzocchi F (2015) Could Big Data be the end of theory in science?: A few remarks on the epistemology of data-driven science. *EMBO reports* 16(10):1250–1255
230. Rajaraman A, Ullman JD (2012) *Mining of massive datasets*. Cambridge University Press, New York, N.Y, Cambridge
231. Anahory S, Murray D (1997) *Data warehousing in the real world: A practical guide for building decision support systems*. Addison-Wesley, Harlow, England, Reading, Mass
232. Cios KJ (2007) *Data mining: A knowledge discovery approach*. Springer, New York, New York
233. Friedman C, Hripcsak G, Johnson SB, Cimino JJ, Clayton PD (1990) A generalized relational schema for an integrated clinical patient database. In: *Proceedings of the Annual Symposium on Computer Application in Medical Care*, 335
234. Blumenstein BA (1989) The relational database model and multiple multicenter clinical trials. *Controlled clinical trials* 10(4):386–406
235. Codd EF (1998) A relational model of data for large shared data banks. 1970. *M.D. computing : computers in medical practice* 15(3):162–166
236. Wrobel M (2005) *Multidimensionale, heterogene, visualisierbare Datenräume*. Doktorarbeit, Freie Universität Berlin, Germany
237. Busse S, Kutsche R-D, Leser U, Weber H (1999) *Federated information systems: Concepts, terminology and architectures*. Technische Universität Berlin, Fachbereich 13-Informatik
238. Gorgass B, Ahnefeld FW, Rossi R (1999) *Rettungsassistent und Rettungssanitäter: Mit 38 Tabellen*, 5th edn. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Hongkong, London, Mailand, Paris, Singapur, Tokio
239. Holthuis J (1999) *Der Aufbau von Data Warehouse-Systemen: Konzeption. Datenmodellierung, Vorgehen*, 2nd Edition, DUV, Wiesbaden
240. Clancy T (1995) *The Standish Group Report*
241. Ludewig J, Lichter H (2007) *Software Engineering: Grundlagen, Menschen, Prozesse, Techniken*, 1st edn. Dpunkt-Verl., Heidelberg
242. Hub H (1983) *Techniken der Istaufnahme*. In: Hub H (ed) *Betriebsorganisation*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 51–68
243. Kohli M (1978) „Offenes “und „geschlossenes “Interview: Neue Argumente zu einer alten Kontroverse. *Soziale Welt* 29(H. 1):1–25
244. Heinrichs W, Baldering H-J, Köhler A (1997) Externe Qualitätssicherung in der Anästhesie. *AINS-Anästhesiologie· Intensivmedizin· Notfallmedizin· Schmerztherapie* 32(06):361–364
245. Junger A, Veit C, Klöss T (1998) Kontinuierliche Verbesserung in der anästhesiologischen Qualitätsdokumentation. *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 33(11):715–721
246. Schwilk B, Muche R, Bothner U, Goertz A, Friesdorf W, Georgieff M (1995) Prozequalität in der Anästhesiologie Ergebnisse einer prospektiven Erhebung nach den Empfehlungen der DGAI. *Der Anaesthetist* 44(4):242–249
247. Hölz W, Schmeck J (2012) *Prozessoptimierung und Qualitätsmanagement in der Anästhesie*. In: Rossaint R; Werner C; Zwißler B (eds) *Die Anästhesiologie*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 1630–1635
248. Walcher F, Kulla M, Klinger S, Röhrig R, Wyen H, Bernhard M, Gräff I, Nienaber U, Petersen P, Himmelreich H, Schweigkofler U, Marzi I, Lefering R (2012) Standardisierte Dokumentation im Schockraum mit dem Kerndatensatz „Notaufnahme“ der DIVI. *Unfallchirurg* 115(5):457–464
249. Klinger S, Kulla M, Lampl L, Helm M (2012) Praktische Umsetzung des Kerndatensatzes Notaufnahme der DIVI. *Notfall Rettungsmed* 15(6):510–515
250. Schöpke T, Plappert T (2011) Kennzahlen von Notaufnahmen in Deutschland. *Notfall Rettungsmed* 14(5):371–378
251. Kulla M, Röhrig R, Helm M, Bernhard M, Gries A, Lefering R, Walcher F (2014) Nationaler Datensatz „Notaufnahme“. *Anaesthetist* 63(3):243–252

252. Martin J, Schleppers A, Fischer K, Junger A, Klöss T, Schwilk B, Pützhofen G, Bauer M, Krieter H, Reinhart K, others (2004) Der Kerndatensatz Intensivmedizin: Mindestinhalte der Dokumentation im Bereich der Intensivmedizin. *Anästh Intensivmed* 45:207–216
253. Bange C (2006) Werkzeuge für analytische Informationssysteme. In: Chamoni P; Gluchowski P (eds) *Analytische Informationssysteme*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 89–110
254. Morbey G (2011) Technische Voraussetzungen. In: Morbey G (ed) *Datenqualität für Entscheider in Unternehmen*. Gabler, Wiesbaden, 55–62
255. Weigel N (2011) Datenqualitätsmanagement – Steigerung der Datenqualität mit Methode. In: Hildebrand K; Gebauer M; Hinrichs H; Mielke M (eds) *Daten- und Informationsqualität*. Vieweg+Teubner, Wiesbaden, 68–87
256. Helms S, Hollmann R (2009) *Webbasierte Datenintegration: Ansätze zur Messung und Sicherung der Informationsqualität in heterogenen Datenbeständen unter Verwendung eines vollständig webbasierten Werkzeuges*, 1st edn. *Ausgezeichnete Arbeiten zur Informationsqualität*. Vieweg+Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, Wiesbaden
257. Kemper H-G, Baars H, Mehanna W (2010) *Business Intelligence – Grundlagen und praktische Anwendungen*. Vieweg+Teubner, Wiesbaden
258. Bauer A, Günzel H (eds) (2013) *Data-Warehouse-Systeme: Architektur, Entwicklung, Anwendung*, 4th edn. dpunkt-Verl, Heidelberg
259. Patel TA, Puppala M, Ogunti RO, Ensor JE, He T, Shewale JB, Ankerst DP, Kaklamani VG, Rodriguez AA, Wong, Stephen T. C., Chang JC (2017) Correlating mammographic and pathologic findings in clinical decision support using natural language processing and data mining methods. *Cancer* 123(1):114–121
260. Chamoni P, Gluchowski P (2004) Integrationstrends bei Business-Intelligence-Systemen. *Wirtschaftsinf* 46(2):119–128
261. DIMDI - Deutsches Institut für für Medizinische Dokumentation und Information (2017) *Anatomisch-therapeutisch-chemische Klassifikation mit Tagesdosen: Amtliche Fassung des ATC-Index mit DDD-Angaben für Deutschland im Jahre 2017*. <http://www.dimdi.de/dynamic/de/klassi/downloadcenter/atcddd/version2017/atc-ddd-amtlich-2017.pdf>. Accessed 18 June 2017
262. (2013) *Personalisierte Medizin - der Patient als Nutznießer oder Opfer?: Vorträge der Jahrestagung des Deutschen Ethikrates [am 24. Mai 2012] ; [Tagungsdokumentation]*. Dt. Ethikrat, Berlin
263. Eckhardt A (2014) *Personalisierte Medizin*. TA-Swiss, vol 61. Vdf, Zürich
264. Karger CR, Hüsing B (2011) *Personalisierte Medizin im Gesundheitssystem der Zukunft: Einflussfaktoren und Szenarien*. *Schriften des Forschungszentrums Jülich : [...]*, Reihe Gesundheit, Bd. 44. Forschungszentrum, Zentralbibliothek, Jülich
265. Grechenig T (2010) *Softwaretechnik: Mit Fallbeispielen aus realen Entwicklungsprojekten*. IT Informatik. Pearson Studium, München, Boston, Mass. [u.a.]
266. Nieschlag R, Dichtl E, Hörschgen H (1994) *Marketing*, 17., neu bearb. Aufl., Berlin
267. Stickel E, Groffmann H-D, Rau K-H Gabler *Wirtschaftsinformatik Lexikon*
268. Jain LC (2005) *Advanced Techniques in Knowledge Discovery and Data Mining*. Springer, Berlin [u.a.]
269. Chamoni P, Gluchowski P (2006) *Analytische Informationssysteme: Business Intelligence-Technologien und -Anwendungen*. Springer-Verlag., Berlin Heidelberg
270. Baur N, Blasius J (eds) (2014) *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*, 2014th edn. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden
271. Inmon WH, Imhoff C, Sousa R (2000) *Corporate information factory*, 2nd edn. John Wiley & Sons, New York
272. Mertens P (2005) *Grundzüge der Wirtschaftsinformatik*, 9th edn. Springer-Lehrbuch. Springer, Berlin, Heidelberg, New York

273. Grothe M (2002) Business Intelligence: Aus Wissen Wettbewerbsvorteile gewinnen. Business & Computing. Pearson Deutschland; Addison-Wesley, München, [s.l.]
274. Kandula S, Zeng-Treitler Q, Chen L, Salomon WL, Bray BE (2011) A bootstrapping algorithm to improve cohort identification using structured data. *Journal of biomedical informatics* 44:S63-S68
275. Birman-Deych E, Waterman AD, Yan Y, Nilasena DS, Radford MJ, Gage BF (2005) Accuracy of ICD-9-CM codes for identifying cardiovascular and stroke risk factors. *Medical care* 43(5):480–485
276. Adams HA, Buzello W, Kochs E, Krier C (2008) *Anästhesiologie*, 2nd edn. Thieme, Stuttgart
277. van Aken H, van Hemelrijck J, Merckx L, Möllhoff T, Mulier J, Lübbesmeyer H (1990) Totale intravenöse Anästhesie mit Propofol und Alfentanil im Vergleich zur balancierten Anästhesie in der Neurochirurgie. *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 25(01):54–58
278. van Ackern K, Albrecht M (1986) Balancierte Anästhesie bei thoraxchirurgischen Eingriffen. In: Dick W (ed) *Kombinationsnarkosen im Kindesalter. Kinderanästhesie*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp 80–94
279. Dick W (1986) *Kombinationsnarkosen im Kindesalter. Kinderanästhesie*. Springer, Berlin [West] [u.a.]
280. Dirk Rüsck, Leopold H. J. Eberhart, Jan Wallenborn, Peter Kranke Übelkeit und Erbrechen nach Operationen in Allgemeinanästhesie: Eine evidenzbasierte Übersicht über Risikoeinschätzung, Prophylaxe und Therapie. *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* March 2011(46(3)):158–170
281. Apfel CC, Greim C-A, Goepfert C, Grundt D, Usadel J, Sefrin P, Roewer N (1998) Postoperatives Erbrechen. *Der Anaesthesist* 47(9):732–740
282. Kranke P, Eberhart LH, Toker H, Roewer N, Wulf H, Kiefer P (2007) A prospective evaluation of the POVOC score for the prediction of postoperative vomiting in children. *Anesthesia and analgesia* 105(6):1592-7
283. Bubenhofer N, Scharloth J (2015) Maschinelle Textanalyse im Zeichen von Big Data und Data-driven Turn Überblick und Desiderate. *Zeitschrift für germanistische Linguistik* 43(1):1–26
284. Wirth W (2001) *Inhaltsanalyse: Perspektiven, Probleme, Potentiale*. Halem, Köln
285. Mayring P (2010) *Qualitative Inhaltsanalyse*. In: Mey G; Mruck K (eds) *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 601–613
286. Bos W, Tarnai C (1999) Content analysis in empirical social research. *International Journal of Educational Research* 31(8):659–671
287. Schnell M, Schulz C, Kolbe H, Dunger C (eds) (2013) *Der Patient am Lebensende*. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden
288. Lusti M (1998) Data Warehousing und Data Mining — Wege zur Eindämmung der Datenflut? In: Bruhn M; Lusti M; Müller WR; Schierenbeck H; Studer T (eds) *Wertorientierte Unternehmensführung*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 285–309
289. (2013) A review of evidence of health benefit from artificial neural networks in medical intervention. *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther*
290. Lans, Rick F. van der (2012) *Data virtualization for business intelligence systems: Revolutionizing data integration for data warehouses*. Morgan Kaufmann; Elsevier Science [distributor], San Francisco, Calif, Oxford
291. van der Lans RF (2012) *Data virtualization for business intelligence architectures: Revolutionizing data integration for data warehouses*. Elsevier/MK, Amsterdam, Boston
292. Golfarelli M, Rizzi S (2009) *Data warehouse design: Modern principles and methodologies*. McGraw-Hill, New York
293. Lusti M (1998) Data Warehousing und Data Mining — Wege zur Eindämmung der Datenflut? In: Bruhn M; Lusti M; Müller WR; Schierenbeck H; Studer T (eds) *Wertorientierte Unternehmensführung*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 285–309

294. Gartner J (2016) Gartner's 2014 hype cycle for emerging technologies maps the journey to digital business
295. McAfee A, Brynjolfsson E, others (2012) Big data: the management revolution. *Harvard business review* 90(10):60–68
296. Demchenko Y, Grosso P, Laat C de, Membrey P (2013) Addressing big data issues in Scientific Data Infrastructure. In: *International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS)*, 48–55
297. Krishnan K (2013) *Data Warehousing in the Age of Big Data*. Newnes
298. Inmon B (2013) Big Data Implementation vs. Data Warehousing. <http://www.b-eye-network.com/view/17017>. Accessed 24 June 2017
299. Fried R, Gather U (2002) Fast and Robust Filtering of Time Series with Trends. In: Härdle W; Rönz B (eds) *Compstat*. Physica-Verlag HD, Heidelberg, 367–372
300. Ralston A, Reilly ED, Hemmendinger D (2003) *Encyclopædia of computer science*, 4th edn. Wiley, Chichester, West Sussex, England, Hoboken, N.J., USA

8 Anhang

Tabelle 20: Merkmale der Literatur-Recherche

		Literatur-Recherche	NarkoData
Allgemein	Alter	x	x
	Geschlecht	x	x
	BMI	x	muss errechnet werden
	Operateur	x	x
	Fachabteilungen	x	x
	PEEP	x	x
Beatmung	Plateau	x	x
	Atemminutenvolumen	x	x
	Atemzugfrequenz	x	muss errechnet werden
	Atemfrequenz	x	x
	SpO2 / SaO2	x	x
	CO2	x	-
	paO2 (Sauerstoff-Partialdruck arteriell)	x	-
	paCO2 (arteriesses Kohlendioxid)	x	-
	SvO2	x	-
	PvO2	x	-
Labordaten	Glucosemessung	x	-
	Lactatmessung	x	-
	Blutgasanalyse	x	-
	Elektrolytmessung	x	-
	pH-Wert	x	-
	Hämoglobinwert	x	-
	Natrium (Na+)	x	-
	Kalium (K-)	x	-
Einleitung	Einschleusungszeit	x	-
	Anamnese (Dauermedikationen, Vorerkrankungen, vorherige Operationen, ...)	x	x
	Prämedikation	x	x
	Narkoseform	x	x
	Blutkonserve	x	x
	Dauer Operation (Schnitt-Naht-Zeit)	x	x
Operation	Dauer Anästhesie	x	x
	Operationsraum-Belegung	x	x
	Medikamente	x	x
	Dosis	x	x
	Flussrate	x	x
	ATC-Cod	x	-
	Lagerung	x	x
	Schmerzen	x	x

	Organe (z.B. Insuffizienz)	x	-
Postoperativ	Mortalität	x	-
	Zeit auf ICU	x	IOI
	Dauer des KH Aufenthalts	x	-
	Intubation / Extubation	x	x
	Verlegungsinformationen	x	x
	Mallampati-Score	x	x
Scores	PONV	x	x
	ASA	x	x
	Herzindex (CI)	x	-
	Cormack	x	x
	APGAR	x	-
	Glasgow-Koma-Skala (GCS)	x	-
	APACHE II	x	-
	MAD	x	x
	Systole	x	x
	Diastole	x	x
Vitalparameter	HR	x	x
	Körpertemperatur	x	x
	EEG-Messung	x	z.B. BIS
	EKG-Messungen	x	-
	Gerätenutzung (CT, Ultraschall)	x	x
	Herzzeitvolumen (HZV)	x	-
	zentral venöser Druck (ZVD)	x	-
	Pulmonalarteriendruck (PAP)	x	-
	Lungenkapillaren-Verschlussdruck (PCWP)	x	-
	peripherer Gefäßwiderstand (SVR)	x	-
	Totaler peripherer Widerstand (TPR)	x	-

Tabelle 21: Abgleich der Daten aus NarkoData mit Kerndatensatz des DGAI

	N	Feldbezeichnung / Zusatzinfos	Tabellenname	Feld	
	r.	Kodierung			
Header Informationen	0	Einrichtungs-ID	-	Stamm_klinik	Lizenznummer
	1				
	0	Versorgungsstufe	-	Statischer Wert	
	2	1=Fachkrankenha us 2=Grundversorgung g 3=Regelversorgung g 4=Maximalversorgung rung 8=MVZ (Medizinisches			

Allgemeine Daten		Versorgungszentrum) 9=Ambulanzzentrum			
	03	Alter	-	Operation	Ualter
	04	Geschlecht 1=männlich 2=weiblich 3=intersex	-	Operation	Geschlecht
	05	Fallart 1=ambulant 2=stationär 3=teilstationär 4=tagesstationär 5=unklar	-	Praeopsonstigeinfo	Aufnahmestatus
	06	Anästhesiedatum	-	Operation	OPDatum
	07	Fachabteilung	-	Stamm_fachabteilung	Name
	08	Dringlichkeit 1=Elektiveingriff 2=Dringlich 3=aufgeschoben dringlich 4=Notoperation	-	Interopeingriffkommentar	Dringlichkeit
	09	ASA 1=ASA I 2=ASA II 3=ASA III 4=ASA IV 5=ASA V	-	Praeopvisite	ASA
Risikoeinstufung	10	Herz -1 : nichts angegeben 0 : keine Info 1 : kein Befund 2 : ohne Relevanz 3 : mit Relevanz	Liegt ein relevanter pathologischer Befund am Herzen vor?	Praeopzu_oberbegriff, Praeopzu_einzelbegriff	
	11	Lunge -1 : nichts angegeben 0 : keine Info 1 : kein Befund 2 : ohne Relevanz 3 : mit Relevanz	Liegt ein relevanter pathologischer Befund an der Lunge vor?	Praeopzu_oberbegriff, Praeopzu_einzelbegriff	

	1 2	Kreislauf -1 : nichts angegeben 0 : keine Info 1 : kein Befund 2 : ohne Relevanz 3 : mit Relevanz	Liegt ein relevanter pathologischer Befund am Kreislauf vor?	Praeopzu_oberb egriff, Praeopzu_einzel begriff	
	1 3	Neurologie/ZNS -1 : nichts angegeben 0 : keine Info 1 : kein Befund 2 : ohne Relevanz 3 : mit Relevanz	Liegt ein relevanter pathologischer Befund im Bereich Neurologie/ZNS vor?	Praeopzu_oberb egriff, Praeopzu_einzel begriff	
	1 4	Stoffwechsel -1 : nichts angegeben 0 : keine Info 1 : kein Befund 2 : ohne Relevanz 3 : mit Relevanz	Liegt ein relevanter pathologischer Befund im Bereich der Stoffwechseler krankung vor?	Praeopzu_oberb egriff, Praeopzu_einzel begriff	
	1 5	Extreme Adipositas 0=nein 1=ja	BMI>=40		
Zeiterfassung	1 6	Arztbindungszeit Erfassung in Minuaten maximal 26h	Präsenz Anästhesie-Arzt (A5-A12)	Narkoprotocolv alues	Zeitdifferenz der OpZeiten 28 und 29 in Sekunden
	1 7	Schnitt-Naht- Dauer	Reine OP-Zeit (O8-O10)	Narkoprotocolv alues	Zeitdifferenz der OpZeiten 5 und 10 in Sekunden
	1 8	Postanästhesologi sche Überwachungsdau er / Aufwachraum- Dauer	K33	Narkoprotocolv alues	Zeitdifferenz der OpZeiten 18 und 22 in Sekunden
Anästhesietechnik / Atemweg	1 9	TIVA 0=nein 1=ja	-	Interoptechnik arkoseart	Narkoseart
	2 0	Balancierte Anästhesie 0=nein 1=ja	-	Interoptechnik arkoseart	Narkoseart
	2 1	RSI 0=nein 1=ja	Rapid Sequence Induction	Verlauf_opzeit_i	Ileus
	2 2	Spinalanästhesie 0=nein 1=ja	-	Interopregspa	

2 3	EDA lumbal 0=nein 1=ja	-	Interopregpda	
2 4	EDA thorakal 0=nein 1=ja	-	Interopregpda	Analgesiehoehe
2 5	periphere Regionalanästhesie 0=nein 1=ja	-	Interopregplexu s	
2 6	Regionale mit Katheterverfahren 0=nein 1=ja	-	Interopregivregi onal	
2 7	Analgesiedierung 0=nein 1=ja	-	Interoptechnik arkoseart	Narkoseart
2 8	Stand by / Monitored Care 0=nein 1=ja	-	Interoptechnik arkoseart	
2 9	Maske 0=nein 1=ja	-	Verlauf_beatmu ng	beatmungsform
3 0	Supraglottischer LW 0=nein 1=ja	LMA, Larynxtubus, etc.	Verlauf_beatmu ng	
3 1	Intratrachealer LW 0=nein 1=ja	Tubus, Trachealkanüle	Verlauf_beatmu ng	
3 2	Endobronchialer LW 0=nein 1=ja	Doppellumentu bus, Bronchusblocke r	Verlauf_beatmu ng	
3 3	Spontanatmung 0=nein 1=ja	-	Verlauf_beatmu ng	
3 4	unterstützte Spontanatmung 0=nein 1=ja	z.B. CPAP/PSV	Verlauf_beatmu ng	Beatmungsart
3 5	kontrollierte Beatmung 0=nein 1=ja	z.B. PCV, CMV	Verlauf_beatmu ng	Beatmungsart

	3 6	Sonstige Beatmung 0=nein 1=ja	Hohfrequenzbe atmung (z.B. Jet)	Verlauf_beatmu ng	Beatmungsart
	3 7	invasives Blutdruckmonitori ng 0=nein 1=ja	-	Verlauf_rrpuls	Messort
	3 8	Erweitertes Monitoring inkl. HZV 0=nein 1=ja	ZVK, PA, PICCO	Verlauf_freiwae hl	Massnahme
	3 9	ZNS-Monitoring 0=nein 1=ja	Narkosetiefeüb erwachug (z.B. Bispektral Idex)	Verlauf_freiwae hl	Massnahme
	4 0	Ultraschall Herz / TEE 0=nein 1=ja	-	Interopregplexu s	Ultraschall
	4 1	Ultraschall bei RA 0=nein 1=ja	-	Interopregplexu s	Ultraschall
	4 2	Ultraschall bei ZVK-Anlage 0=nein 1=ja	-	Interopregplexu s	Ultraschall
Eingriff	4 3	Tracer 0=kein Tracer 1=Sectio Caesarea 2=AT 3=Lap Galle 4=TUR-P 5=arthroskopisch er Knieeingriff	-	Narkoprotocol alues	
	4 4	AVB 0=nein 1=ja	Vorliegen einer Anästhesie- Verlaufs- Beobachtung (AVB)		
Anästhesie-Verlaufs-	4 5	AVB 1- Art	siehe Anhang 2	Verlauf_ARB	ARB

Entlassung	4 6	AVB 1- Schweregrad 11=Verlängerter Aufenthalt im Aufwachraum und / oder besondere Nachbeobachtung auf Allgemeinstation 12=Problem kann im WAR nicht zufriedenstellend gelöst werden und bedingt Verlegung auf Intensiv- oder Wachstation (ungeplante Aufnahme) 13=Tod des Patienten	-	Verlauf_ARB	Relevanz
	4 7	AVB 1 - Zeitpunkt	-	Verlauf_ARB	Zeitpunkt
	4 8	AVB 2 -Art	-	Verlauf_ARB	ARB
	4 9	AVB 2- Schweregrad	-	Verlauf_ARB	Relevanz
	5 0	AVB 2- Zeitpunkt	-	Verlauf_ARB	Zeitpunkt
	5 1	AVB 3 -Art	-	Verlauf_ARB	ARB
	5 2	AVB 3- Schweregrad	-	Verlauf_ARB	Relevanz
	5 3	AVB 3- Zeitpunkt	-	Verlauf_ARB	Zeitpunkt
	5 4	Aufwachraum 0=nein 1=ja	-	Verlauf_opzeit_ u	ueberwachungsort
	5 5	Verlegung 2=Intensiv (geplante Verlegung IMC/ICU) 3=Normalstation 4=sonstige Verlegung 5=Exitus 6=unerwartete stationäre Aufnahme nach ambulanten Eingriffen 7=ungeplante	-	Narkoprotocolv alues	

Qualitätsmerkmale		Aufnahme IMC/ICU			
	5 6	Übelkeit 0=nein 1=ja	-	Narkoprotocol alues	
	5 7	Erbrechen 0=nein 1=ja	-	Narkoprotocol alues	
	5 8	Zittern Grad >1 0=nein 1=ja	-	Narkoprotocol alues	
	5 9	Hypothermie 0=nein 1=ja	-	Narkoprotocol alues	
	6 0	Schmerzen VAS >3 0=nein 1=ja	-	Narkoprotocol alues	
	6 1	RA: Partieller Effekt 0=nein 1=ja	-	Narkoprotocol alues	
	6 2	RA: Unzureichender Effekt 0=nein 1=ja	-	Narkoprotocol alues	
	6 3	Awareness 0=nein 1=ja	-	Narkoprotocol alues	
	Technische Felder	6 4	Datensatz Nummer	-	Operation
6 5		Erfassungssystem	-	Statischer Wert	
6 6		Version	-	Statischer Wert	NarkoData Protokoll-Version 4.5.0
6 6					

Tabelle 22: Auflistung der in das cDWH überführten Quelltabellen

Verlaufstabellen		Stammtabellen	
INTEROPBEREICH		STAMM_ALTERSKLASSE	STAMM_LUFTWEG
INTEROPREGCSA		STAMM_ANALGESIEHOEHE	STAMM_MASSNAHME

OPERATION	STAMM_ANWEISUNG	STAMM_MEDIKAMENT
INTEROPREGCSE	STAMM_ASA	STAMM_MESSUNGSART
INTEROPREGINFILTRATION	STAMM_AUFNAHMESTATUS	STAMM_MINUTEN
INTEROPREGLEITUNGS	STAMM_BEATMUNGSART	STAMM_NARKOSEART
INTEROPREGPDA	STAMM_BEATMUNGSFORM	STAMM_NUECHTERNHEIT
INTEROPREGPLEXUS	STAMM_BEATMUNGSGERAET	STAMM_OPBEREICH
VERLAUF_BEATMUNG	STAMM_BEATMUNGSKONTROLLE	STAMM_OPZEIT
INTEROPREGSPA	STAMM_BESONDERHEIT	STAMM_OPZEITRAUM
INTEROPTechnikZUGANG	STAMM_BLUTSPERREART	STAMM_PRAEMEDERFOLG
VERLAUF_FREIWAEHL	STAMM_BLUTSPERREORT	STAMM_REGANMETHODE
VERLAUF_KOMMENTAR	STAMM_DGAIBEZEICHNUNG	STAMM_REGIONALANAESTHESIE
VERLAUF_MEDIKAMENT	STAMM_DRINGLICHKEIT	STAMM_REGMETHODE
VERLAUF_OPZEIT	STAMM_DRUCKART	STAMM_SAO2ORT
VERLAUF_OPZEIT_I	STAMM_EINGRIFFSORT	STAMM_STATION
INTEROPREGIVREGIONAL	STAMM_EINHEIT	STAMM_TEMPERATURORT
VERLAUF_OPZEIT_P	STAMM_ENTNAHMEART	STAMM_TUBUS
PATIENT	STAMM_ERFOLG	STAMM_UEBERWACHUNGSORT
VERLAUF_RRPULS	STAMM_FACHABTEILUNG	STAMM_VERABREICHUNGSART
PRAEOP_SONSTIGE_INFO	STAMM_FLOW	STAMM_VERABREICHUNGSFORM
PRAEOPVISITE	STAMM_FREIWAEHLBAR	STAMM_ZAHNSTATUS
VERLAUF_SAO2	STAMM_GEWEBE	STAMM_ZEK
VERLAUF_TEMPERATUR	STAMM_GROESSE	STAMM_ZEKART
PRAEOPZU_OBERBEGRIFF	STAMM_KANUELE	STAMM_ZUGANG
PRAEOPVISITE_BESONDERHEIT	STAMM_KATHETER	STAMM_ZUSTAND_EINZELBEGRIFF
PRAEOPZU_EINZELBEGRIFF	STAMM_KLINIK	STAMM_ZUSTAND_EINZEL_SCOREOBER
INTEROPTechnikNARKOSEART	STAMM_KOMMENTAR	STAMM_ZUSTAND_OBERBEGRIFF
	STAMM_KOMMENTAR1	
	STAMM_KOMMENTAR2	
	STAMM_KRANKENHAUSPERSONAL	
	STAMM_KRANKENKASSE	
	STAMM_LABORWERT	
	STAMM_LAGERUNG	

Tabelle 23: Mapping der NarkoData OP-Zeiten auf das Glossar perioperativer Prozesszeiten

Name Narkodata	Name DWH
Präsenz Beginn	T_A04_PRS_ANFD_BEGINN
Anästhesie Beginn	T_A06_AN_BEGINN
Intubation-Beatmung Beginn	T_A50_INTUBATION
Einleitung Ende	T_A07_AN_FREIGABE
Operationsbeginn	T_O03_OP_BEGINN
Schnitt	T_O08_ERSTER_SCHNITT
Bypass Beginn	T_O50_BYPASS_BEGINN
Aortaabklemmzeit Beginn	T_O52_AORTAABKLEMM_BEGINN
Aortaabklemmzeit Ende	T_O53_AORTAABKLEMM_ENDE
Bypass Ende	T_O51_BYPASS_ENDE

Naht Ende	T_O10_LETZTE_NAHT
Operationsende	T_O11_OP_ENDE
Extubation-Beatmung Ende	T_A52_EXTUBATION
Umintubation	T_A51_UMINTUBATION
OP-Pause Beginn	T_O54_OP_PAUSE_BEGINN
OP-Pause Ende	T_O55_OP_PAUSE_ENDE
DHCA Beginn	T_O56_DHCA_BEGINN
DHCA Ende	T_O57_DHCA_ENDE
Anästhesie Ende	T_A09_AN_ENDE
Überwachung Beginn	T_A11_AWR_BEGINN
Überwachung Ende	T_A16_AWR_ENDE
Punktion	T_A53_PUNKTION
Präsenz Ende	T_A54_PRS_ANFD_ENDE
Gefäßabklemmzeit Beginn	T_O58_ABKLEMM_BEGINN
Gefäßabklemmzeit Ende	T_O59_ABKLEMM_ENDE
Blutsperre/- leere Beginn	T_60_BLUTSPERRE_BEGINN
Blutsperre/- leere Ende	T_61_BLUTSPERRE_ENDE
Arztpräsenz Beginn	T_A05_PRS_ANARZT_BEGINN
Arztpräsenz Ende	T_A12_PRS_ANARZT_ENDE

9 Danksagung

Mit der Beendigung der vorliegenden Arbeit, ist es an der Zeit allen Personen, die zum Gelingen dieser Dissertation beigetragen haben, zu danken.

Zuerst möchte ich Herrn Prof. Prokosch, der mir den Weg in die medizinische Informatik eröffnet hat und mir dadurch die Chance ermöglicht hat, diese Promotion anzugehen. Durch ihn wurde ich über mehrere Jahre an das wissenschaftliche Arbeiten herangeführt. Vielen Dank auch für die mühevollen Arbeit des Korrekturlesens und für die persönlichen Freiheiten, die seinen Lehrstuhl auszeichnen.

Bedanken möchte ich mich weiterhin bei Dr. Thomas Ganslandt für die umfassende Betreuung meiner Arbeit. Vielen Dank für die vielen Stunden, die Du in diese Arbeit investiert hast. Auch wenn es bei der Umsetzung die eine oder andere Hürde zu bewältigen gab, so warst du mir stets mit konstruktiven Anmerkungen und hilfreichen Ideen zu Hilfe.

Weiterhin gilt mein herzlicher Dank Prof. Tino Münster, meinem klinischen Hauptansprechpartner bei der Durchführung dieses Projekts. Danke für die vielen wertvollen Anregungen und stete Hilfsbereitschaft vor allem für den medizinischen Teil.

Ein großes Dankeschön möchte ich auch Herrn Dr. Ackermann für die zahlreichen Diskussionen und die tolle Zusammenarbeit aussprechen. Du hast mit die Sicht auf die Anästhesie-Daten erleichtert.

Danke auch an Dr. Johannes Eberle für die Unterstützung bei der Evaluierung der Anästhesie-Daten.

Zu guter Letzt möchte ich mich bei meiner Familie und meinem Mann bedanken. Danke für Eure Geduld, die uneingeschränkte moralische Unterstützung, die Ermutigungen und Ratschläge zu jeder Lebenslage und vor allem die richtige Ablenkung zur richtigen Zeit.