
Aus der Universitätsklinik für Anästhesiologie mit
Schwerpunkt operative Intensivmedizin CCM / CVK
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

**Prozesseffizienz des anästhesiologischen
Monitoring und Qualität der perioperativen
Monitoring-Alarme**

**Eine vergleichende Untersuchung verschiedener
Monitoringsysteme und klinischer Anwendungsbereiche in
der Anästhesiologie**

Zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

Vorgelegt der
Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

von
Christiane Seibold, geb. Buckl
aus Aalen

Gutachter/in: 1. Priv.-Doz. Dr. med. M. Schuster
 2. Priv.-Doz. Dr. med. T. Kerner
 3. Prof. Dr. M. U. Gerbershagen

Datum der Promotion: 08.04.2011

Vorbemerkung

Die vorliegende Untersuchung war Teil einer größeren Untersuchungsreihe, die am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf durchgeführt wurde und verschiedene Aspekte der Effizienz und Qualität perioperativer Prozesse im Fokus hatte. Mit Tina Kotjan und Lena Lisa Wicha nahmen zwei weitere Doktorandinnen am Projekt teil. Die Erfassung der Daten aller drei Dissertationsprojekte erfolgte gemeinsam in einem Zeitraum von vier Monaten. Die Dissertationen untersuchten im Weiteren unterschiedliche Fragestellungen, so dass die Analyse der Daten und die Erstellung der Dissertationen vollständig getrennt erfolgte.

Widmung

Meiner Mutter Dr. med. Stefana Buckl und meinem Vater Roland Buckl gewidmet.

Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkung	3
Widmung	4
Inhaltsverzeichnis	5
Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	8
1 Einleitung	9
2 Arbeitshypothese und Fragestellung	13
3 Material und Methoden	14
3.1 Art der Studie	14
3.2 Setting der Studie	14
3.3 Anästhesiologisches Patientenmonitoring und Anästhesiegeräte.....	17
3.4 Erfasste Parameter des Patientenmonitoring	20
3.4.1 Vor- und Nachbereitung der Geräte	20
3.4.2 Ressourcennutzung und Geräteauslastung.....	21
3.4.3 Prozesszeiten des perioperativen Monitoring bei der Ein- und Ausleitung	22
3.4.4 Erfassung der Blindzeiten	24
3.4.5 Erfassung der Monitoring-Alarme	25
3.5 Statistische Analyse	27
4 Ergebnisse	28
4.1 Vor- und Nachbereitung der Geräte.....	28
4.2 Ressourcennutzung und Geräteauslastung.....	30
4.3 Prozesszeiten des perioperativen Monitoring	31
4.3.1 Prozesszeiten des perioperativen Monitoring in der Herz- und Gefäßchirurgie und in der Urologie	32
4.4 Blindzeiten des anästhesiologischen Monitoring.....	34
4.5 Monitoringalarme: Häufigkeit und Reaktionen	36
4.5.1 Alarme in der Herz- und Gefäßchirurgie	36
4.5.2 Häufigkeit der Einzelalarme in der Herz- und Gefäßchirurgie	36
4.5.3 Reaktionen auf Monitoringalarme in der Herz- und Gefäßchirurgie	38

4.5.4	Reaktionszeiten auf Monitoringalarme in der Herz- und Gefäßchirurgie.....	40
4.5.5	Alarime in der Urologie	41
4.5.6	Häufigkeit der Einzelalarime in der Urologie.....	41
4.5.7	Reaktionen auf die Monitoringalarime in der Urologie	43
4.5.8	Reaktionszeiten auf Monitoringalarime in der Urologie.....	45
5	Diskussion.....	46
5.1	Bedeutung des perioperativen Monitoring	46
5.2	Bedeutung dieser Studie.....	48
5.3	Diskussion der Einzelergebnisse	48
5.3.1	Vor- und Nachbereitung der Geräte.....	48
5.3.2	Ressourcennutzung und Geräteauslastung.....	49
5.3.3	Prozesszeiten des anästhesiologischen Monitoring.....	51
5.3.4	Blindzeiten des anästhesiologischen Monitoring.....	51
5.3.5	Monitoring - Alarime: Häufigkeit und Reaktionen.....	54
5.4	Methodische Limitation und Stärken der Studie.....	58
5.5	Schlussfolgerungen	60
6	Zusammenfassung	62
7	Literaturverzeichnis.....	64
	Danksagung	69
	Lebenslauf.....	70
	Erklärung.....	71

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: OP-Ebene 1	15
Abbildung 2: OP-Ebene 2	16
Abbildung 3: Modulsystem „Tram-rac 4“	23
Abbildung 4: Stecksystem „Infinity Delta“	23
Abbildung 5: Gesamtdauer der Vor- und Nachbereitung	29
Abbildung 6: Einzelschritte der Vor- und Nachbereitung	29
Abbildung 7 a-d: Geräteauslastung im Zentral-OP	30
Abbildung 8 a-b: Prozesszeiten der Monitoringsysteme in der Herz- und Gefäßchirurgie und in der Urologie	33
Abbildung 9 a-b: Blindzeiten der Monitoringsysteme in der Herz- und Gefäßchirurgie und in der Urologie	35
Abbildung 10: Häufigkeit der Alarme pro Fall in der Herz- und Gefäßchirurgie	36
Abbildung 11 a-d: Häufigkeit der Einzelalarme pro Fall in der Herz- und Gefäßchirurgie	37
Abbildung 12 a-b: Häufigkeit der Reaktionen auf kardiozirkulatorische und respiratorische Alarme in der Herz- und Gefäßchirurgie	39
Abbildung 13: Häufigkeit der Alarme pro Fall in der Urologie	41
Abbildung 14 a-d: Häufigkeit der Einzelalarme pro Fall in der Urologie	42
Abbildung 15 a-b: Häufigkeit der Reaktionen auf kardiozirkulatorische und respiratorische Alarme in der Urologie	44

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1-9: Anästhesiologische Geräte in den untersuchten Operationssälen.	17
Tabelle 2: Standardeinstellung der Alarmgrenzen	26
Tabelle 3: Stichprobengrößen zur Untersuchung der Arbeitsplatzvorbereitung...	28
Tabelle 4: Stichprobengrößen zur Untersuchung der Prozesszeiten und des Alarmsystems in der Herz- und Gefäßchirurgie	31
Tabelle 5: Stichprobengrößen zur Untersuchung der Prozesszeiten und des Alarmsystems in der Urologie.....	31
Tabelle 6.1-2: Patientencharakteristika	31
Tabelle 7: Vergleich von Modul- und Stecksystem bezüglich Alarm-Reaktionszeiten im Anästhesiebereich Herz- und Gefäßchirurgie	40
Tabelle 8: Vergleich von Modul- und Stecksystem bezüglich Alarm-Reaktionszeiten im Anästhesiebereich Urologie.....	45

1 Einleitung

Für die Sicherheit des Patienten ist es notwendig, dass der Anästhesist physiologische Veränderungen frühzeitig erkennt, um entsprechend darauf reagieren zu können. Bei der Komplexität der heutzutage durchgeführten Operationen sind technische Hilfsmittel als Grundlage für eine adäquate Betreuung der Patienten während einer Anästhesie unumgänglich und als Monitoringstandards etabliert. Der Begriff Monitoring leitet sich vom lateinischen „monere“ ab, was benachrichtigen, warnen und ermahnen bedeutet. Ein Monitoringsystem dient dem Anästhesisten durch kontinuierliche oder wiederholte Erfassung physiologischer Funktionen in Echtzeit dazu, seine Entscheidungen im Patientenmanagement zu unterstützen, den optimalen Zeitpunkt für therapeutische Interventionen festzulegen und die Effektivität seiner getroffenen Maßnahmen zu überprüfen (Janssens 2000).

Auch wenn ein kausaler Zusammenhang zwischen dem steigenden Einsatz anästhesiologischer Monitoringsysteme und einer Verminderung der perioperativen Mortalität und Morbidität bislang nicht bewiesen ist (Graf 2008), haben eine Vielzahl an Monitoringsystemen ihren festen Platz in der modernen Anästhesiologie und sind vom anästhesiologischen Arbeitsplatz nicht mehr wegzudenken. Das Standardmonitoring in der Anästhesie umfasst hierbei die nicht invasive Blutdruckmessung, EKG-Monitoring, die Messung der pulsoxymetrischen Sättigung und bei längeren Eingriffen die der Körpertemperatur. Zusätzlich gehören bei allen Allgemeinanästhesien die Capnographie und die Narkosegasmessung zum Standard (Daniels 2009). Je nach Eingriff wird, insbesondere bei kardialen Risikopatienten, die Indikation zur invasiven Blutdruckmessung oder zur Anlage eines zentralvenösen Katheters oder weiterer zusätzlicher Überwachungsmodalitäten (z.B. EEG, EMG, Echokardiographie, Nervenstimulation etc.) gestellt.

Im Arbeitsalltag des Anästhesieteams nehmen die Vor- und Nachbereitung und die Anpassung der Monitoringsysteme an den Patienten einen erheblichen Anteil der Arbeitszeit in Anspruch. Vor Eintreffen des Patienten müssen die Systeme entsprechend vorbereitet werden und nach Ankunft des Patienten im Operationsbereich muss das Monitoring vor Einleitung der Anästhesie am Patienten angebracht werden.

Dies geschieht in Deutschland häufig in extra dafür vorgesehenen Anästhesie-Einleitungsräumen. Nach der Narkoseeinleitung wird der Patient dann vom Monitoring

im Einleitungsraum wieder gelöst, in den Operationssaal gebracht und an das dortige Monitoring angeschlossen. Analog findet die Ausleitung häufig nicht im Operationssaal, sondern in einem angrenzenden Ausleitungsraum statt, weshalb auch hier das Monitoring gelöst und wieder angebracht werden muss.

Über die Prozesszeiten, die mit der Vor- und Nachbereitung und der Applikation des Monitoring am Patienten verbunden sind, gibt es bislang keine Arbeiten und es ist nicht bekannt, ob es zwischen den klinisch gebräuchlichen Systemen relevante Unterschiede gibt. Da die Prozesseffizienz eine zunehmende Bedeutung in der Anästhesiologie einnimmt, ist die Frage, ob die Technik zu einem Hinderungsgrund des Arbeitsflusses wird, eine relevante Fragestellung.

Eine besondere Herausforderung für die Prozesseffizienz aber auch die Qualität des Monitoring ist der sich aus dem oben beschriebenen Workflow ergebende Wechsel der Lokalitäten. Zum Zeitpunkt der Durchführung der Untersuchung war kein Monitoringsystem verfügbar, das auch bei Wechsel der Lokalitäten kontinuierlich Messwerte angezeigt hätte. Stattdessen musste der Patient beim Wechsel jeweils vom Monitor getrennt werden und es entstanden bis zum Neuanlegen in der nächsten Lokalität Blindzeiten.

Broom untersuchte 2006 in einer Studie mit insgesamt 80 Patienten die durch die Nutzung separater Einleitungsräume entstehenden Blindzeiten ohne Patientenüberwachung und die Zeiten ohne Beatmung beim Wechsel in den Operationssaal. Es wurde eine mittlere Überwachungslücke von 90 Sekunden und eine mittlere Apnoezeit von 54 Sekunden gemessen. In vier Fällen konnten Sättigungsabfälle von bis zu 11% festgestellt werden. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass hier doch eine beträchtliche Sicherheitslücke für den Patienten besteht (Broom 2006).

Für eine adäquate Funktionsweise des Monitoring sind Alarmer, in der Regel akustische, in die Systeme integriert. Diese sollen die Aufmerksamkeit des Anästhesisten gezielt auf jede Veränderung der Physiologie des Patienten richten oder Fehlfunktionen von Geräten anzeigen. Dass der Mensch mit der Analyse von Gerätefehlern häufig überfordert ist, zeigt z.B. die Arbeit von Larson et al zur Erfassung der Komplexität der Arbeit mit Beatmungsgeräten in Abhängigkeit der Berufserfahrung der Probanden. 87 Anästhesisten unterschiedlichen Ausbildungsstandes sollten ein Beatmungsgerät in Betrieb nehmen und im Vorfeld eingebaute Fehler identifizieren. Von den 5 Funktionsfehlern wurden von Probanden im 1.-2. Jahr durchschnittlich nur 3,7 %

entdeckt, Probanden im 2.-7. Jahr fanden 3,6% und Probanden mit mehr als 7 Jahren Berufserfahrung nur 2,3%. Unabhängig von der Berufserfahrung scheint der Umgang mit den Narkosegeräten also nach wie vor eine Herausforderung zu sein (Larson 2007). Eine Überschreitung von im Vorfeld festgelegten Grenzwerten der Überwachungsparameter löst ein akustisches Signal aus, welches den Anästhesisten dazu veranlasst, die Ursache des Signals anhand der visuellen Informationspräsentation am Monitor zu ermitteln, um entsprechend reagieren zu können. Aus psychologischer Sicht wird die Warnfunktion der Alarme vor allem durch den Aufbau der Alarmtöne, die als durchdringend und schrill empfunden werden, erreicht. Hieraus ergeben sich allerdings auch einige der Hauptprobleme mit diesen Systemen. Die technischen Fortschritte bringen neben besseren und weitreichenden Überwachungsmöglichkeiten auch eine steigende Anzahl an unterschiedlichen Alarmsignalen mit sich, deren laute und schrille Signalgebung in Kombination mit der hohen Frequenz von falsch positiven Alarmen das Arbeitsumfeld in der Anästhesie negativ beeinflussen. Die einzelnen Signale können akustisch nicht mehr zugeordnet werden, das Anästhesiepersonal ist einer ständigen, häufig klinisch irrelevanten, Lärmbelastung ausgesetzt, was zum Abschalten der Alarme verleitet (Hagenouw 2007). Die Studienlage über Funktionsweise und Umgang mit den Alarmsystemen ist umfangreicher als zu Prozessaspekten des Monitorings. Gegenstand der meisten Untersuchungen ist hier die von Probanden einem Alarm zugeordnete Dringlichkeit im Vergleich zur tatsächlichen Dringlichkeit des Ereignisses sowie das Verhältnis von Fehlalarmen und korrekten Alarmen im klinischen Alltag. Mondor und Finley ließen unerfahrene Studenten die Dringlichkeit von 13 im Operationsbereich häufig vorkommenden akustischen Alarmsignalen auf einer Zehn-Punkte-Skala festlegen und verglichen das Ergebnis mit der tatsächlichen Dringlichkeit der jeweiligen Signale. Es konnte keine Übereinstimmung gefunden werden. Alarmsignale, die eine schlechte Patientenkonstitution anzeigten, wurden als weniger dringlich eingestuft als solche, die technische Mängel wiedergaben (Mondor 2003). Loeb zeigte 1992 in einer Studie mit 44 erfahrenen Anästhesisten, dass von den 15 vorgespielten Alarmsignalen nur 34% dem richtigen Überwachungsparameter zugeordnet werden konnten. Hauptproblem war hierbei die Ähnlichkeit der einzelnen Toncharakteristika (Loeb 1992). In einer Studie von Kestin wurden alle perioperativ aufgetretenen Alarme von einem unabhängigen Beobachter notiert und in die 3 Kategorien „Risiko für den Patienten“, „Überschreitung der Alarmgrenzen“ und „Fehlalarm“ eingeteilt. Es zeigte sich, dass nur 3% der

aufgetretenen Alarme ein tatsächliches Risiko für den Patienten meldeten, 75% waren Fehlalarme (Kestin 1988).

In der vorliegenden Arbeit werden die Aspekte der Prozessrelevanz des anästhesiologischen Monitoring und die Qualität der perioperativen Monitoring-Alarme und ihr Einfluss auf die anästhesiologische Tätigkeit aufgegriffen und an Hand einer umfangreichen Prozessanalyse des Zentral-OPs einer Universitätsklinik zur Beurteilung der Qualität und Effizienz zweier Monitoringsysteme in zwei verschiedenen klinischen Settings im Detail untersucht.

2 Arbeitshypothese und Fragestellung

Gegenstand der hier vorliegenden Untersuchung ist es, an Hand von empirischen Daten die Prozesszeiten von anästhesiologischem Monitoring und die Qualität der perioperativen Monitoring-Alarmer an Hand von 4, respektive 9, Operationssälen der Bereiche Urologie, Allgemeinchirurgie und Herzchirurgie im Detail zu analysieren und Schwachstellen aufzuzeigen.

Im Einzelnen wurden folgende Fragen untersucht:

- Welcher Zeitaufwand ist für Aufbau und Wechsel des anästhesiologischen Monitoring aufzubringen?
- Welche Tätigkeiten für die Vor- und Nachbereitung des anästhesiologischen Monitoring sind im Einzelnen notwendig?
- Wie ist die Auslastung der einzelnen anästhesiologischen Gerätegruppen im Verlauf des Tages?
- Wie lang sind die durch den Wechsel der Lokalitäten (z.B. separater Einleitungsraum zu Operationssaal und Operationssaal zu Ausleitungsraum) entstehenden Blindzeiten in der Patientenüberwachung?
- Unterscheiden sich die verschiedenen Monitoringsysteme (Steck- und Modulsystem) hinsichtlich der Prozessaspekte?
- Wie hoch ist die Frequenz der einzelnen Alarmtypen in den Bereichen urologische und kardiochirurgische Anästhesie?
- Wie viele dieser Alarmer sind klinisch für den Arzt irrelevant?
- Welche Reaktionen erfolgen auf die Alarmsignale und wie viel Zeit vergeht bis zur Reaktion?
- Spielt das zur Anwendung kommende System eine Rolle bei der Reaktion des Anästhesisten auf die Alarmer?

Ziel der Arbeit ist es somit, die Qualität der bestehenden Monitoringsysteme im klinischen Alltag durch die Untersuchung der wichtigsten Teilaspekte zu beurteilen und Schwachstellen für zukünftige Entwicklungsansätze aufzuzeigen.

3 Material und Methoden

3.1 Art der Studie

Die Datenerhebung wurde mit Genehmigung der Ethikkommission der Ärztekammer Hamburg in einem Zeitraum von vier Monaten im Zentral-OP des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf durchgeführt.

Ein „informed-consent“ mit Information und Einwilligung der an der Datenerhebung beteiligten Patienten war für diese Art der Studie nach Ansicht der Ethikkommission nicht notwendig, da lediglich Routinedaten der Krankenversorgung erfasst wurden. Die aus Gründen des Gruppenvergleichs erfassten klinischen und administrativen Routinedaten (Geburtsdatum, Geschlecht, Alter, ASA-Status und ICPM-Nummer des Eingriffs) konnten dem Anästhesieprotokoll entnommen werden.

3.2 Setting der Studie

Der Zentral-OP des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf besteht aus 9 Operationssälen. Die Operationssäle sind auf zwei über eine interne Treppe miteinander verbundene Stockwerke aufgeteilt. Im 1. Obergeschoss befinden sich vier Operationssäle: Herz- und Gefäßchirurgie (Saal 1-3) und Allgemeinchirurgie (Saal 4). Im 2. Obergeschoss befinden sich fünf Operationssäle: Hepatobiliärchirurgie (Saal 1), Allgemeinchirurgie (Saal 2 und 3) und Urologie (Saal 4 und 5). Alle neun Säle verfügen über einen separaten, an den Operationssaal angrenzenden Narkoseeinleitungsraum.

Bei den allgemeinchirurgischen und urologischen Operationssälen gibt es zusätzlich eigene Ausleitungsräume, in der Regel zwischen zwei OPs. Von diesem wird der Patient nach erfolgter Narkoseausleitung in den Aufwachraum gebracht. Der hepatobiliärchirurgische Saal verfügt über keinen eigenen Ausleitungsraum, hier wird die benachbarte allgemeinchirurgische Ausleitung genutzt. In der Herz- und Gefäßchirurgie wird aufgrund der im Regelfall hier durchgeführten postoperativen Direktverlegung auf die angrenzende Intensivstation auf die Nutzung von Ausleitungsräumen verzichtet. Die Lagepläne der beiden OP-Ebenen sind in Abbildung 1 und 2 zu sehen.

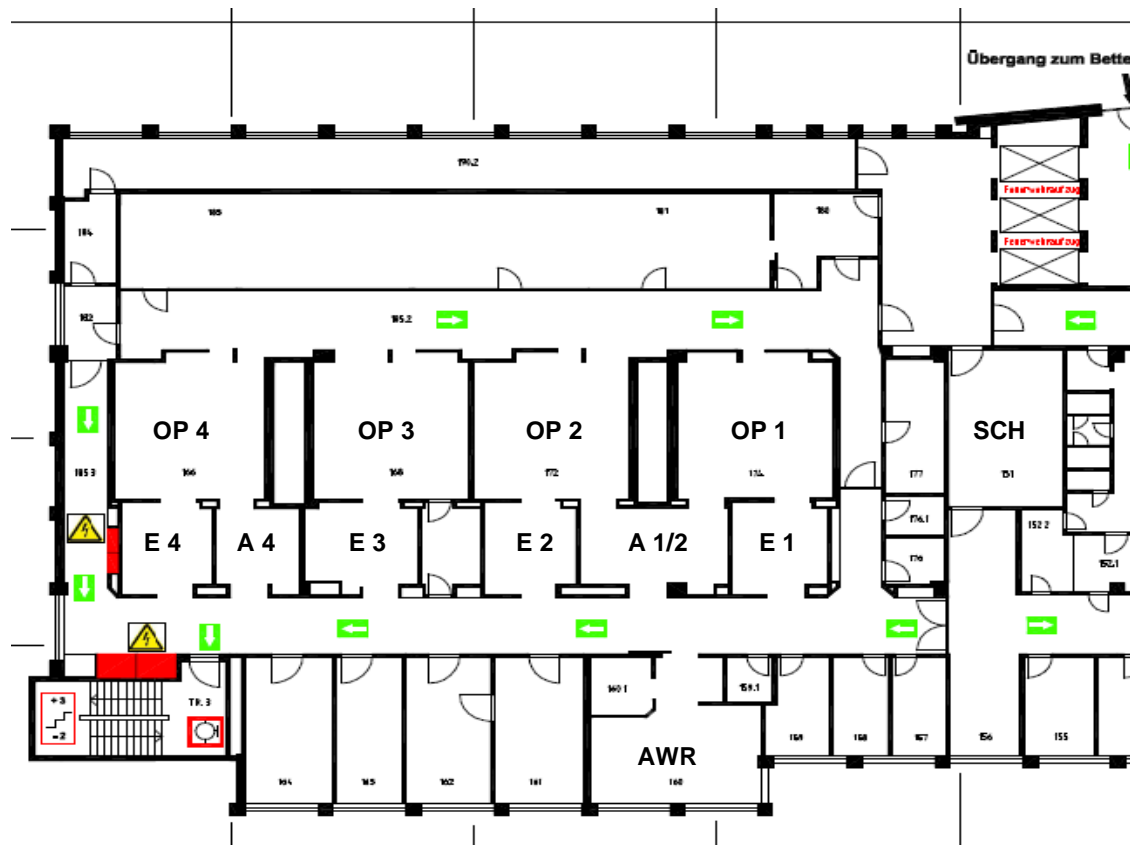


Abbildung 1: OP-Ebene 1

Der Lageplan der OP-Ebene 1 zeigt vier OP-Säle, jeder verfügt über einen direkt angebotenen Einleitungsraum. OP-Saal 1 und 2 teilen sich einen Ausleitungsraum, Saal 3 verfügt über keinen und Saal 4 ist ein eigener Ausleitungsraum zugeordnet. Zudem sind Schleuse und Aufwachraum ersichtlich.

OP-Saal 1-3 = Herz-Thorax-Gefäßchirurgie, OP-Saal 4 = Allgemeinchirurgie

Abkürzungen: OP = OP-Saal; E = Einleitungsraum; A = Ausleitungsraum; AWR = Aufwachraum; SCH = Schleuse.

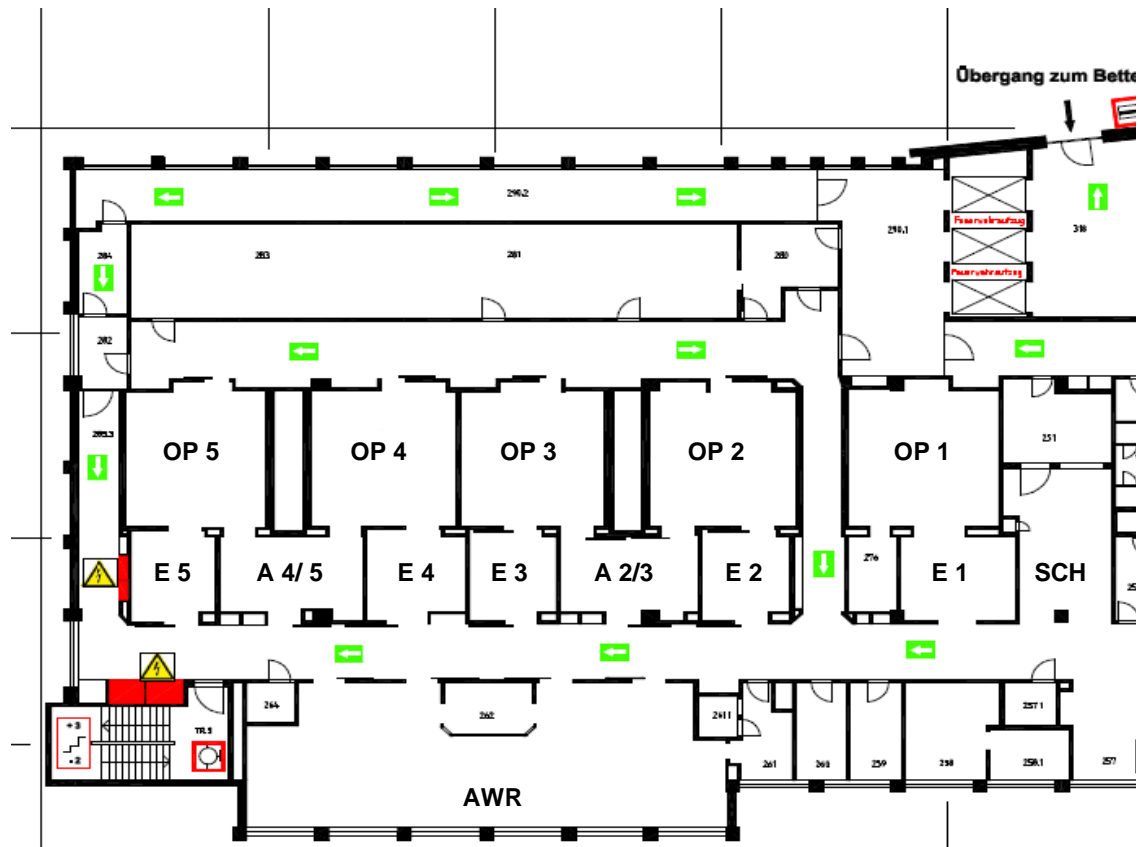


Abbildung 2: OP-Ebene 2

Der Lageplan der OP-Ebene 2 zeigt fünf OP-Säle, jeder verfügt über einen direkt angebotenen Einleitungsraum. Der OP-Saal 1 besitzt keinen eigenen Ausleitungsraum, Saal 2 und 3, sowie Saal 4 und 5 teilen sich jeweils einen Ausleitungsraum. Zudem sind Schleuse und Aufwachraum ersichtlich. OP-Saal 1-3 = Allgemeinchirurgie, OP Saal 4-5 = Urologie
 Abkürzungen: OP = OP-Saal; E = Einleitungsraum; A = Ausleitungsraum; AWR = Aufwachraum; SCH = Schleuse.

3.3 Anästhesiologisches Patientenmonitoring und Anästhesiegeräte

Für das anästhesiologische Monitoring und die intraoperative Therapie wird eine Vielzahl von verschiedenen Geräten verwendet. Die wesentlichen Funktionen lassen sich in folgende Gruppen zusammenfassen:

Beatmungsgerät und Infusionspumpen

1. Beatmungsgerät mit Vaporen für volatile Anästhetika,
2. Perfusoren,
3. Infusionspumpen.

Monitoringgeräte

4. EKG,
5. Oszillographische Blutdruckmessung,
6. Pulsoxymetrie,
7. Invasive Drücke (arterielle, zentralnervöse, pulmonalarterielle Blutdrücke),
8. Temperaturmessung,
9. Capnographie,
10. Atemgasanalyse für die volatilen Anästhetika.

Die unterschiedlichen Funktionen sind teilweise an jedem Arbeitsplatz anders realisiert, was eine Vielzahl von sehr unterschiedlichen Konstellationen von Geräten zur Folge hat. Insbesondere sind im Beatmungsgerät häufig verschiedene Monitoring-Modalitäten fest integriert.

Die einzelnen Geräte in den untersuchten 9 Operationssälen sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Aufstellung der Anästhesiegeräte in den Operationssälen des Zentral-OP

Tabelle 1.1: Herzchirurgischer OP, Saal 1, 1. OG

Arbeitsplatz	Funktionen	Gerätetyp	Anzahl	Hersteller
Einleitung	Beatmung, Capnometrie, NiBP, SpO2	Cicero	1	Dräger Medical, Lübeck
	EKG, Temp., Invasivdruck	Marquette tram rac 4, Tramscope 12	1	General Electrics Medical, München
	Perfusor	Braun segura FT	2	B. Braun, Melsungen
OP	Beatmung, Capnometrie, NiBP, SpO2	Cicero	1	Dräger Medical, Lübeck
	EKG, Temp., Invasivdruck	Marquette tram rac 4, Tramscope 12	1	General Electrics Medical, München
	Perfusor	Braun segura FT	5	B. Braun, Melsungen
	Infusionspumpe	Infusomat fms	2	B. Braun, Melsungen
	Infusionspumpe	Infusomat fm	2	B. Braun, Melsungen
Intensivtransport	Beatmung	Oxylog	1	Dräger Medical, Lübeck
	EKG, Temperatur, Invasivdruck	Marquette tram rac 4, smart pac	1	General Electrics Medical, München

Tabelle 1.2: Herzchirurgischer OP, Saal 2, 1. OG

Arbeitsplatz	Funktionen	Gerätetyp	Anzahl	Hersteller
Einleitung	Beatmung, Capnometrie	Primus	1	Dräger Medical, Lübeck
	EKG, SpO2, NiBP, Temp., Invasivdruck	Infinity kappa XLT	1	Dräger Medical, Lübeck
	Perfusor	Braun segura FT	1	B. Braun, Melsungen
OP	Beatmung, Capnometrie	Zeus	1	Dräger Medical, Lübeck
	EKG, SpO2, NiBP, Temp., Invasivdruck	Infinity kappa XLT	1	Dräger Medical, Lübeck
	Perfusor	Braun segura FT	4	B. Braun, Melsungen
	Infusionspumpe	Infusomat fms	2	B. Braun, Melsungen
	Infusionspumpe	Infusomat fm	2	B. Braun, Melsungen
Intensivtransport	Beatmung	Oxylog	1	Dräger Medical, Lübeck
	EKG, SpO2, NiBP, Temp., Invasivdruck	Infinity delta	1	Dräger Medical, Lübeck

Tabelle 1.3: Herzchirurgischer OP, Saal 3, 1. OG

Arbeitsplatz	Funktionen	Gerätetyp	Anzahl	Hersteller
Einleitung	Beatmung, Capnometrie, NiBP, SpO2	Cicero	1	Dräger Medical, Lübeck
	EKG, Temp., Invasivdruck	Marquette tram rac 4, Tramscope 12	1	General Electrics Medical, München
	Perfusor	Braun segura FT	1	B. Braun, Melsungen
OP	Perfusor	Döring "gelb"	1	Döring GmbH, Haar
	Beatmung, Capnometrie, NiBP, SpO2	Cicero	1	Dräger Medical, Lübeck
	EKG, Temp., Invasivdruck	Marquette tram rac 4, Tramscope 12	1	General Electrics Medical, München
	Perfusor	Braun segura FT	4	B. Braun, Melsungen
	Perfusor	Döring "gelb"	1	Döring GmbH, Haar
Intensivtransport	Infusionspumpe	IVAC 591	4	Cardinal Health GmbH, Kleve
	Beatmung	Oxylog	1	Dräger Medical, Lübeck
	EKG, Temp., Invasivdruck	Marquette tram rac 4, smart pac	1	General Electrics Medical, München

Tabelle 1.4: Allgemeinchirurgischer OP, Saal 4, 1. OG

Arbeitsplatz	Funktionen	Gerätetyp	Anzahl	Hersteller
Einleitung	Beatmung, Capnometrie	Primus	1	Dräger Medical, Lübeck
	EKG, SpO2, NiBP, Temp., Invasivdruck	Infinity kappa XLT	1	Dräger Medical, Lübeck
	Perfusor	Braun segura FT	1	B. Braun, Melsungen
OP	Beatmung, Capnometrie	Zeus	1	Dräger Medical, Lübeck
	EKG, SpO2, NiBP, Temp., Invasivdruck	Infinity kappa XLT	1	Dräger Medical, Lübeck
	Perfusor	Braun segura FT	2	B. Braun, Melsungen
Ausleitung	Perfusor	braun compact	4	B. Braun, Melsungen
	Beatmung	Dräger Kreisteil	1	Dräger Medical, Lübeck
	EKG, SpO2, NiBP, Temp., Invasivdruck	Infinity kappa XLT	1	Dräger Medical, Lübeck
	Perfusor	Braun segura FT	2	B. Braun, Melsungen

Tabelle 1.5: Hepatobiliärchirurgischer OP, Saal 1, 2. OG

Arbeitsplatz	Funktionen	Gerätetyp	Anzahl	Hersteller
Einleitung	Beatmung, Capnometrie, NiBP, SpO2	Cicero EM	1	Dräger Medical, Lübeck
	EKG, Temp., Invasivdruck	Marquette tram rac 4, Tramscope 12	1	General Electrics Medical, München
OP	Perfusor	Braun segura FT	1	B. Braun, Melsungen
	Beatmung, Capnometrie, NiBP, SpO2	Cicero EM	1	Dräger Medical, Lübeck
	EKG, Temp., Invasivdruck	Marquette tram rac 4, Solar 8000	1	General Electrics Medical, München
	Perfusor	Braun segura FT	2	B. Braun, Melsungen
	Perfusor	Döring "gelb"	1	Döring GmbH, Haar

Tabelle 1.6: Allgemeinchirurgischer OP, Saal 2, 2. OG

Arbeitsplatz	Funktionen	Gerätetyp	Anzahl	Hersteller
Einleitung	Beatmung, Capnometrie, NiBP, SpO2	Cicero EM	1	Dräger Medical, Lübeck
	EKG, Temp., Invasivdruck	Marquette tram rac 4, Tramscope 12	1	General Electrics Medical, München
	Perfusor	Braun segura FT	1	B. Braun, Melsungen
OP	Beatmung, Capnometrie, NiBP, SpO2	Cicero EM	1	Dräger Medical, Lübeck
	EKG, Temp., Invasivdruck	Marquette tram rac 4, Solar 8000	1	General Electrics Medical, München
	Perfusor	Braun segura FT	3	B. Braun, Melsungen
Ausleitung	Beatmung	Dräger Kreisteil	1	Dräger Medical, Lübeck
	Capnometrie	Marquette Eagle 4000	1	General Electrics Medical, München
	EKG, SpO2, NiBP, Temp., Invasivdruck	Marquette Eagle 4000	1	General Electrics Medical, München

Tabelle 1.7: Allgemeinchirurgischer OP, Saal 3, 2. OG

Arbeitsplatz	Funktionen	Gerätetyp	Anzahl	Hersteller
Einleitung	Beatmung, Capnometrie, NiBP, SpO2	Cicero	1	Dräger Medical, Lübeck
	EKG, Temp., Invasivdruck	Marquette tram rac 4, Tramscope 12	1	General Electrics Medical, München
	Perfusor	Braun segura FT	1	B. Braun, Melsungen
OP	Beatmung, Capnometrie	Physioflex	1	Dräger Medical, Lübeck
	EKG, Temp., Invasivdruck	Marquette tram rac 4, Solar 8000	1	General Electrics Medical, München
	Perfusor	Braun segura FT	2	B. Braun, Melsungen
Ausleitung	Beatmung	Dräger Kreisteil	1	Dräger Medical, Lübeck
	EKG, SpO2, NiBP, Temp., Invasivdruck	Marquette Eagle 3001	1	General Electrics Medical, München

Tabelle 1.8: Urologischer OP, Saal 4, 2. OG

Arbeitsplatz	Funktionen	Gerätetyp	Anzahl	Hersteller
Einleitung	Beatmung, Capnometrie	Primus	1	Dräger Medical, Lübeck
	EKG, SpO2, NiBP, Temp., Invasivdruck	Infinity delta	1	Dräger Medical, Lübeck
	Perfusor	Braun segura FT	2	B. Braun, Melsungen
OP	Beatmung, Capnometrie	Primus	1	Dräger Medical, Lübeck
	EKG, SpO2, NiBP, Temp., Invasivdruck	Infinity delta	1	Dräger Medical, Lübeck
	Perfusor	Braun segura FT	4	B. Braun, Melsungen
Ausleitung	Beatmung	Dräger Kreisteil	1	Dräger Medical, Lübeck
	EKG, SpO2, NiBP, Temp., Invasivdruck	Infinity delta	1	Dräger Medical, Lübeck

Tabelle 1.9: Urologischer OP, Saal 5, 2. OG

Arbeitsplatz	Funktionen	Gerätetyp	Anzahl	Hersteller
Einleitung	Beatmung, Capnometrie	Primus	1	Dräger Medical, Lübeck
	EKG, SpO2, NiBP, Temp., Invasivdruck	Marquette tram rac 4, Solar 7000	1	General Electrics Medical, München
	Perfusor	Braun segura FT	1	B. Braun, Melsungen
OP	Beatmung, Capnometrie	Primus	1	Dräger Medical, Lübeck
	EKG, SpO2, NiBP, Temp., Invasivdruck	Marquette tram rac 4, Solar 8000	1	General Electrics Medical, München
	Perfusor	Braun segura FT	3	B. Braun, Melsungen
Ausleitung	Beatmung	Dräger Kreisteil	1	Dräger Medical, Lübeck
	EKG, SpO2, NiBP, Temp., Invasivdruck	Marquette Eagle 4000	1	General Electrics Medical, München

Abkürzungen: OG = Obergeschoss, SpO2 = Sauerstoffsättigung, NiBP = nicht invasiver Blutdruck, Temp. = Temperatur.

3.4 Erfasste Parameter des Patientenmonitoring

3.4.1 Vor- und Nachbereitung der Geräte

Aus Sicherheits- und Hygienegründen bereitet die Anästhesiepflege die anästhesiologischen Geräte vor jedem Patienten neu auf. Dies ist zeitaufwendig und muss aus Gründen des reibungslosen Ablaufs vor Beginn einer neuen Anästhesie abgeschlossen sein. Um den damit verbundenen Arbeitsaufwand abzuschätzen, wurden zwei Wochen lang an vier ausgewählten Anästhesiearbeitsplätzen mit Einleitung, Operationssaal und Ausleitung/Intensivtransport die Vorgänge während der morgendlichen Arbeitsplatzvorbereitung und der Vorbereitung auf einen Patientenwechsel dokumentiert. Die Dokumentation erfolgte an fünf Arbeitstagen für jeden der vier Arbeitsbereiche, beginnend um 6:30 Uhr mit dem Arbeitsbeginn der Anästhesiepflege und endend um 15:30 Uhr mit dem Ende der regulären Arbeitszeit.

Für jeden aufgenommenen Fall wurde erfasst, welche Geräte, unterteilt in Beatmung, Monitoring, Perfusoren und Infusomaten, in Einleitung, Operationssaal und Ausleitung/Intensivtransport genutzt wurden und welche vor der Nutzung neu aufgestellt werden mussten.

Die Dokumentation des Zeitaufwandes für die einzelnen auszuführenden Arbeitsschritte erfolgte in Minuten und Sekunden. Die am Gerät vorgenommenen Tätigkeiten wurden im Vorfeld der Datenerhebung definiert als „Neuaufbau“, „Hardware ändern“, „Testung“ und „Software ändern“.

- Das Tätigkeitsfeld „Neuaufbau“ betrifft vor allem die Perfusoren und Infusomaten, da diese nicht fest im Raum installiert sind und häufig aus einem der anderen Räumlichkeiten geholt werden müssen.
- „Hardware ändern“ bezeichnet die Erneuerung fester Bestandteile des Geräts. Dies umfasst die Installation neuer Schläuche am Beatmungsgerät, das Einlegen einer neuen Perfusorspritze, sowie das Anbringen neuer Kabel am Monitoringsystem vor Eintreffen des folgenden Patienten.
- Die „morgendliche Routinetestung“ bezeichnet den täglich vor Inbetriebnahme des Beatmungsgeräts durchzuführenden Selbsttest, der von der Anästhesiepflege durchgeführt wird. Wird hierbei ein Fehler entdeckt, stoppt das Gerät den Test und gibt eine entsprechende Meldung. Nach Behebung des Fehlers muss der Test erneut gestartet werden. Anästhesie-Beatmungsgeräte müssen zusätzlich zum morgendlichen Routinetest mittels eines geräteseitig konfigurierten Schnelltests vor jeder weiteren Nutzung auf korrekte Funktion getestet werden. Zur Auswertung der Daten wurden diese Schnelltests und die morgendliche Routinetestung zur Kategorie „Testung“ zusammengefasst.
- Mit „Software ändern“ ist die individuelle Einstellung des Geräts auf den Patienten gemeint, vor allem die Anpassung der jeweiligen Alarmgrenzen an Monitoringsystem und Beatmungsgerät.

3.4.2 Ressourcennutzung und Geräteauslastung

Mittels Zufallsgenerator in Excel wurden innerhalb eines Zeitraums von 5 Tagen pro Tag zehn unterschiedliche Uhrzeiten zwischen 7:00 Uhr und 15:30 Uhr ermittelt, an denen die Gerätenutzung in Einleitung, OP und Ausleitung/Intensivtransport der neun

Säle dokumentiert wurde. Es wurde somit eine zufällig gewählte Punktinzidenz ermittelt (Miranda 2003).

Im Detail wurde erfasst, welche Geräte der oben aufgeführten Standardausstattung des OP zu der spezifischen Zeit an einem Patienten in Benutzung waren, welche unbenutzt blieben und welche zum Dokumentationszeitpunkt nicht im Raum vorhanden waren. Hierdurch konnte die Auslastungsquote ermittelt werden, die nach nachfolgenden Gerätetypen differenziert wurde.

- Beatmungsgeräte
- Monitoring
- Perfusoren
- Infusomaten

3.4.3 Prozesszeiten des perioperativen Monitoring bei der Ein- und Ausleitung

Untersucht wurden die Prozesszeiten und die Monitoringqualität von zwei unterschiedlichen anästhesiologischen Monitoringsystemen, die in der Klinik verwendet wurden. Als Beispiel eines Stecksystems wurde das System Infinity (Dräger Medical, Lübeck) untersucht (Herz- und Gefäßchirurgie Saal 2 und Urologie Saal 4) und als Beispiel eines Modulsystems wurde Marquette tramrac 4 (General Electrics Medical, München) gewählt (Herz- und Gefäßchirurgie Saal 1 und Urologie Saal 5).

- Modulsystem: Hier sind die einzelnen Überwachungskabel gemeinsam mit einem Modul verbunden. Dieses Modul kann als Ganzes in eine Halterung am Monitor eingeführt und beim Wechsel der Räumlichkeiten in Einem aus der Halterung genommen und im Saal wieder eingefügt werden.



Abbildung 3: Modulsystem „Tramrac 4“ (General Electrics Medical, München)

- Stecksystem: Bei diesem System werden die Kabel der einzelnen Parameter vom Patienten ausgehend einzeln, bzw. über einen Adapter, in die dafür vorgesehenen Buchsen auf der Rückseite des Monitors eingestöpselt. Beim Wechsel der Räumlichkeiten wird dann der Adapterstecker übertragen.



**Abbildung 4: Stecksystem „Infinity Delta“
(Dräger Medical, Lübeck)**

Für den Vergleich der beiden Systeme wurden jeweils zwei Operationssäle derselben Fachdisziplin ausgewählt, die mit jeweils einem der beiden unterschiedlichen Systeme ausgestattet waren:

- Herz- und Gefäßchirurgie: Saal 1 und 2,
- Urologie: Saal 4 und 5.

Die Operationssäle eigneten sich zum Direktvergleich innerhalb der Fachdisziplin, da dort Patientenkollektiv und die Art der durchgeführten Operationen vergleichbar waren. Durch die Aufnahme der Kardiochirurgie in die Studie konnten neben den Prozesszeiten beim Übergang in den Aufwachraum auch die des Monitoring bei Intensivtransporten erfasst werden. Berücksichtigt wurden alle Ein- und Ausleitungen, die innerhalb der Regelarbeitszeit von 6:30 Uhr bis 15:30 Uhr stattfanden. Erfasst wurden die Dauer für das Anbringen und Abbauen des Monitoring am Patienten. Die Erfassung erfolgte durch unabhängige Beobachter, welche die Prozesszeiten

sekundengenau dokumentierten. Im Bereich der Urologie erfolgte die Datenerhebung für alle Anästhesieeinleitungen in der Regelarbeitszeit des OP in einem Zeitraum von jeweils 20 Tagen für jeden der untersuchten Säle. Im Bereich der Herzchirurgie betrug der Untersuchungszeitraum 10 Tage pro Saal.

Da wesentliche Monitoringqualitäten über das jeweilige Beatmungsgerät abgebildet sind, wurden die Beatmungsgeräte der Säle mit in die Untersuchung einbezogen (s. Tabelle 1).

3.4.4 Erfassung der Blindzeiten

Wie oben beschrieben findet das perioperative Monitoring im Sinne dieser Studie an drei unterschiedlichen Lokalisationen statt: Einleitungsraum, Operationssaal und Ausleitungsraum/Transport zur Intensivstation. Für den Wechsel der Lokalisationen war jeweils ein Wechsel der Monitoringsysteme vorzunehmen. Zwischen den beiden Lokalisationen entstanden dadurch zwangsläufig Zeiten ohne Monitoringwerte, die als Blindzeiten bezeichnet wurden.

Bei den entstehenden Blindzeiten wurde auf die Vorgänge des Anbringens und Abbauens des Monitoring in Einleitung, Operationssaal, Ausleitung und Aufwachraum, bzw. am Transportmonitor und auf der Intensivstation fokussiert. Hierfür wurde das Anbringen der Überwachungskabel am Patienten im Einleitungsraum durch die Anästhesiepflege als Beginn des Anbringens des Monitoring definiert. Des Weiteren wurde der Zeitpunkt des Erscheinens der ersten Messwerte für die periphere Sauerstoffsättigung, den Blutdruck und das EKG dokumentiert. Waren alle drei Parameter am Monitor lesbar, endete der Vorgang des Anbringens des Monitoring. Das Abbauen des Monitoring nach Anästhesie-Einleitung begann mit dem Lösen der Kabel vom Monitor und endete, wenn alle drei Parameter nicht mehr ablesbar waren. Auch hier wurde für Sauerstoffsättigung, Blutdruck und EKG einzeln der Zeitpunkt des letzten Messwertes erhoben. Auf analoge Weise wurden das An- und Abbauen des Monitoring in Einleitung, Operationssaal, Ausleitung/Intensivtransport und im Aufwachraum/auf der Intensivstation dokumentiert und die entstandenen Blindzeiten beim Wechsel der einzelnen Räumlichkeiten ermittelt. Erfolgte die Extubation bereits im Operationssaal und nicht in der Ausleitung, wurde die Blindzeit zwischen Operationssaal und Aufwachraum erfasst. Die Erfassung erfolgte in allen Fällen sekundengenau.

Im urologischen Bereich kam der periphere Blutdruck zur Auswertung, im herz- und gefäßchirurgischen Bereich dagegen der Invasivdruck, da dieser hier als

Überwachungsstandard gilt. Die Datenerhebung erfolgte in den oben genannten Zeiträumen für die einzelnen Disziplinen.

3.4.5 Erfassung der Monitoring-Alarme

Die Dokumentation der auftretenden Alarme begann mit dem ersten Alarm des jeweiligen Falls in der Einleitung und endete im Aufwachraum/auf der Intensivstation mit der Übergabe des Patienten an das dortige Pflegepersonal oder den weiterbehandelnden Arzt, wobei eine Unterbrechung der Datenerhebung vom Zeitpunkt des Schnitts im Operationssaal bis zum Zeitpunkt des Operationsendes erfolgte.

Die auftretenden Alarme wurden nach dem Alarmstatus eingeteilt in korrekte Alarme und Fehlalarme.

Ein korrekter Alarm zeigt die Über- oder Unterschreitung einer definierten Alarmgrenze an. Es erfolgte eine weitere Differenzierung der korrekten Alarme in angemessene und unnötige Alarme. Bei einem unnötigen Alarm werden zwar die Alarmgrenzen überschritten, die Situation erfordert aber nicht die Aufmerksamkeit des Anästhesisten, entweder weil das Ereignis trivial ist (zum Beispiel bei einem Tachykardiealarm bei einer Herzfrequenz von 105/Min.) oder weil der Alarm vor etwas warnt, das für den Bediener offensichtlich ist. Ein Apnoealarm beispielsweise nach Lösen des Beatmungsschlauches vom Patienten zum Transport wäre kein Fehlalarm, da für das Gerät die Bedingungen einer Apnoe erfüllt sind. Für den Anästhesisten ist es aber ein unnötiger Alarm, da er selbst den Beatmungsschlauch gelöst hat. Die Differenzierung zwischen angemessenen und unnötigen Alarmen erfolgte anhand der Beurteilung der Reaktion des Anästhesisten auf den jeweiligen Alarm.

Umgangssprachlich werden Fehlalarme oft mit unnötigen Alarmen gleichgesetzt, was analytisch irreführend ist. In dieser Studie war ein Fehlalarm definiert als ein Alarm ohne Überschreitung der im Vorfeld festgelegten und am Gerät eingestellten Standardalarmgrenzen. Ein Fehlalarm wäre somit eine echte Fehlfunktion des Geräts (zum Beispiel ein Hypertoniealarm bei normotonomem Patienten).

Folgende Alarmer waren in der Standardkonfiguration voreingestellt.

Überwachungseinheit	Alarm	Standardalarmgrenzen
EKG	Asystolie	
	Rhythmusalarm	50-100/Min
	Kein Signal	
	Sonstiges	
Peripherer Blutdruck (MAD)	Hypertonie	110 mmHg
	Hypotonie	60 mmHg
	Kein Signal	
	Sonstiges	
Invasivdruck (MAD)	Hypertonie	110 mmHg
	Hypotonie	60 mmHg
	Kein Signal	
	Sonstiges	
Sauerstoffsättigung	Rhythmusalarm	50-100/Min
	Niedrig	90%
	Sonstiges	
Ventilation	Apnoe	
	CO2 hoch	50 mmHg
	Peripherer Atemwegswiderstand hoch	40 (mmHg*Min)/l
	Peripherer Atemwegswiderstand niedrig	8 (mmHg*Min)/l
	Atemminutenvolumen hoch	12 l
	Atemminutenvolumen niedrig	3,4 l
	Volatilanästhetika hoch	Iso: 2,3 l/Min Hal.: 1,5 l/Min Sevo: 4,2l/Min
	Sonstiges	

Tabelle 2: Standardeinstellung der Alarmgrenzen

Abkürzungen: MAD = Mittelarterieller Druck, CO2 = Kohlendioxid, Iso = Isofluran, Hal = Halothan, Sevo = Sevofluran

Es gibt eine Vielzahl von Fehlerquellen, die unnötige und für das Personal irritierende Alarmer nach sich ziehen:

- Falsch angelegte EKG-Kabel,
- In der Größe nicht passend gewählte Blutdruckmanschetten,
- Gleichzeitige invasive und periphere Blutdruckmessungen am selben Arm führen durch das Abdrücken der Arterie über die Manschette zur Alarmtriggerung im Invasivdruck,
- Nagellack am Finger des Patienten führt zu falsch niedrigen Messungen in der Pulsoxymetrie.

Neben der Art der aufgetretenen Alarme wurde die Reaktion des Anästhesisten erhoben. Die möglichen Reaktionen waren im Vorfeld unterteilt in

- keine Reaktion,
- Messwiederholung,
- Verstellen der Grenzwerte,
- Anpassung der Ventilation,
- Gabe von Volumen oder eines Medikaments,
- Anpassung der volatilen Anästhetika oder das
- Abstellen des Alarms,
- Sonstiges.

Ebenfalls notiert wurde die Reaktionszeit des Anästhesisten in Sekunden vom Beginn des ersten Alarmsignals bis zur Handlung. Im Bereich der Urologie erfolgte die Datenerhebung für alle Anästhesieeinleitungen in der Regelarbeitszeit des OP in einem Zeitraum von jeweils 20 Tagen für jeden der untersuchten Säle. Im Bereich der Herzchirurgie lag der Untersuchungszeitraum bei 10 Tagen pro Saal

3.5 Statistische Analyse:

Für die Auswertung der gesammelten Daten wurde das Tabellenkalkulationsprogramm Excel 2003 (Microsoft Corporation, Richmond, USA) verwendet. Die weitere statistische Analyse erfolgte mit SPSS 11.5 (SPSS Inc., Chicago, USA). Der Vergleich der zwei Gruppen auf statistische Signifikanz wurde mittels Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. Hierbei wurde ein p-Wert von $p \leq 0,05$ als statistisch signifikant angesehen.

4 Ergebnisse

4.1 Vor- und Nachbereitung der Geräte

Im Rahmen der Datenerhebung wurden zur Untersuchung der Vorgänge während der anästhesiologischen Arbeitsplatzvorbereitung in den vier ausgewählten Operationsbereichen insgesamt 50 Fälle durchgeführt und dokumentiert. Die genaue Verteilung der Fallzahlen auf die einzelnen Operationssäle ist in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Stichprobengrößen zur Untersuchung der Arbeitsplatzvorbereitung

Operationsbereich	Herzchirurgischer OP		Urologischer OP		
	Operationssaal	Saal 1	Saal 2	Saal 4	Saal 5
Fallzahl		10	13	13	14

Vor Inbetriebnahme der anästhesiologischen Geräte muss ein standardisierter Vorbereitungsprozess durchlaufen werden. Der hierfür benötigte Arbeitsaufwand in den vier untersuchten Operationssälen ist in Abbildung 5 und 6 dargestellt. Die durchschnittliche Vorbereitungsdauer pro Tag für alle genutzten anästhesiologischen Gerätegruppen insgesamt (Abb. 5) war im kardiochirurgischen Bereich höher als im urologischen, was vor allem auf einen höheren Aufwand bei der Vorbereitung der Beatmungsgeräte zurückzuführen war. Innerhalb der jeweiligen Fachdisziplin ergab sich für Beatmungsgeräte und Monitoringsysteme ein ähnlicher Zeitaufwand, bei den Perfusoren und Infusomaten zeigten sich hier aber deutliche Unterschiede.

Die weitere Differenzierung in die einzelnen bei der Arbeit mit den vier untersuchten anästhesiologischen Gerätegruppen Beatmung, Monitoring, Perfusoren und Infusomaten anfallenden Tätigkeiten (Abb. 6) ergab für die Beatmungsgeräte die „Testung“ als die Tätigkeit mit dem höchsten Zeitbedarf, gefolgt von der Tätigkeit des „Hardware ändern“. Für die Vorbereitung der Monitoringsysteme fiel das „Hardware ändern“ am meisten ins Gewicht, ebenfalls notwendig war hier ein „Neuaufbau“ der Geräte. Die individuelle Anpassung der Parameter an den Patienten im Tätigkeitsfeld „Software ändern“ nahm dagegen weniger Zeit des täglichen Arbeitsaufwandes ein. Die Arbeit mit den Perfusorsystemen und Infusionspumpen bestand aus „Neuaufbau“ und „Hardware ändern“, wobei an Tisch 5 in der Urologie, im Gegensatz zu den anderen Operationsbereichen, auf das „Hardware ändern“ verzichtet werden konnte.

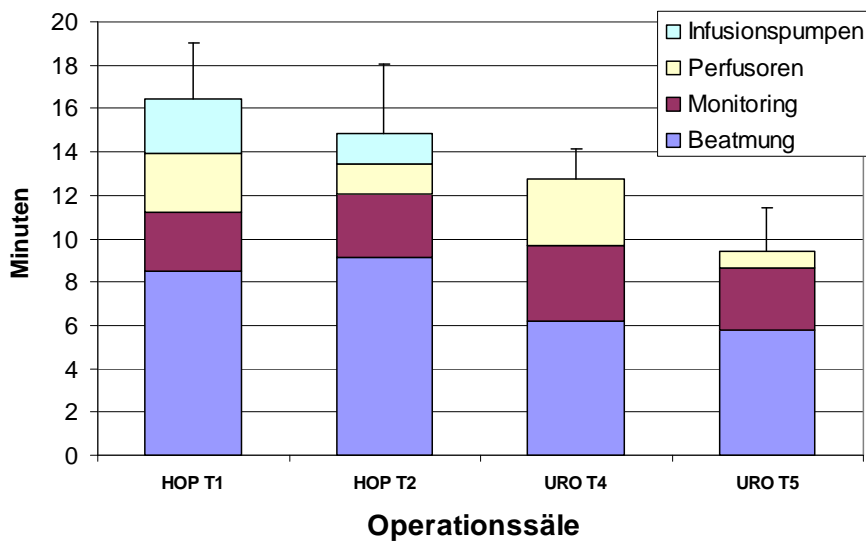


Abbildung 5: Gesamtdauer der Vor- und Nachbereitung in Minuten pro Fall

Dargestellt ist die Gesamtdauer der Vor- und Nachbereitung der Anästhesiegeräte in den 4 untersuchten Operationssälen. Die Werte sind als Mittelwert ± Standardabweichung in Minuten pro Fall abgebildet. Abkürzungen: HOP T1 = Herz- und Gefäßchirurgie Saal 1, HOP T2 = Herz- und Gefäßchirurgie Saal 2, URO T4 = Urologie Saal 4, URO T5 = Urologie Saal 5

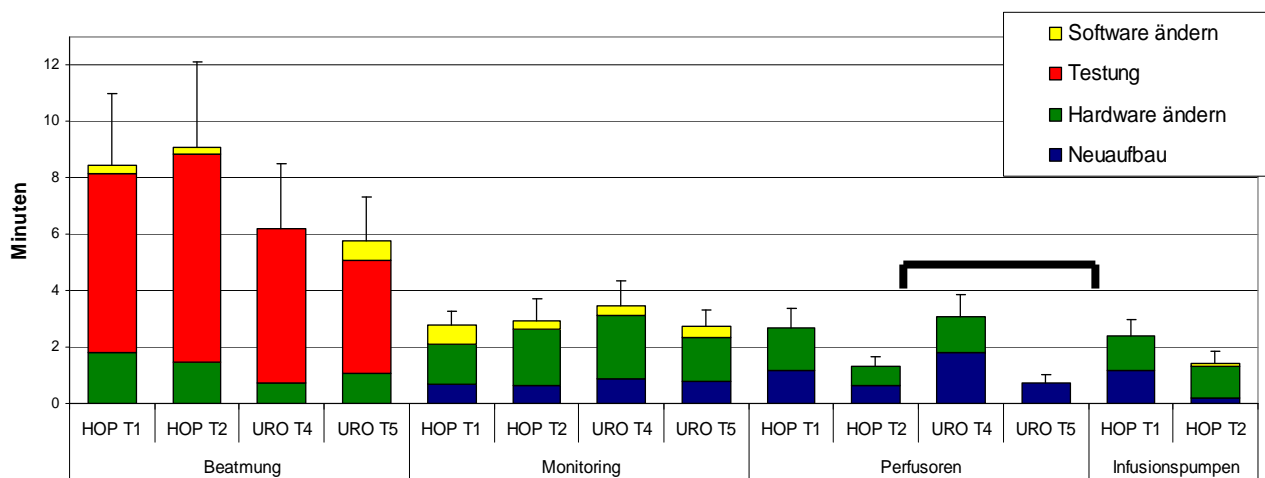


Abbildung 6: Einzelschritte der Vor- und Nachbereitung in Minuten pro Fall

Dargestellt ist die Verteilung der notwendigen Einzeltätigkeiten der Vor- und Nachbereitung der Anästhesiegeräte in den 4 untersuchten Operationssälen. Die Werte sind als Mittelwert ± Standardabweichung in Minuten pro Fall abgebildet.

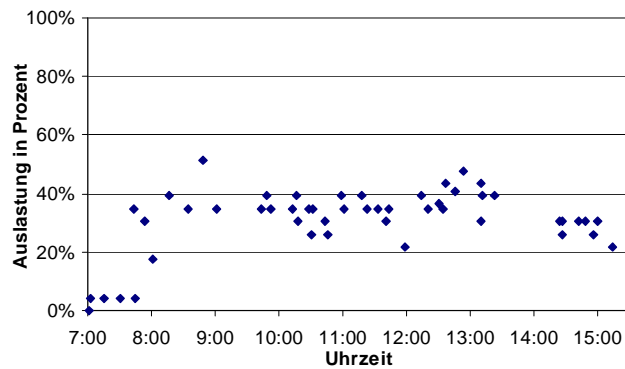
Abkürzungen: HOP T1 = Herz- und Gefäßchirurgie Saal 1, HOP T2 = Herz- und Gefäßchirurgie Saal 2, URO T4 = Urologie Saal 4, URO T5 = Urologie Saal 5

Die Klammer zeigt einen statistisch signifikanten Unterschied ($p \leq 0,05$) zwischen den bezeichneten Gruppen an.

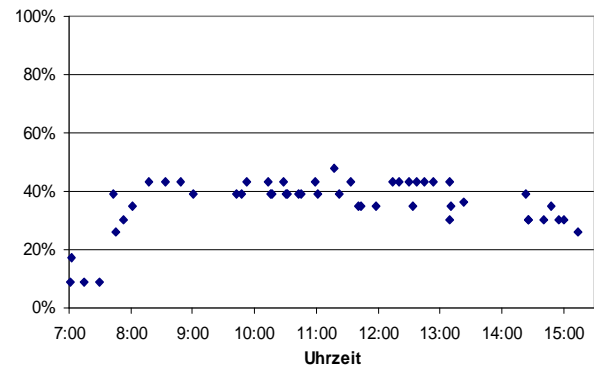
4.2 Ressourcennutzung und Geräteauslastung

In Abbildung 7 ist die Geräteauslastung (in Prozent) im Zentral-OP im Tagesverlauf zu sehen. Die untersuchten Gerätegruppen der Kategorien Beatmung (7a), Monitoring (7b), Perfusoren (7c) und Infusomaten (7d) sind getrennt voneinander graphisch dargestellt. Die Daten repräsentieren die gemessene Auslastung, die per Zufallsstichprobe über den Tag verteilt erhoben wurde. Es ergab sich eine maximale Auslastung von 52% für die Beatmungsgeräte und 48% für die Monitoringsysteme. Bei Perfusoren und Infusomaten lag die Geräteauslastung bei je 67% maximal. Die niedrigste Geräteauslastung zeigte sich zu Beginn des Arbeitstages, die höchste im Laufe des Vormittags zwischen zehn und vierzehn Uhr.

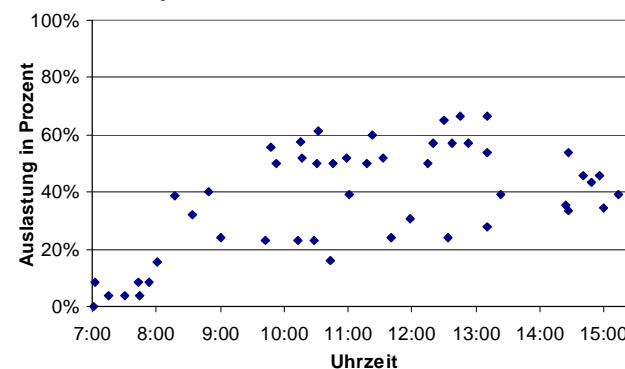
7a Beatmungsgeräte



7b Monitoringsysteme



7c Perfusorsysteme



7d Infusomaten

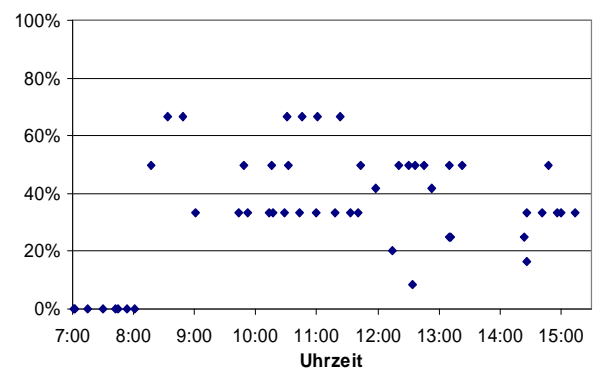


Abbildung 7: Geräteauslastung im Zentral-OP in Prozent

Dargestellt ist die Auslastung, definiert als die Anzahl der insgesamt vorhanden Geräte geteilt durch die Anzahl der in Betrieb befindlichen Geräte, der einzelnen Gerätegruppen zu den per Zufallszuordnung gewählten Uhrzeiten zwischen 7:00 und 15:30 in Prozent. Die Datenpunkte stellen den Wert aller Geräte der jeweiligen Gruppe an einem Tag zur Testzeit dar.

4.3 Prozesszeiten des perioperativen Monitoring

Die Datenerhebung zur Untersuchung der Prozesszeiten erfolgte in der Kardiochirurgie innerhalb von zehn Tagen, wobei hier insgesamt 19 Fälle dokumentiert werden konnten (Tab. 4). In der Urologie umfasste dieser Vorgang zwanzig Tage mit insgesamt 82 dokumentierten Fällen (Tab. 5). Die in den folgenden Tabellen dargestellten Daten sind für alle im Folgenden erörterten Untersuchungsgänge identisch, da diese alle im selben Arbeitsschritt erfolgten.

Tabelle 4: Stichprobengrößen zur Untersuchung der Prozesszeiten und des Alarmsystems in der Herz- und Gefäßchirurgie

Operationssaal	Modulsystem (Saal 1)	Stecksystem (Saal 2)
Fallzahl	10	9

Tabelle 5: Stichprobengrößen zur Untersuchung der Prozesszeiten und des Alarmsystems in der Urologie

Operationssaal	Modulsystem (Saal 5)	Stecksystem (Saal 4)
Fallzahl	45	37

Durch die Wahl zweier Säle gleicher Fachdisziplin zum Direktvergleich war das Patientenkollektiv in den zu vergleichenden Sälen ähnlich, im statistischen Test ergab sich kein signifikanter Unterschied (Tab. 6).

Tabelle 6: Patientencharakteristika

Tabelle 6.1: Herz- und Gefäßchirurgie

Operationssaal		Modulsystem (Saal 1)	Stecksystem (Saal 2)	p-Wert
Geschlecht	männlich	8	6	0,52
	weiblich	2	3	0,52
Mittleres Alter in Jahren		63 +/- 10	65 +/- 7	0,68
ASA - Klassifikation	1 und 2	0	0	1,00
	3	10	9	1,00
	4	0	0	
Dringlichkeit des Eingriffs	elektiv	10	9	1,00
	Notfall	0	0	

Tabelle 6.2: Urologie

Operationssaal		Modulsystem (Saal 5)	Stecksystem (Saal 4)	p-Wert
Geschlecht	männlich	41	37	0,07
	weiblich	4	0	0,07
Mittleres Alter in Jahren		56 +/- 21	64 +/- 6	0,17
ASA - Klassifikation	1 und 2	33	31	0,15
	3	12	6	0,15
	4	0	0	
Dringlichkeit des Eingriffs	elektiv	45	37	1,00
	Notfall	0	0	

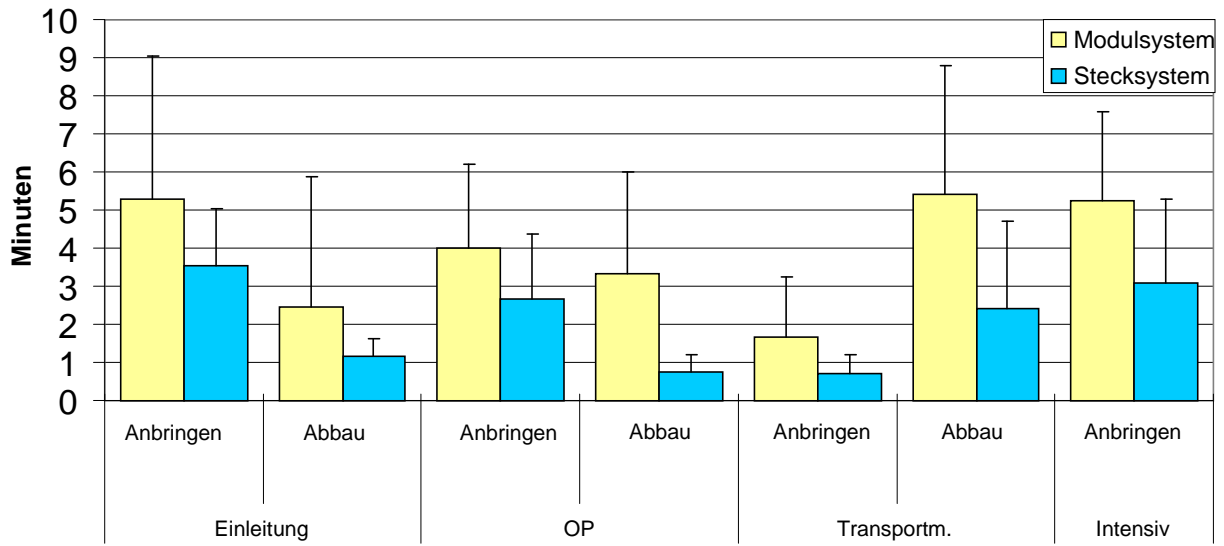
Im Bereich der Kardiochirurgie wurden vor allem Herzklappenoperationen und aortokoronäre Bypass-Operationen durchgeführt. In der Urologie umfassten die häufigsten Operationsverfahren vor allem Prostatektomien und Nephrektomien.

4.3.1 Prozesszeiten des perioperativen Monitoring in der Herz- und Gefäßchirurgie und in der Urologie

Die Summe aller Prozesszeiten lag je nach System und Bereich bei ca. 20 bis 30 Minuten. Das An- und Abbauen des Monitoring dauerte jeweils 2-5 Minuten, wobei das Anbringen des Monitoring durchweg längere Zeit in Anspruch nahm als das Abbauen der Systeme (Abb. 8a und 8b).

Zwischen den beiden Systemen zeigten sich zwar Unterschiede, die zum Teil auch statistische Signifikanz erreichten, klinisch aber wohl weniger ins Gewicht fallen, da die Unterschiede nur jeweils ein bis zwei Minuten ausmachten und in Zusammenschau der beiden Anwendungsbereiche Kardiochirurgie und Urologie kein eindeutiger Vorteil für ein System offensichtlich war.

8a Herz- und Gefäßchirurgie



8b Urologie

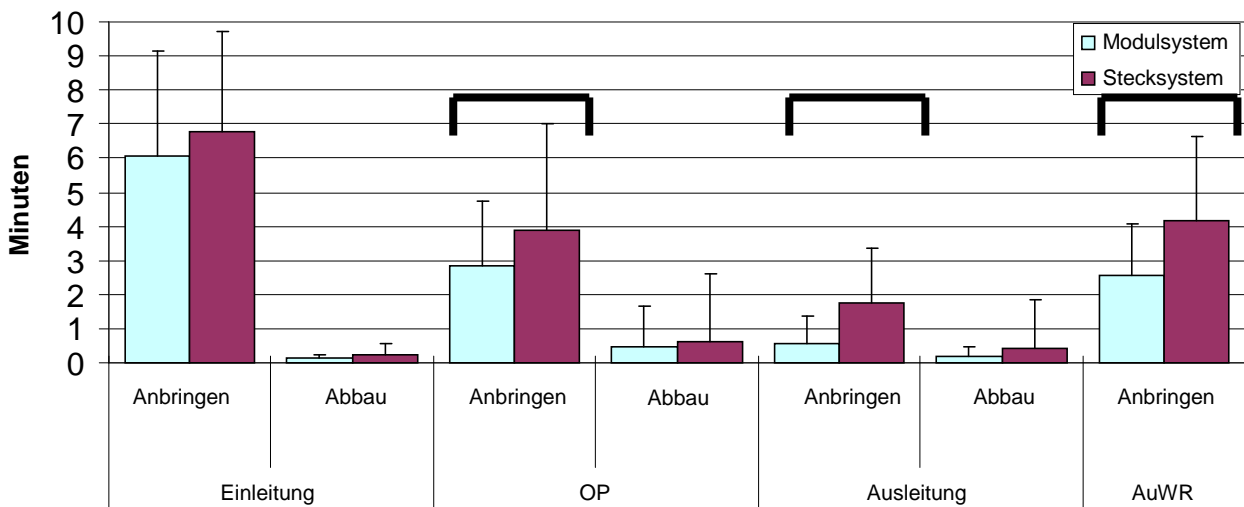


Abbildung 8a und 8b: Prozesszeiten der Monitoringsysteme in der Herz- und Gefäßchirurgie (8a) und Urologie (8b) in Minuten pro Fall

Dargestellt sind die Prozesszeiten in den Sälen mit den Monitoringsystemen Modul- und Stecksystem in Minuten pro Fall als Mittelwert ± Standardabweichung.

Abkürzungen: Transportm. = Transportmonitor, AuWR = Aufwachraum.

8a zeigt die Prozesszeiten im kardiochirurgischen Operationsbereich, 8b zeigt die Prozesszeiten im urologischen Operationsbereich.

Die Klammern zeigen statistisch signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) zwischen den bezeichneten Gruppen an.

4.4 Blindzeiten des anästhesiologischen Monitoring

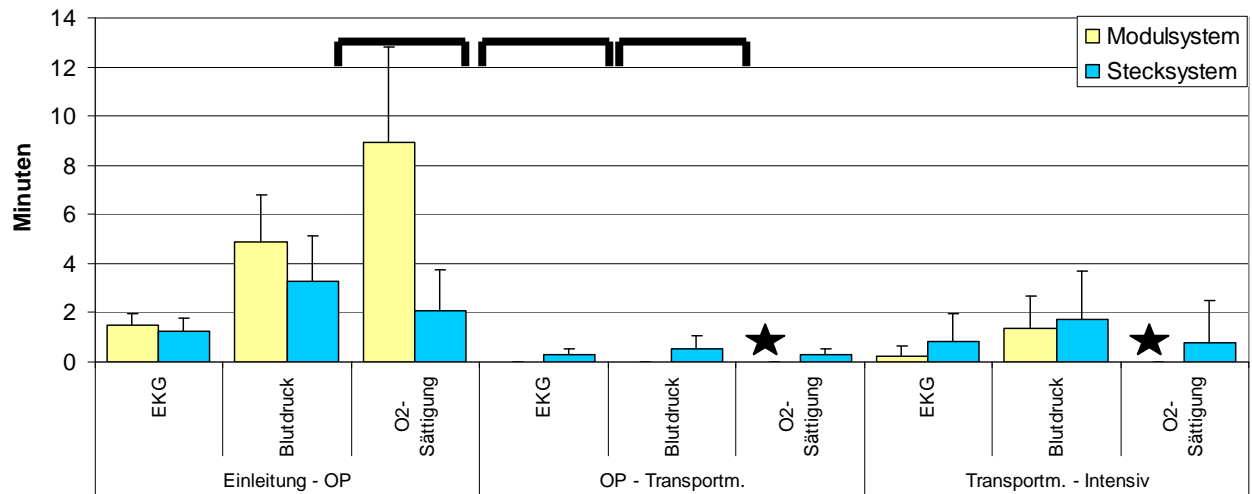
In Abbildung 9 sind die erfassten Blindzeiten aufgeführt, gegliedert nach Überwachungsparametern und differenziert in die beiden Anwendungsbereiche.

Die Blindzeiten lagen im Bereich der Kardiochirurgie (Abb. 9a) beim Übergang von der Einleitung in den Operationssaal zwischen wenigen Sekunden und mehreren Minuten. Beim Übergang vom OP-Monitoring an den Transportmonitor waren die Blindzeiten nur sehr kurz oder konnten ganz vermieden werden. Ebenso kurz waren die Zeiten beim Übergang vom Transportmonitor auf das Monitoring auf der Intensivstation mit durchschnittlich weniger als zwei Minuten. Auffällig war die sehr lange Blindzeit für die periphere Sauerstoffsättigung beim Übergang zwischen Einleitung und Operationssaal. Da am Transportmonitor keine Pulsoxymetrie verfügbar war, sind keine Werte für die periphere Sauerstoffsättigung im Zusammenhang mit dem Transportmonitor erfasst worden.

Im Bereich der Urologie (Abb. 9b) lagen die Blindzeiten zwischen 2 und 4 Minuten für die verschiedenen Modalitäten. Auffällig waren hier die langen Blindzeiten beim Übergang in den Aufwachraum, die zum Teil Werte über 10 Minuten erreichten.

Sehr deutliche Unterschiede zwischen den beiden Systemen fanden sich bei der peripheren Sauerstoffsättigung in der Kardiochirurgie beim Übergang von der Einleitung in den Operationssaal und für das EKG beim Übergang von der Ausleitung zum Aufwachraum in der Urologie.

9a Herz- und Gefäßchirurgie



9b Urologie

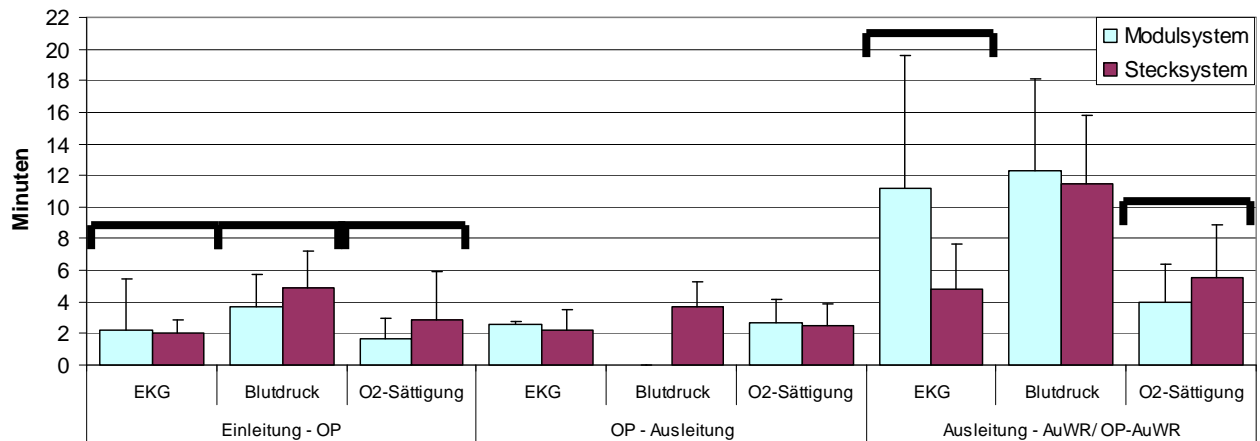


Abbildung 9: Blindzeiten der Monitoringsysteme in Herz- und Gefäßchirurgie und Urologie in Minuten pro Fall

Dargestellt sind die Blindzeiten beim Wechsel der Anästhesiearbeitsplätze für die beiden Monitoringsysteme Modul- und Stecksystem in Minuten pro Fall. Die Werte sind dargestellt als Mittelwert \pm Standardabweichung.

9a zeigt die Blindzeiten im kardiochirurgischen Operationsbereich. Die mit Stern gekennzeichneten Parameter mussten aus der Gesamtwertung ausgeschlossen werden, da es für das System keine Sauerstoffsättigung am Transportmonitor gab.

9b zeigt die Blindzeiten im urologischen Operationsbereich.

Abkürzungen: Transportm. = Transportmonitor, AuWR = Aufwachraum.

Die Klammern zeigen statistisch signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) zwischen den bezeichneten Gruppen an.

4.5 Monitoringalarme: Häufigkeit und Reaktionen

4.5.1 Alarme in der Herz- und Gefäßchirurgie

Abbildung 10 zeigt die Häufigkeit der jeweiligen Alarme pro Fall in der Herz- und Gefäßchirurgie. Auffällig ist zunächst einmal die sehr hohe Anzahl an Alarmen, die der Anästhesist zu verarbeiten hatte – im Durchschnitt über 20 Alarme pro Fall. Es zeigte sich sehr deutlich, dass bei den meisten Alarmen aber keinerlei Reaktion von Seiten des Anästhesisten erfolgte, und dies gleichermaßen in allen vier Überwachungsmodalitäten. Der häufigste Alarm war für beide Monitoringsysteme in der Überwachung des Invasivdrucks zu verzeichnen.

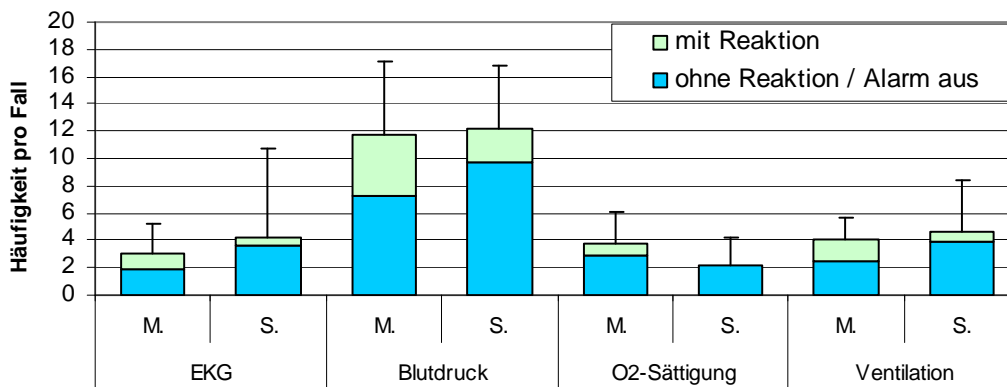


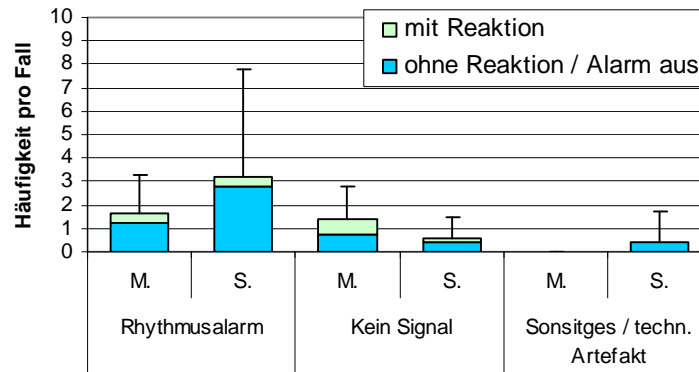
Abbildung 10: Häufigkeit der Alarme pro Fall in der Herz- und Gefäßchirurgie

Dargestellt sind die Häufigkeiten der Alarme pro Fall, geteilt in Alarme mit und ohne Reaktion, während der Ein- und Ausleitung in den Sälen mit den Monitoringsystemen Modul- und Stecksystem in der Kardiochirurgie. Die Werte sind dargestellt als Mittelwert \pm Standardabweichung. Abkürzungen: M. = Saal mit Modulsystem, S. = Saal mit Stecksystem.

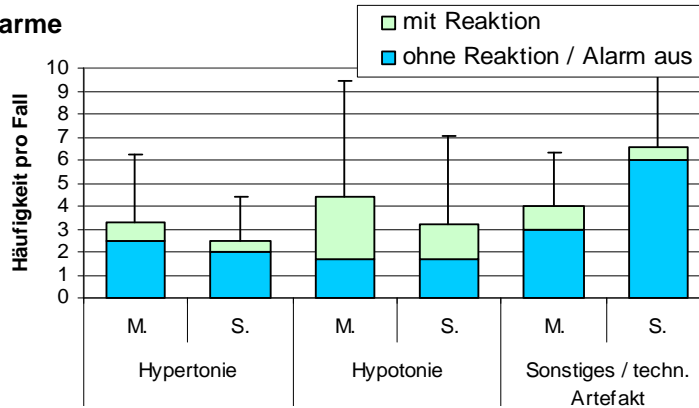
4.5.2 Häufigkeit der Einzelalarme in der Herz- und Gefäßchirurgie

Nach weiterer Differenzierung in die möglichen Einzelalarme der vier Überwachungsmodalitäten zeigte sich für das EKG (Abb. 11a) ein Überwiegen des Rhythmusalarms bei beiden Systemen, gefolgt von der Meldung eines fehlenden Signals. In der Kategorie der Invasivdruckalarme (Abb. 11b) zeigte sich eine Häufung technischer Schwierigkeiten und Artefakte im Bereich „Sonstiges“ vor der Meldung einer Hyper- oder Hypotonie. Auch bei der peripheren Sauerstoffsättigung (Abb. 11c) war bei beiden Systemen das Vorkommen von technischen Artefakten am häufigsten. Seltener war die Meldung einer niedrigen Sauerstoffsättigung, wobei hier ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Systemen ermittelt werden konnte. Die häufigsten Ventilationsalarme (Abb. 11d) waren der Apnoealarm und die Meldung eines erhöhten peripheren Atemwegwiderstandes.

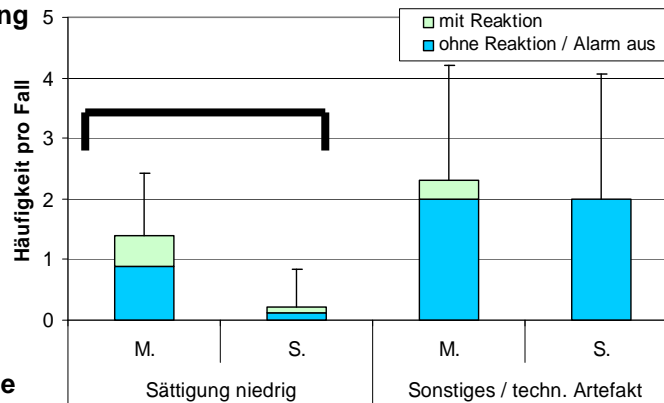
11a EKG



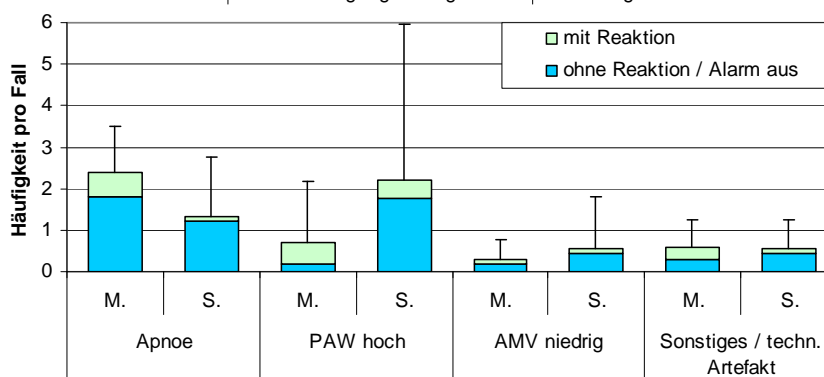
11b Invasivdruckalarme



11c Sauerstoffsättigung



11d Ventilationsalarme

**Abbildung 11: Häufigkeit der Einzelalarme pro Fall in der Herz- und Gefäßchirurgie**

Dargestellt sind die Häufigkeiten der Einzelalarme pro Fall, geteilt in Alarmer mit und ohne Reaktion, während der Ein- und Ausleitung in den Sälen mit den Monitoringsystemen Modul- und Stecksystem in der Kardiochirurgie. Die Werte sind als Mittelwert \pm Standardabweichung dargestellt.

11a EKG-Alarmer, 11b Invasivdruckalarmer, 11c Alarmer der peripheren Sauerstoffsättigung, 11d Ventilationsalarmer

Abkürzungen: M. = Saal mit Modulsystem, S. = Saal mit Stecksystem.

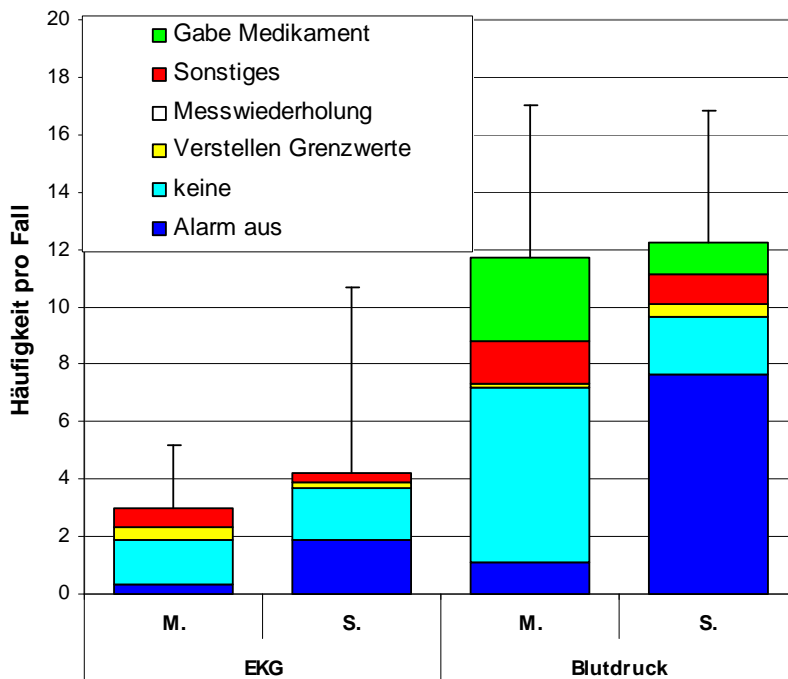
Die Klammer zeigt einen statistisch signifikanten Unterschied ($p \leq 0,05$) zwischen den bezeichneten Gruppen an.

4.5.3 Reaktionen auf Monitoringalarme in der Herz- und Gefäßchirurgie

In Abbildung 12a sind die Reaktionen der Anästhesisten auf die kardiozirkulatorischen Alarme aufgeführt. Am häufigsten erfolgte keine Reaktion oder lediglich das Ausschalten des Alarmsignals. Erst mit deutlichem Abstand folgten gezielte Handlungen wie das Verstellen der Grenzwerte oder die Gabe eines Medikaments. Interessant ist, dass bei beiden Überwachungseinheiten auf Alarme des Modulsystems meist keinerlei Reaktion erfolgte, wohingegen Alarme des Stecksystems häufiger ausgeschaltet wurden. Als Reaktion auf Invasivdruckalarme wurde bei dem Modulsystem ungefähr doppelt so häufig mit der Gabe eines Medikaments reagiert, als bei dem Stecksystem. Die übrigen Reaktionen ereigneten sich bei beiden Systemen je ungefähr gleich häufig.

Im Bereich der respiratorischen Alarme (Abb. 12b) waren ebenfalls das Ausschalten des Alarmsignals und keine Reaktion die beiden häufigsten Folgen eines Alarms in beiden Sälen. Seltener kam es zu einem Verstellen der Grenzwerte, der Repositionierung des Geräts und der Anpassung der Ventilationsparameter.

12a Kardiozirkulatorische Alarme



12b Respiratorische Alarme

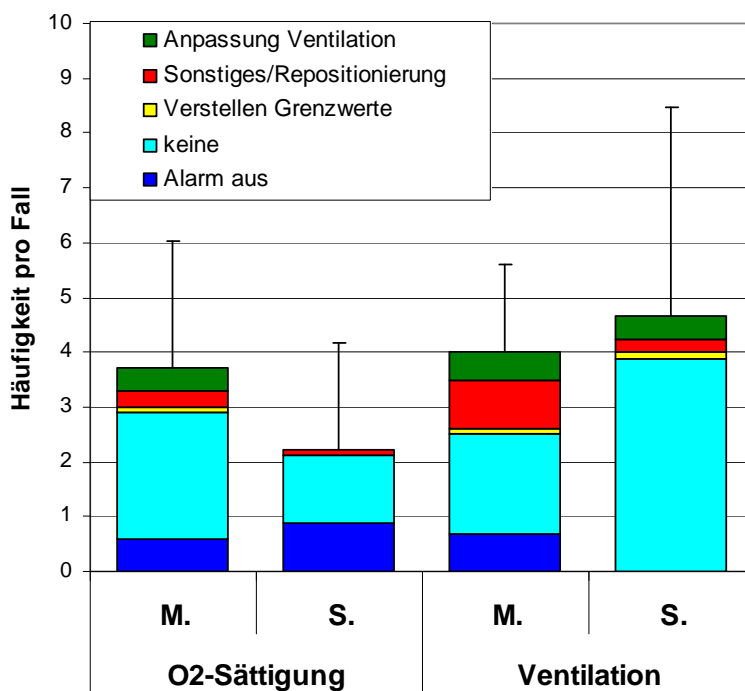


Abbildung 12: Häufigkeit der Reaktionen auf kardiozirkulatorische und respiratorische Alarme pro Fall in der Herz- und Gefäßchirurgie

Dargestellt sind die Häufigkeiten der einzelnen Reaktionen auf die Alarme pro Fall in der Kardiochirurgie in den Sälen mit den Monitoringsystemen Modul- und Stecksystem. Die Werte sind dargestellt als Mittelwert \pm Standardabweichung.

Abbildung 12a zeigt die Reaktionen auf kardiozirkulatorische Alarme und Abbildung 12b stellt die Reaktionen auf respiratorische Alarme dar.

Abkürzungen: M. = Saal mit Modulsystem, S. = Saal mit Stecksystem.

4.5.4 Reaktionszeiten auf Monitoringalarme in der Herz- und Gefäßchirurgie

Ein weiterer Aspekt, der untersucht wurde, war die Dauer bis zur Reaktion nach Anschlagen eines Alarms. In Tabelle 7 sind die Reaktionszeiten auf die einzelnen Alarmmodalitäten in der Kardiochirurgie dargestellt. Bis auf den Invasivdruck waren die Reaktionszeiten nicht signifikant unterschiedlich. Auf die Meldung einer niedrigen Sauerstoffsättigung erfolgte in Saal 2 nur zweimal eine Reaktion, auf den Apnoealarm nur einmal, so dass hier keine Mittelwerte und Standardabweichungen ermittelt wurden.

		Modulsystem/Saal 1		Stecksystem/Saal 2		p-Wert
		MW (sek)	Spanne (sek)	MW (sek)	Spanne (sek)	
EKG	Rhythmusalarm	5,2 ± 3,1	1-10	7,6 ± 7,8	1-32	n.s.
	Kein Signal	13,0 ± 18,2	2-60	3,3 ± 2,8	1-8	n.s.
Invasivdruck	Hypertonie	8,9 ± 7,1	2-25	6,9 ± 12,1	1-50	0,004
	Hypotonie	28,1 ± 39,6	2-152	5,2 ± 5,5	1-20	n.s.
	Sonstiges	12,7 ± 24,9	1-116	8,4 ± 10,1	1-44	n.s.
Sauerstoffsättigung	SpO2 niedrig	70,9 ± 78,6	2-224	---	---	---
	Sonstiges	27,1 ± 30,8	2-97	6,6 ± 5,1	1-15	n.s.
Ventilation	Apnoe	17,8 ± 33,0	1-120	---	---	---
	PAW hoch	15,0 ± 21,0	2-61	3,5 ± 1,5	2-5	n.s.

Tabelle 7: Vergleich der Säle mit Modul- und Stecksystem bezüglich Alarm-Reaktionszeiten im Anästhesiebereich Herz- und Gefäßchirurgie

Dargestellt sind die Alarmreaktionszeiten in Sekunden als Mittelwert ± Standardabweichung.

Der p-Wert bezieht sich auf den Vergleich der Mittelwerte im Mann-Whitney-Test.

Abkürzungen: MW = Mittelwert, SpO2 = Sauerstoffsättigung, PAW = Atemwegsdruck, n.s. = nicht signifikant

4.5.5 Alarme in der Urologie

Abbildung 13 zeigt die Häufigkeit der Alarme im Bereich der Urologie. Auch hier zeigte sich, dass auf die meisten Alarme keine Reaktion von Seiten des Anästhesisten erfolgte. Insgesamt war die Alarmhäufigkeit deutlich geringer als in der Kardiochirurgie. Der häufigste Alarm für beide Säle erfolgte in der Blutdrucküberwachung.

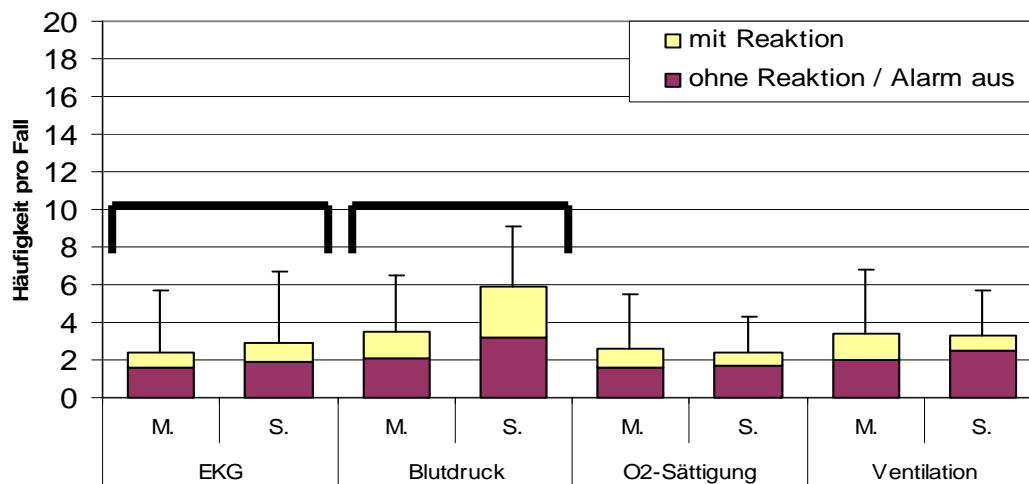


Abbildung 13: Häufigkeit der Alarme pro Fall in der Urologie

Dargestellt sind die Häufigkeiten der Alarme pro Fall, geteilt in Alarme mit und ohne Reaktion, während der Ein- und Ausleitung in den Sälen mit den Monitoringsystemen Modul- und Stecksystem in der Urologie. Die Werte sind als Mittelwert \pm Standardabweichung dargestellt.

Abkürzungen: M. = Saal mit Modulsystem, S. = Saal mit Stecksystem.

Die Klammern zeigen statistisch signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) zwischen den bezeichneten Gruppen an.

4.5.6 Häufigkeit der Einzelalarme in der Urologie

In der weiteren Differenzierung in die Einzelalarme zeigte sich für Alarme im Überwachungsbereich des EKG (Abb. 14a) ein Überwiegen der Rhythmusalarme bei beiden Systemen. Die beiden häufigsten Alarme in der Überwachung des peripheren Blutdrucks (Abb. 14b) waren hier Hyper- und Hypotoniealarme. Technische Artefakte waren bei beiden Systemen nur selten vertreten. Bei der Überwachung der peripheren Sauerstoffsättigung (Abb. 14c) ergab sich für das Stecksystem als häufigster Alarm die Meldung eines technischen Artefakts. Für das Modulsystem erwies sich die Meldung einer erniedrigten Sauerstoffsättigung als häufigstes Alarmsignal. Die einzelnen Ventilationsalarme (Abb. 14d) waren in der Häufigkeit der Einzelalarme für beide Säle ähnlich. Am häufigsten wurde hier ein erniedrigtes Atemminutenvolumen signalisiert, gefolgt von Apnoealarmen und der Meldung technischer Schwierigkeiten.

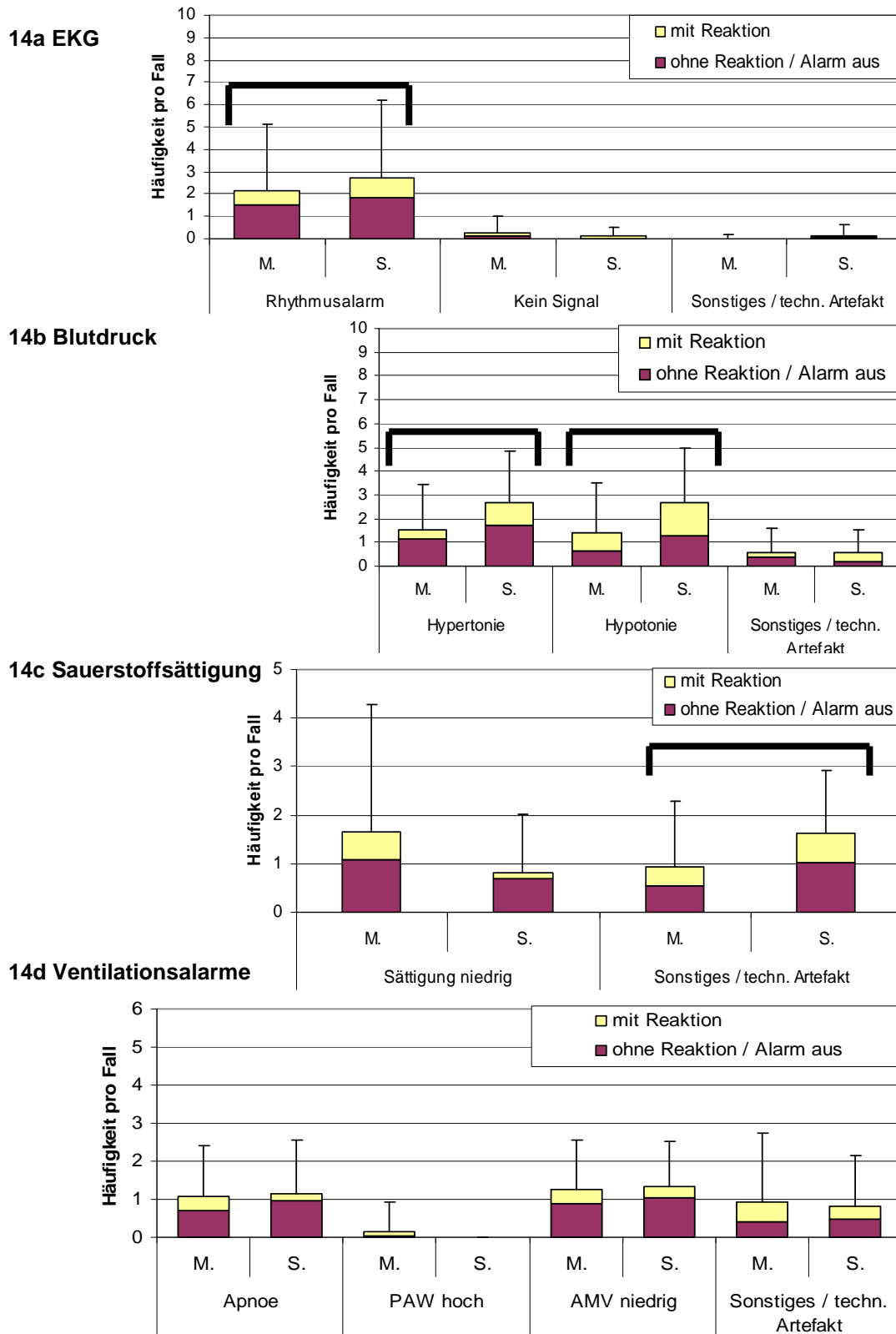


Abbildung 14: Häufigkeit der Einzelalarme pro Fall in der Urologie

Dargestellt sind die Häufigkeiten der Einzelalarme pro Fall, geteilt in Alarme mit und ohne Reaktion, während der Ein- und Ausleitung in den Sälen mit den Monitoringsystemen Modul- und Stecksystem in der Urologie. Die Werte sind als Mittelwert ± Standardabweichung dargestellt.

14a EKG-Alarme, 14b Alarme des peripheren Blutdrucks, 14c Alarme der peripheren Sauerstoffsättigung, 14d Ventilationsalarme

Abkürzungen: M. = Saal mit Modulsystem, S. = Saal mit Stecksystem.

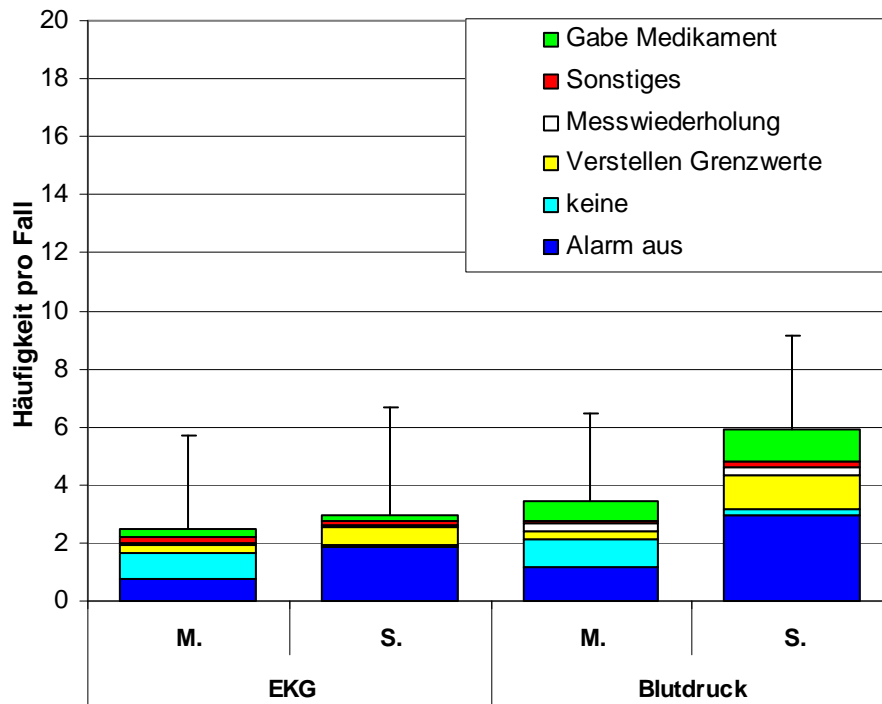
Die Klammern zeigen statistisch signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) zwischen den bezeichneten Gruppen an.

4.5.7 Reaktionen auf die Monitoringalarme in der Urologie

Auch hier zeigte sich im Bereich der kardiozirkulatorischen Alarme (Abb. 15a) insgesamt ein deutliches Überwiegen des Abschaltens der Alarme oder keinerlei Reaktion. Analog zu den Reaktionen auf Alarme in der Kardiochirurgie wurde bei dem Stecksystem in beiden Überwachungseinheiten meist der Alarm abgeschaltet und keine Reaktion nur sehr selten dokumentiert. Für das Modulsystem aber waren beide Reaktionstypen ungefähr gleich häufig vertreten.

Bei den Reaktionen auf respiratorische Alarme (Abb. 15b) zeigte sich keine Reaktion als häufigster Reaktionstyp, gefolgt von dem Abschalten der Alarme. Ebenfalls für beide Säle ähnlich erwies sich die Häufigkeit einer Repositionierung des Geräts und der Anpassung der Ventilation.

15a Kardiozirkulatorische Alarmer



15b Respiratorische Alarmer

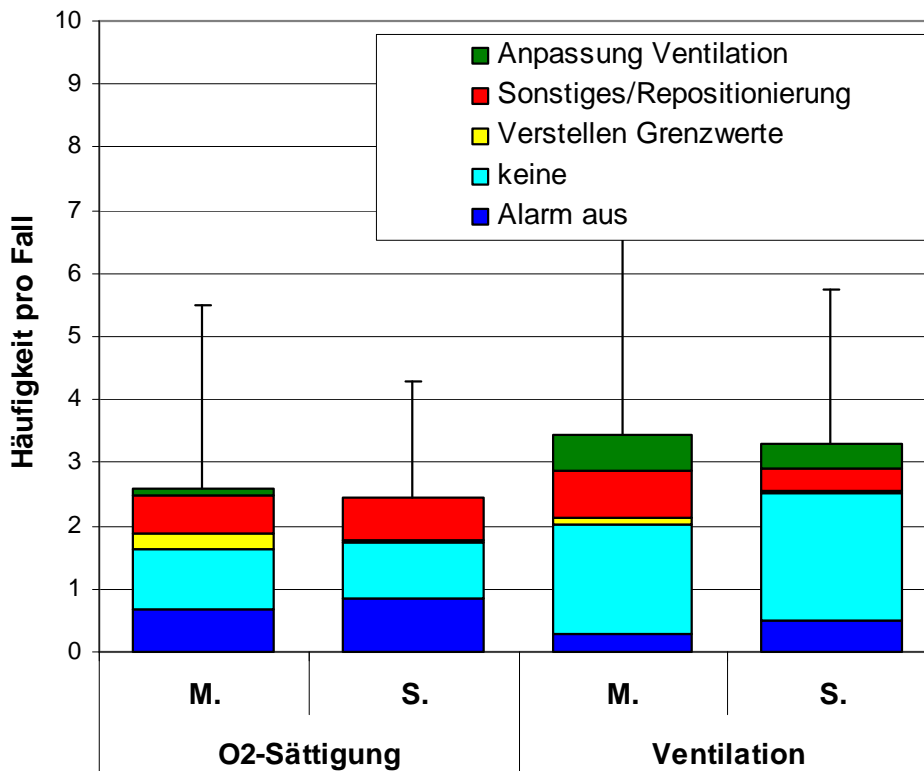


Abbildung 15: Häufigkeit der Reaktionen auf kardiozirkulatorische und respiratorische Alarmer pro Fall in der Urologie

Dargestellt sind die Häufigkeiten der einzelnen Reaktionen auf die Alarmer pro Fall in der Urologie in den Sälen mit den Monitoringsystemen Modul- und Stecksystem.

Die Werte sind als Mittelwert \pm Standardabweichung dargestellt.

Abbildung 15a zeigt die Reaktionen auf kardiozirkulatorische Alarmer und Abbildung 15b stellt die Reaktionen auf respiratorische Alarmer dar.

Abkürzungen: M. = Saal mit Modulsystem, S. = Saal mit Stecksystem.

4.5.8 Reaktionszeiten auf Monitoringalarme in der Urologie

In Tabelle 8 sind die Reaktionszeiten auf die einzelnen Monitoringalarme in der Urologie abgebildet. In diesem Operationsbereich zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Systemen. Das Modulsystem wies längere Reaktionszeiten und größeren Streuungen im Bereich des Rhythmusalarms, der Blutdrucküberwachung und der Hypoxiewarnung auf. Für den Ventilationsalarm eines hohen peripheren Atemwegswiderstandes konnten keine Reaktionszeiten ermittelt werden.

		Modulsystem		Stecksystem		p-Wert
		MW (sek)	Spanne (sek)	MW (sek)	Spanne (sek)	
EKG	Rhythmusalarm	25,9 ± 39,8	1-187	4,9 ± 4,8	1-30	0,000
	kein Signal	32,5 ± 46,9	1-120	4,3 ± 3,7	1-10	n.s.
	Sonstiges	---	---	3,3 ± 1,8	1-5	---
Blutdruck	Hypertonie	30,6 ± 47,9	1-240	3,4 ± 2,5	1-12	0,000
	Hypotonie	24,1 ± 33,0	1-190	5,7 ± 7,5	1-40	0,000
	Sonstiges	15,1 ± 18,3	1-70	9,4 ± 11,2	1-45	n.s.
Sauerstoff-sättigung	SpO2 niedrig	23,9 ± 45,2	1-185	3,7 ± 4,7	1-25	0,002
	Sonstiges	9,0 ± 16,2	1-75	16,1 ± 30,6	1-140	n.s.
Ventilation	Apnoe	12,0 ± 18,6	1-65	3,8 ± 2,2	1-10	n.s.
	AMV niedrig	25,0 ± 49,9	1-186	6,6 ± 6,1	1-20	n.s.
	PAW hoch	36,3 ± 39,8	2-110	---	---	---
	Sonstiges	12,8 ± 21,4	1-110	7,8 ± 6,9	2-30	n.s.

Tabelle 8: Vergleich der Säle mit Modul- und Stecksystem bezüglich Alarm-Reaktionszeiten im Anästhesiebereich Urologie

Dargestellt sind die Alarmreaktionszeiten in Sekunden als Mittelwert ± Standardabweichung.

Der p-Wert bezieht sich auf den Vergleich der Mittelwerte im Mann-Whitney-Test.

Abkürzungen: MW = Mittelwert, SpO2 = Sauerstoffsättigung, AMV = Atemminutenvolumen, PAW = Atemwegsdruck, n.s. = nicht signifikant

5 Diskussion

5.1 Bedeutung des perioperativen Monitoring

Inwieweit der standardisierte Einsatz von Monitoringverfahren in der Anästhesiologie zu einer Reduktion des perioperativen Risikos beigetragen hat wird kontrovers diskutiert. Cheney konnte in einer retrospektiven Analyse von über 6000 abgeschlossenen Fällen mit negativem Outcome aus der Datenbank der amerikanischen Anästhesiengesellschaft einen kontinuierlichen Abfall der Anzahl perioperativer Todesfälle zwischen 1975 und 2000 nachweisen. Es zeigte sich hierbei allerdings keine Korrelation zur Einführung der Pulsoxymetrie und der Überwachung des endtidalen CO₂ in den 1980ern (Cheney 2006). Moller untersuchte den Nutzen der routinemäßigen Anwendung der Pulsoxymetrie in der Anästhesie bei einer Studienpopulation von insgesamt 20802 Patienten. Sowohl während der Anästhesie als auch im Aufwachraum konnten bei den Patienten aus der Kontrollgruppe ohne Überwachung der Pulsoxymetrie signifikant häufiger respiratorische Ereignisse festgestellt werden, als bei den Patienten der Oxymetriegruppe. Auch wurden innerhalb der Oxymetriegruppe signifikant häufiger Hypoxämien festgestellt. Ein signifikanter Unterschied hinsichtlich harter Outcomeparameter, also Mortalität und Morbidität, konnte allerdings nicht festgestellt werden (Moller 1993). Zu bedenken ist hierbei, dass für derartige Outcome-orientierte Studien bei geringer Inzidenz schwerwiegender Komplikationen eine extrem hohe Fallzahl notwendig wäre. Ein evidenzbasierter Nachweis, wie die von Moller initiierte Studie ist allerdings ethisch nicht unproblematisch, da einem Teil der Patienten hierbei ein etabliertes und risikofreies Überwachungselement vorenthalten wird ohne dass der Studienteilnehmer einen Vorteil davon hätte. Allerdings fühlten sich 80% der innerhalb einer Studie von Pedersen befragten Ärzte seit der Einführung der Pulsoxymetrie weitaus sicherer in ihrem Handeln (Pedersen 2003). Obwohl also für den Nutzen der Pulsoxymetrie keine klare Evidenz vorliegt, sind die meisten Kliniker davon überzeugt, dass bei jedem Patienten die Überwachung der peripheren Sauerstoffsättigung durchgeführt werden sollte, da die Konsequenzen einer Hypoventilation und arteriellen Hypoxie derart schwerwiegend sind und durch Capnographie und Pulsoxymetrie frühzeitig detektiert werden können (Caplan 1997).

Wichtig ist hierbei in Erinnerung zu rufen, dass die häufigste Ursache für schwere Zwischenfälle unverändert der menschliche Faktor ist. In seiner Studie konnte Caplan

zeigen, dass bei den in einem Zeitraum von 33 Jahren geschehenen anästhesiologischen Zwischenfällen mit Todesfolge oder postoperativer Hirnschädigung nur in insgesamt 2% ein kausaler Zusammenhang zu den genutzten Beatmungsgeräten bestand. Innerhalb dieser 2% lag die Fehlerursache zu 75% in menschlichem und nur zu 25% in technischem Versagen. Er kam zu dem Schluss, dass eine Verbesserung des postoperativen Outcomes am ehesten durch eine bessere Schulung der behandelnden Ärzte erreicht werden kann (Caplan 1997).

Fasting fand durch Bereitstellung eines zusätzlichen Dokumentationsfeldes für auftretende Probleme im Anästhesieprotokoll heraus, dass während 83154 durchgeführten anästhesiologischen Behandlungen nur 0,23% der aufgetretenen Komplikationen auf anästhesiologische Geräte zurückzuführen waren, wobei hier in einem Viertel der Fälle Bedienfehler die eigentliche Ursache darstellten (Fasting 2002). Apparatives Monitoring kann die klinische Überwachung und Beurteilung durch einen erfahrenen Arzt also nicht ersetzen aber unterstützend zu einer optimalen Patientenversorgung beitragen und ist damit ein essentieller Bestandteil der modernen Anästhesiologie.

Aus technischer Sicht ist beim apparativen Monitoring die Präsentation möglichst vieler Informationen gleichzeitig auf kleinem Raum vorteilhaft, um alle Eventualitäten adäquat darstellen zu können. Angesichts der Vielzahl an Informationen, die der Anästhesist zu verarbeiten hat und der Fülle an Aufgaben, die er zur selben Zeit zu erledigen hat, wird vom Anästhesisten eine solche Überfrachtung der Monitore mit Informationen in ihrer praktischen Nutzbarkeit als schlecht eingestuft. Dies gilt generell im Umgang mit den medizinischen Geräten, vor allem aber im Bereich der Alarmtechnologie (Meredith 1995).

Die Schwierigkeit in der Alarmtechnologie liegt generell darin, eine Balance zu finden zwischen der Entstehung von unnötigen Alarmen und dem Risiko, ein kritisches Ereignis zu übersehen (Ansermino 2008). Der technische Entwickler fokussiert daher auf die Sensitivität des Gerätes, während für den Kliniker die Vermeidung von Fehlalarmen, also die Spezifität von großer Bedeutung ist. Um diesen Konflikt zu lösen und die „Usability“ der Geräte zu steigern, sind umfangreiche Studien und eine enge Zusammenarbeit von Klinikern und Entwicklern notwendig.

5.2 Bedeutung dieser Studie

In der vorliegenden Studie wurden zwei repräsentative Systeme unterschiedlicher Funktionsweise auf Qualität, Effizienz und Auslastung im Arbeitsalltag eines großen Operationsbereiches eines Universitätsklinikums untersucht. Im Einzelnen wurde der benötigte Arbeitsaufwand im Umgang mit den Systemen, die Auslastung der einzelnen Gerätegruppen im Operationsbereich, die Überwachungsqualität mit besonderem Augenmerk auf die entstehenden Blindzeiten beim Wechsel der Räumlichkeiten und die Alarmfunktionen im Hinblick auf Häufigkeit und klinische Bedeutung der jeweiligen Alarme analysiert. Hieraus lassen sich Schwachstellen der derzeit genutzten Monitoringsysteme ableiten und Anforderungen an eine neue Generation von Monitoren aufzeigen.

5.3 Diskussion der Einzelergebnisse

5.3.1 Vor- und Nachbereitung der Geräte

Insgesamt lag die Dauer der Vor- und Nachbereitung für die untersuchten Geräte bei ca. 10 bis 15 Minuten pro Saal. Die in der Kardiochirurgie im Vergleich um etwa 5 Minuten höhere durchschnittliche Vorbereitungsdauer pro Tag ist vor allem auf den höheren Aufwand mit den Beatmungsgeräten und die zusätzliche Nutzung von Infusionspumpen bei den kardiochirurgischen Operationen zurückzuführen. Im Rahmen der automatischen Routinetestung der Beatmungsgeräte kam es zu häufigen Fehlermeldungen, so dass Fehler (wie z.B. nicht korrekt eingestellte Beatmungsventile) behoben und der Test wiederholt gestartet werden musste, was den hohen Zeitaufwand mit diesen Geräten erklärt.

Dass es trotz der höheren Komplexität der dort durchgeführten Anästhesien und der aufwendigeren Patientenüberwachung in der Kardiochirurgie im Vergleich zur Urologie nicht zu einem erhöhten Aufwand in der Vor- und Nachbereitung der Monitoringsysteme kam, könnte an der unterschiedlichen Personalallokation liegen. Die Fluktuation des anästhesiologischen Funktionsdienstes und die Anzahl der dort eingesetzten Berufseinsteiger war im Bereich der Kardiochirurgie im Vergleich zum Bereich der Urologie geringer, so dass größere Routine im Umgang mit den Systemen bestand.

Dass Routine und regelmäßiges Training im Umgang mit Anästhesiegeräten nicht nur zeitsparend sind sondern auch Fehlern vorbeugen können, zeigte Olympio, der

Anästhesiepersonal bei der Arbeit mit den Geräten beobachtete. Die Testgruppe erhielt eine Reflektion ihrer Fehler, wonach sich die Anzahl der richtig erkannten Gerätefehler von 69% auf 81% steigern ließ (Olympio 1996).

Signifikante Unterschiede fanden sich in der Urologie in Bezug auf den Mehraufwand an Tätigkeiten wie „Neuaufbau“ und „Hardware ändern“ bei den Perfusoren in Saal 4. Dort mussten Perfusoren häufiger aus anderen Sälen geholt werden.

Die Tatsache, dass die an Perfusoren am meisten durchgeführte Tätigkeit die des „Neuaufbaus“ war, lässt vermuten, dass die Verteilung der Geräte auf die einzelnen Säle nicht optimal gewesen ist, so dass häufiger Geräte aus anderen Sälen geholt und im Saal aufgebaut werden mussten. Dieser Notwendigkeit könnte durch die Anschaffung einer größeren Anzahl an Perfusoren Abhilfe geschaffen werden. Bei einer Höchstauslastung aller Perfusoren von 80% scheint hier ein Maximalwert überschritten zu sein, ab dem das Suchen nach Geräten zu einem Prozesshindernis werden könnte. Bei den getesteten Gerätegruppen wurde nur relativ wenig Zeit auf die Tätigkeit des „Software ändern“, also die Anpassung der Alarmgrenzen an die individuellen Konstellationen der Patienten, verwandt. Dies könnte eine Ursache für die im Weiteren gefundene hohe Inzidenz an Alarmen ohne klinische Bedeutung gewesen sein. Bei nicht optimal eingestellten Alarmgrenzen kommt es viel schneller zu unnötigen Alarmen. Bei einer Befragung der großen Hersteller für anästhesiologische Monitoringtechnologien durch Block zeigte sich, dass die seitens der Hersteller eingestellten Standardalarmgrenzen erheblich variieren. Eine breit angelegte Befragung von Anästhesisten in den USA, Finnland und den Niederlanden zeigte, dass die meisten der befragten Anästhesisten die im Vorfeld am Gerät eingestellten Alarmgrenzen, analog zu dieser Studie, unverändert übernahmen (Block 1999).

5.3.2. Ressourcennutzung und Geräteauslastung

Die Geräteauslastung differierte erheblich zwischen den verschiedenen Gerätetypen. Lag sie bei Beatmungsgeräten und Monitoringsystemen in der Spitze um die 40%, war sie bei Perfusoren und Infusomaten mit 60-70% deutlich höher. Die wesentliche Ursache für die redundant vorgehaltene Ausstattung lag in der Trennung der Räumlichkeiten in voll ausgestattete Einleitungs-, Operations- und Ausleitungsräume.

Da diese redundante Technik Mehrkosten verursacht (Anschaffung und Wartung) stellt sich die Frage, inwieweit diese Aufteilung der anästhesiologischen Prozesse auf mehrere Lokalitäten ökonomisch sinnvoll ist.

Dieses Thema wird in der Literatur kontrovers diskutiert. In einer Studie von Harmer befragte Anästhesisten schätzten die Einleitungsräume vor allem deshalb, weil sie dort ungestört arbeiten konnten und der Patient von den Vorbereitungen der Operation abgeschirmt war. Auch die Durchführung von Regional- und Spinalanästhesien lassen die Etablierung von Einleitungsräumen als sinnvoll erscheinen (Harmer 2000, Armstrong 2004). Weitere Vorteile sind, auch aus ökonomischer Sicht, die Möglichkeit einer überlappenden Einleitung, die damit verbundene Verbesserung der Wechselzeiten sowie bessere Voraussetzungen für die Ausbildung junger Ärzte (Sandberg 2005). Hanss konnte in seiner Arbeit eine signifikante Steigerung der innerhalb der Regelarbeitszeit durchgeführten Fälle in einem allgemeinchirurgischen Operationsbereich, in dem hauptsächlich Laparotomien und Thorakotomien durchgeführt wurden, durch die Nutzung separater Einleitungsräume belegen. Die Kosten-Nutzen-Analyse ergab einen Nettogewinn für das Krankenhaus trotz gesteigerter Kosten für Personal und Equipment (Hanss 2005). Auch in unfallchirurgischen Operationsbereichen konnte gezeigt werden, dass durch die Möglichkeit von überlappenden Einleitungen genug Zeitersparungen entstehen, dass zusätzliche Fälle in der Regelarbeitszeit durchgeführt werden können (Torkki 2005). Allerdings finden sich auch gegenteilige Positionen in der Literatur, die den ökonomischen Sinn einer überlappenden Einleitung in Frage stellen (Dexter 1995, Dexter 2005).

Es hat sich gezeigt, dass die Durchführung von überlappenden Einleitungen nur dann einen finanziellen Vorteil für das beteiligte Krankenhaus erbringt, wenn die dadurch eingesparte Zeit auch genutzt werden kann. Dies ist wiederum nur bei Operationen von längerer Dauer der Fall, da bei vielen aufeinander folgenden kurzen Operationen die Vorbereitung auf den nächsten Patienten im Operationssaal längere Zeit in Anspruch nimmt, als die Anästhesieeinleitung. Auch kann ein Nutzen der gewonnenen Zeit nur in Kliniken erfolgen, in denen die Regelarbeitszeit regelmäßig überschritten wird und die Mitarbeiter entsprechende Überstunden anhäufen, die dann eingespart werden könnten oder in denen die Zeit durch die Durchführung eines zusätzlichen Falles sinnvoll genutzt werden könnte (Schuster 2006).

5.3.3 Prozesszeiten des anästhesiologischen Monitoring

Der Vorgang des Anbringens des Monitoring erwies sich im Bereich der Kardiochirurgie erwartungsgemäß im Einleitungsraum und auf der Intensivstation als am langwierigsten. Dies ist in der Tatsache begründet, dass bei beiden Stationen eine komplette Neuverkabelung des Patienten mit Kleben der EKG-Elektroden und Anlegen von Blutdruckmanschette oder arterieller Druckmessung erfolgen musste, wohingegen im Operationssaal oder am Transportmonitor lediglich ein Modul oder Stecker umgesetzt wurde. Im Gegensatz dazu dauerte der Vorgang des Abbaus des Monitoring vom Transportmonitor am längsten, was wiederum mit der Neuanspannung der Kabel auf der Intensivstation zusammenhing.

Analog dazu lässt sich auch die längere Dauer des Anbringens des Monitoring im Einleitungsraum der Urologie erklären. Anbringen im Ausleitungsraum nahm deshalb hier einen so geringen Raum ein, da, wie bei der Besprechung der Blindzeiten näher erläutert, in diesen Fällen die Monitoringüberwachung nicht vollständig genutzt wurde.

Ungelöst ist das Problem, dass das Anbringen der vielen verschiedenen Kabel nicht nur Zeit kostet, sondern auch regelmäßig zu Verknotungen führt, den Patienten beengt und zu Druckstellen führt, wenn die Kabel unter dem Patienten geführt werden müssen.

All diese Probleme könnten mit einem schnurlosen Monitoring besser gelöst werden. Die Gefahr der Druckstellen beim Umlagern des Patienten und der Platzbedarf wären geringer. Schnurloses Monitoring wird im Rahmen von Entwicklungsstudien bereits getestet. Ori testete ein solches System für die invasive Blutdruckmessung. Es lief über Bluetooth, wobei die Kapazität ausreichend wäre, um noch weitere Parameter in die Überwachung einzubeziehen, und hatte eine Batterie mit zwanzig Stunden Laufzeit. Im Test konnte die Praxistauglichkeit des schnurlosen Monitorings im direkten Vergleich zur Verkabelung durch Aufzeichnung der Werte beider Systeme und postoperative Analyse im Hinblick auf Messgenauigkeit und Störsignale gezeigt werden (Ori 2006). Nachteilig sind bei diesem System aber die Abhängigkeit von einer Batterie mit begrenzter Laufzeit sowie die erheblichen Kosten bei der Systemumstellung.

5.3.4 Blindzeiten des anästhesiologischen Monitoring

Die Ergebnisse der Untersuchung der Blindzeiten in der Kardiochirurgie müssen im Zusammenhang mit den Beschaffenheiten der dortigen Gerätezusammensetzung interpretiert werden. Die Begründung für die ungewöhnlich langen Blindzeiten, vor allem im Bereich der peripheren Sauerstoffsättigung, bei dem Modulsystem liegt im Splitting der

Systeme in diesem Saal. Die Sättigung wurde hier nicht über das Modul selbst, sondern über das Beatmungsgerät gemessen, wodurch der Abbau der Monitoring-Devices nacheinander geschehen und unterbrochen werden musste, was dazu führte, dass die Sättigung oft früher als sinnvoll diskonnektiert wurde. Beim Übergang vom Operationssaal an den Transporter wies das Modul im Gegensatz zum Stecksystem in der Auswertung keinerlei Blindzeiten auf. Die Ursache liegt darin, dass der Transportwagen selbst mit einem Eingang für ein Modul und dem Monitor „smartpac“ ausgerüstet ist. Die Besonderheit liegt darin, dass der Monitor „smartpac“ mit dem Monitor im Operationssaal zusammengeschlossen werden kann. So konnte hier während der Überführung des Moduls vom Monitor im Operationssaal an den Transporter eine lückenlose Überwachung erreicht werden. Allerdings gab es am Transportmonitor keine Möglichkeit der Abbildung einer Sättigungskurve, weshalb nur der invasive Blutdruck und die EKG-Ableitung für das Modul lückenlos überwacht werden konnten. Die Messung der Sauerstoffsättigung wurde erst auf der Intensivstation wieder angeschlossen. Da der Transporter nur mit einem Modulsystem ausgestattet war, konnte der „smartpac“-Monitor für den Operationssaal mit dem Stecksystem nicht genutzt werden. Daher war eine lückenlose Überwachung nicht möglich. Als Monitor für den Transport musste ein weiterer tragbarer und zum System kompatibler Monitor vom Typ Infinity von der benachbarten Intensivstation geholt und am Transportwagen angebracht werden. Allerdings bestand damit die Möglichkeit einer Überwachung der peripheren Sauerstoffsättigung.

Auch für das Verständnis der Ergebnisse aus der Urologie muss näher auf die Zusammenstellung der Geräte in den einzelnen Sälen eingegangen werden. Der Saal mit dem Modulsystem war im Ausleitungsraum mit dem Monitor „Marquette Eagle“ ausgestattet, der nicht mit dem Modul kompatibel ist. Daher musste das Monitoring im Ausleitungsraum zur vollen Patientenüberwachung neu angebracht werden. Aufgrund der meist weniger aufwendigen Operationen und der weniger instabilen Patienten wurde deshalb von Seiten des Anästhesisten auf eine EKG- und Blutdrucküberwachung häufig verzichtet. Dadurch waren die Blindzeiten für diese Parameter im Vergleich zur peripheren Sauerstoffsättigung beim Übergang von der Ausleitung in den Aufwachraum deutlich verlängert. In der Auswertung wurden diese nämlich vom Abbauen des Monitoring im Operationssaal bis zum Anbringen im Aufwachraum errechnet. Für das Stecksystem waren in allen Räumlichkeiten kompatible Systeme vorhanden, allerdings wurde auch hier in der Ausleitung meist auf eine Blutdrucküberwachung verzichtet, was

die hohe Blindzeit für diesen Parameter im Block „Ausleitung – Aufwachraum“ analog zum Modulsystem erklärt.

Betrachtet man die Ergebnisse der Studie, so wird deutlich, dass die nicht unerheblichen Blindzeiten in beiden Operationsbereichen nicht nur durch die Geräte an sich oder die Nutzung der separaten Einleitungsräume bedingt waren, sondern durch die Zusammensetzung unterschiedlicher, inkompatibler Systeme und durch die mangelnde Bereitschaft der Anästhesisten, die Monitoringsysteme jeweils wieder vollständig aufzurüsten, entstanden.

Broom konnte in seiner Studie ebenfalls erhebliche Blindzeiten ermitteln und konstatierte einen negativen Einfluss auf die Patientenversorgung (Broom 2006). Um die Blindzeiten zu verbessern und den Umgang mit den Geräten im Arbeitsalltag zu erleichtern, könnte eine einheitliche oder zumindest kompatible Ausstattung sinnvoll sein. Die Forderung nach einer gesetzlich festgelegten Norm in Monitoringsystemen unterschiedlicher Hersteller und damit nach der Möglichkeit, unterschiedliche Systeme auch kombiniert nutzen zu können, besteht bereits seit langem, vor allem von Seiten der Ärzteschaft und der Krankenhausbetreiber (Saunders 1994). Eine zweite Möglichkeit, solchen Missständen vorzubeugen, bestünde für die Krankenhausbetreiber darin, eine einheitliche Geräteversorgung im gesamten Operationstrakt zu gewährleisten. Beides ist nicht realistisch. Für die Hersteller würde eine standardisierte Schnittstelle an den Geräten bedeuten, dass sie die Alleinstellungsmerkmale und damit Marktchancen verlieren würden. Auf der anderen Seite, wäre ein Krankenhausbetreiber in seiner Wahlfreiheit des günstigsten Herstellers eingeschränkt, sollte er gezwungen sein, alle seine Systeme bei ein und demselben Hersteller zu beziehen. Letztendlich muss auch hier wieder eine Balance zwischen den Vorteilen der Kostenersparnis und der Praktikabilität gefunden werden, was, wie diese Studie zeigt, nicht in jedem Fall optimal gelungen ist.

Auch an dieser Stelle kann über die Vor- und Nachteile von separaten Ein- und Ausleitungsräumen diskutiert werden, da die Aufteilung der Prozesse auf mehrere Lokalitäten die wesentliche Ursache für die Blindzeitenproblematik ist.

Auch gibt es technische Innovationen zur Vermeidung solcher Überwachungslücken. Nach Abschluss der Datenerhebung kamen erstmals Modulsysteme mit eingebautem Monitor-Display auf den Markt (z.B. Phillips Intellivue X2) bei denen eine kontinuierliche und für den Anästhesisten sichtbare Überwachung des Patienten möglich ist, auch wenn vom Hauptmonitor abgedockt wurde. Eine weitere Form dieser tragbaren

Monitoringsysteme, die sich derzeit in der Entwicklung befinden, sind die sogenannten „Head up Displays“. Hierbei wird der Monitor nicht separat im Raum positioniert, sondern die Werte werden über einen Kopfaufsatz mono- oder binokular auf eine Brille ins Sichtfeld des Anästhesisten projiziert, der mit der Messstation über ein Kabel verbunden ist (Bitterman 2006). Der Anästhesist ist somit frei im Raum und beim Wechsel der Räumlichkeiten beweglich und kann die Überwachungsparameter jederzeit verfolgen. Liu et al testeten ein solches System im praktischen Gebrauch mit Hilfe eines Patientensimulators und zwölf erfahrenen Anästhesisten. Sie konnten zeigen, dass die Probanden kritische Ereignisse mittels der neuen Technologie vor allem dann schneller erkennen konnten, wenn sie zum Zeitpunkt des Ereignisses mit einer anderen Prozedur beschäftigt waren. Zu Zeiten ohne kognitive Beanspruchung waren die Daten für beide Systeme weitestgehend identisch (Liu 2009). Allerdings gaben neun von elf der innerhalb einer Studie von Block befragten Probanden Probleme mit dem Verbindungskabel zur Messstation und der damit verbundenen Einschränkung von Bewegungsfreiheit und des Gesichtsfeldes durch die projizierten Parameter an. Ein weiterer Problempunkt war hier die Präsentation der Daten auf kleinem Raum und in unkoordinierter Art und Weise (Block 1995).

5.3.5 Monitoring - Alarme: Häufigkeiten und Reaktionen

Wesentlicher Befund der vorliegenden Untersuchung ist, dass eine sehr hohe Anzahl an Alarmmeldungen vom Anästhesisten verarbeitet werden musste und dass je nach Alarmmodalität der allergrößte Teil der Alarmmeldungen vom Anästhesisten als klinisch irrelevant eingeschätzt wurde oder zumindest keine Reaktion zur Folge hatte außer dem Unterdrücken des Alarms. Bei einigen Alarmmodalitäten lag dieser Anteil sogar bei 100%.

Die höhere Komplexität der in der Kardiochirurgie durchgeführten Operationen und die bei diesen Patienten vorliegenden hämodynamischen Grunderkrankungen begründen die im Vergleich zur Urologie höhere Anzahl an Gesamtalarmen pro Fall in diesem Operationsbereich. Das gehäufte Auftreten von Blutdruckalarmen sowohl bei der peripheren Messung in der Urologie als auch bei der invasiven in der Kardiochirurgie und von Rhythmusalarmen in der EKG-Überwachung ist auf die direkte Beeinflussung dieser Parameter durch Anästhetika und den bei der Operation entstandenen Stress zurückzuführen.

Bei weiterer Differenzierung in die jeweiligen Einzelalarme zeigte sich allerdings vor allem in der Blutdrucküberwachung ein Unterschied zwischen den beiden Überwachungsarten. So konnten für die Invasivdrucküberwachung sowohl für das Modul als auch für das Stecksystem häufig technische Artefakte als Alarmursache evaluiert werden, was bei der peripheren Messung kaum zu verzeichnen war. Hieraus wird deutlich, dass die invasive Blutdrucküberwachung neben dem Vorteil einer kontinuierlichen und exakteren Messung aufgrund ihrer technischen Komplexität auch den Nachteil einer erhöhten Störanfälligkeit mit sich bringt. Hinzu kommt, dass die Messmethoden natürlich auch Unterschiede in Bezug auf die Messgenauigkeit aufweisen (Sende 2009).

Die Häufung technischer Artefakte in der Überwachung der peripheren Sauerstoffsättigung weist auch in dieser Studie auf ein in der Literatur bereits häufig diskutiertes Problem dieser Methode hin. Im Regelfall wird die Sauerstoffsättigung über einen Fingerklip gemessen, der zwar der Haut eng anliegen muss, um das Auftreten von Artefakten zu vermeiden, der aber gleichzeitig nicht zu straff sein darf, um den Blutfluss nicht zu vermindern. Daher kommt es häufig zum Abrutschen des Klip vom Finger, vor allem durch Irritationen während der Arbeit am Patienten. Ein weiteres Problem in der Messtechnik der Pulsoxymetrie ist deren Anfälligkeit für die Entstehung von Bewegungsartefakten und die daraus resultierende Häufung von Fehlalarmen. Zwar haben die modernen Geräte einen integrierten Filter, der Bewegungsartefakte vermeiden soll, das Auftreten von Fehlalarmen und Messverzögerungen kann dadurch aber nicht vollständig behoben werden. Die Anfälligkeit der Pulsoxymetrie für Störfaktoren zeigt eine Studie von Lawless, in der von 957 Sättigungsalarmen, die innerhalb einer dreitägigen Evaluation auf einer pädiatrischen Intensivstation dokumentiert wurden, 71% Fehlalarme und nur 7 % klinisch relevant waren (Lawless 1994). Dass die Häufung von Bewegungsartefakten nicht nur bei Kindern beobachtet werden kann zeigte Wiklund innerhalb einer Studie, in die 123 Patienten unterschiedlichen Alters auf einer postoperativen Überwachungsstation einbezogen wurden. Auch hier konnten 77% aller Sättigungsalarme als klinisch irrelevant identifiziert werden. Hauptursachen hierfür waren deplazierte Sensoren, Bewegungen oder Hypoperfusion (Wiklund 1994). Durch die Einführung neuer Filtertechniken konnte die Anzahl an Fehlalarmen signifikant gebessert werden. Brouillette verglich ein konventionelles System mit einem gefilterten System in einem Schlaflabor für Kinder mit Schlafapnoe-Syndrom. Es konnte gezeigt werden, dass die neuen Systeme signifikant

weniger Sättigungsabfälle aufgrund von Bewegungsartefakten anzeigten und damit den Arbeitsaufwand verringerten und die Messgenauigkeit verbesserten (Brouillette 2002). Aber auch die Systeme mit integriertem Filter sind nach wie vor störanfällig und nicht alle Bewegungsartefakte können gefiltert werden, wie innerhalb dieser Studie, bei der ausschließlich Systeme mit Filter verwendet wurden, gezeigt wurde.

Die Untersuchung der Reaktionen und der Reaktionszeiten auf die unterschiedlichen Alarme diente vor allem der Analyse des derzeitigen Alarmsystems auf Effizienz und Praktikabilität im klinischen Alltag. Die durchgehend ermittelte Häufung von Alarmen ohne Reaktion lässt den Schluss zu, dass die Alarmsysteme auf Kosten der Spezifität eine hohe Sensitivität aufweisen. Watson zeigte im Rahmen einer ähnlichen Studie wie dieser, dass nur nach 3,4% der auftretenden Alarme eine tatsächliche Interaktion des Anästhesisten mit dem Patienten erforderlich war (Watson 2000). Innerhalb einer Studie im Setting einer großen Intensivstation von Chambrin et al 1999 konnte eine Spezifität der Alarme von 58% bei einer Sensitivität von 97% nachgewiesen werden (Chambrin 1999). Die Ursache hierfür wird in der Literatur darin gesehen, dass Hersteller eine hohe Sensitivität bevorzugen, um nicht für das Übersehen eines kritischen Ereignisses oder seine Folgen verantwortlich gemacht werden zu können (Imhoff 2006). Ein weiterer Faktor, der die Häufung von unnötigen Alarmen noch verstärkt und durch gesteigerte Mitarbeitermotivation und Schulung auszuräumen wäre, ist die, wie innerhalb unserer Studie gezeigt werden konnte, häufig fehlende individuelle Einstellung der Alarmgrenzen abweichend von den automatisch gewählten Standardwerten. Da viele Alarme keine tatsächlich kritische Situation anzeigen, herrscht eine allgemeine Desensibilisierung im Operationssaal, die dazu führt, dass den Alarmen oft von vornherein nicht die nötige Aufmerksamkeit zuteil wird. Im Rahmen eines psychologischen Experiments präsentierte Bliss 138 Probanden Alarme unterschiedlicher, im Vorfeld gekennzeichneter Reliabilität und Dringlichkeit. Er konnte zeigen, dass etwa 90% der Probanden nur auf die Alarme reagierten, die sie als tatsächlich relevant kannten und die anderen einfach abschalteten (Bliss 1995). Dies ist eine riskante Sicherheitslücke im Alarmsystem und es besteht die Gefahr, tatsächlich kritische Alarme nicht als solche wahrzunehmen, sei es durch den bekannten Mangel an Spezifität oder dadurch, dass der Alarmton gerade abgeschaltet ist.

Durch die Häufung von falsch positiven Alarmen und die Vielzahl an Überwachungsparametern sind die im Operationstrakt tätigen Personen einem enormem Lärmpegel und mehreren häufig gleichzeitig auftretenden Reizen ausgesetzt,

was ebenfalls zur Desensibilisierung beiträgt. Wie in einer Studie von Siebig et al auf Intensivstationen gezeigt werden konnte, liegt die Lärmbelastung in diesem Arbeitsbereich durch die Alarme bei teilweise über 80 dB (Siebig 2009).

Lösungsansätze zur Reduktion der Belastung durch Alarme werden in der technischen Forschung vor allem durch eine Umstrukturierung der Alarmpräsentation gesucht. Es wird versucht, die Tonqualität der akustischen Alarme zu verbessern, um ihre Dringlichkeit zu vermitteln und die Lärmbelastung am Arbeitsplatz zu reduzieren (Dain 2003). Aber auch an Alternativen zur akustischen Informationsvermittlung wird geforscht. Hier sind taktile Displays in der praktischen Testung, die am Körper getragen werden und für die unterschiedlichen Parameter an bestimmten Stellen Vibrationssignale geben (Jessie 2005). Ob dies ein adäquater Ersatz für die akustischen Alarme ist, ist unklar. Zukunftsweisender ist die Technologie der sogenannten intelligenten Systeme, der „Neural Networks“. Diese Systeme sollen nicht mehr jeden Überwachungsparameter einzeln kontrollieren, sondern anhand der Gesamtheit der Vitalparameter selbstständig zwischen kritischen und nicht bedrohlichen Situationen unterscheiden und diese dann unterschiedlich an den Anästhesisten weitergeben oder gegebenenfalls selbstständig unterdrücken (Edworthy 2006).

Wie schlecht die Alarme aufeinander abgestimmt sind, kann an einem einfachen Beispiel verdeutlicht werden: bei einer Störung der EKG-Analyse kann der Monitor den Vitalalarm Asystolie angeben, während auf dem Monitor eine klare Druckkurve der invasiven Blutdruckmessung und der Pulsoxymetrie zu sehen ist – beides Zustände, die mit einer Asystolie unter keinen Umständen vereinbar wären. Es fehlt demnach dem Monitoring an der Fähigkeit, Informationen zu sammeln, zu bündeln und gegeneinander abzuwägen. Stattdessen liegt der Alarm auf jedem einzelnen Parameter und dies führt, wie die vorliegende Studie eindrücklich zeigt, zu einer großen Vielzahl an Alarmmeldungen, die der Anästhesist als irrelevant einschätzt.

Um effektiv arbeiten zu können, sollten die einzelnen Alarme auch ohne den Blick zum Monitor einem Parameter zuzuordnen sein. Dies ist allerdings nur bedingt der Fall. In einer Studie von Wee wurden Mitarbeitern der Intensivpflege innerhalb einer zweiwöchigen Trainingseinheit die einzelnen Alarme vorgespielt. Es zeigte sich, dass auch nach dieser Übungsperiode nur ein Proband alle Alarme richtig zuordnen konnte bei einer mittleren Erkennungsrate von 55% (Wee 2008).

Auffällig in dieser Studie war das schnellere Handeln bei Alarmen des Stecksystems. Dies lag vermutlich an der Art der generierten Alarmtöne. Alarme des Stecksystems

waren von Tonhöhe und Schnelligkeit der aufeinander folgenden Töne durchdringender und führten so zu einer schnelleren Reaktion. Wie bei den Reaktionen auf Blutdruck- und EKG-Alarmer zu sehen ist (Abb. 12a und 15a) führte dies aber vor allem zu einem Unterdrücken des Alarms und nicht zu anderen Tätigkeiten. Daher kann auch nicht geschlussfolgert werden, dass ein schriller Alarmton für den Kliniker zweifelsfrei besser ist.

Die Frage nach dem idealen Design für akustische Alarmer wird in vielen Studien aufgegriffen. Edworthy definiert den bestmöglichen Alarmton als leicht zu lokalisieren, schwer zu überschatten aber auch möglichst wenig störend in der Kommunikation im Operationssaal und leicht zu erlernen (Edworthy 2006). Eine Herausforderung für die Hersteller liegt auch in der durch den technischen Fortschritt entstandenen Vielzahl neuer Überwachungseinheiten, deren Alarmer nur schwer voneinander unterschieden werden können. Heutzutage können viele unterschiedliche Parameter in die Überwachung einfließen, allerdings hat sich gezeigt, dass die Fähigkeit des Menschen, voneinander unabhängige akustische Informationen zu erinnern auf 7-9 beschränkt ist (Miller 1994). Ein weiteres Problem ist, dass keine Standardisierung der einzelnen Alarmtöne vorherrscht und damit Alarmtöne unterschiedlicher Hersteller verschieden für die gleiche Variable oder gleich für zwei unterschiedliche Variablen sein können (Takeuchi 2006). Das von der ISO empfohlene Alarmdesign, welches auch als Standard für alle Hersteller übernommen werden sollte, beschreibt eine steigende Tonhöhe mit Abnahme der Abstände der aufeinander folgenden Töne bei steigender Dringlichkeit eines Alarms (Mondor 2003). Die genaue Frequenz ist allerdings nicht festgelegt, so dass hier Variationsmöglichkeiten für die Hersteller bestehen.

Die in dieser Untersuchung gefundene extrem hohe Rate an Alarmen ohne klinische Relevanz lässt erheblich Zweifel daran aufkommen, dass die aktuelle Alarmumgebung für den Kliniker optimal gestaltet ist. Hier scheint dringender Handlungsbedarf zu bestehen.

5.4 Methodische Limitation und Stärken

Die Daten wurden nur in einem Krankenhaus, dem Universitätskrankenhaus Hamburg-Eppendorf, erhoben. Hieraus ergeben sich Limitationen in der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Kliniken, insbesondere bedingt durch die klinikspezifische

Zusammensetzung der einzelnen Anästhesiegeräte, die die Ergebnisse maßgeblich beeinflusst haben könnte.

Für das Studiensetting fiel die Wahl auf die Operationsbereiche Urologie und Kardiochirurgie. Diese beiden Bereiche eigneten sich besonders gut, da der organisatorische Ablauf innerhalb der Disziplin bei wenig voneinander abweichenden Operationen und Narkosen gut standardisiert war und wenig externe Einflüsse zu verzeichnen waren. Die Kardiochirurgie wurde unter anderem auch deshalb als Studiensetting gewählt, da durch die Komplexität der Fälle hier auch die routinemäßige Nutzung von invasivem Monitoring und einem Transportsystem in die Studie aufgenommen werden konnte.

Der Vergleich der beiden Monitoringsysteme in jeweils zwei Sälen der Kardiochirurgie bzw. der Urologie unterliegt methodischen Limitationen. Eine Randomisierung erschien bei innerhalb der Fachdisziplinen in den beiden Sälen ähnlichem Patientenkollektiv und dem geringen Einfluss von patientenspezifischen Faktoren auf die Kernfragestellungen der Studie nicht notwendig. Es bleibt aber zu vermerken, dass eine solche Randomisierung der aufgezeichneten Fälle auf das eine oder andere Monitoringsystem methodisch trotzdem wünschenswert gewesen wäre. Sowohl organisatorisch (Zuordnung des OP-Teams auf einen Saal) als auch materiallogistisch (feste Installierung der Monitore im Saal) wäre eine Randomisierung der Patienten im Zentral-OP nur mit einem sehr hohen Aufwand möglich gewesen.

Die Datenerhebung für die Studie wurde von drei unabhängigen, nicht in den OP-Alltag involvierten Beobachtern innerhalb eines Zeitraums von insgesamt vier Monaten durchgeführt. Dies bildet einen großen Vorteil, da eine vollständige und unabhängige Datenerfassung erfolgen konnte. Durch die Anwesenheit der Beobachter konnte die Komplexität der Abläufe erfasst und flexibel dokumentiert werden, was bei einer Analyse von Videomaterialien oder bei einer elektronischen Datenerfassung nicht möglich gewesen wäre. Ein Nachteil der Untersucher-basierten Methode liegt in der Schwierigkeit, alle parallelen Arbeitsabläufe und Konstellationen durch einen Beobachter zu erfassen.

Die Beobachter und ihre Aufgaben wurden im Vorfeld den beteiligten anästhesiologischen und chirurgischen Mitarbeitern vorgestellt und waren so lange Teil der Arbeitsumgebung, dass ein Einfluss der Beobachter auf die Arbeitsprozesse wenig wahrscheinlich war. Allerdings besteht bei dieser Art von Studien die Gefahr der Entstehung eines Hawthorne-Effekts: das Verhalten der Probanden verändert sich

durch das Bewusstsein, Teil einer wissenschaftlichen Studie zu sein und beobachtet zu werden (Parsons 1974, Gale 2004).

Auch der Ausbildungsstand der Ärzte könnte analog zu dem oben erwähnten Erfahrungsstand des Funktionsdienstes einen Einfluss auf die Ergebnisse gehabt haben. Allerdings gab es bei der Verteilung der Ärzte auf die Säle strukturell keine Unterschiede, so dass eine Beeinflussung der Ergebnisse durch unterschiedliche Erfahrung im Umgang mit den Monitoringsystemen nicht vorliegen sollte.

Limitierender Faktor in der Aussagekraft der Ergebnisse zu den Reaktionszeiten ist, dass diese innerhalb der Studie nur während Einleitung und Ausleitung ermittelt wurden. Diese beiden Tätigkeitsfelder stellen im Vergleich zur eigentlichen Operationszeit Arbeitsschritte mit einer höheren mentalen Beanspruchung dar, was zur längeren Reaktionszeit beiträgt. Loeb konnte innerhalb einer Studie, in der in Einleitung, Operationszeit und Ausleitung die Dauer bis zur Reaktion auf ein künstliches akustisches Signal von zehn Probanden gemessen wurde, belegen, dass diese während der Einleitung am längsten war (Loeb 1994). Auch er führt dies auf die höhere Arbeitsbelastung zurück.

5.5 Schlussfolgerungen

Die mittlere Vor- und Nachbereitungsdauer lag in der vorliegenden Studie bei 10-15 Minuten pro Fall. Wesentlicher Faktor war die Testung bei der Arbeit mit den Beatmungsgeräten und das Anbringen der Überwachungskabel am Patienten für die Monitoringsysteme.

Die Auslastung der einzelnen Gerätegruppen im Zentral-OP des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf war bei einer Maximalauslastung von 48-67% verhältnismäßig gering. Ein Grund hierfür liegt in der Nutzung separater Räumlichkeiten für Einleitung, Operation und Ausleitung, die alle mit Geräten ausgestattet werden müssen, welche aber immer nur zu einem bestimmten Zeitpunkt verwendet werden. Ob die Vorhaltung dieser redundanten Monitoringsysteme ökonomisch sinnvoll ist, lässt sich nur abhängig vom Prozessablauf entscheiden. Durch die Vorhaltung der verschiedenen Lokalitäten ist die Möglichkeit gegeben, überlappende Ein- und Ausleitungen durchzuführen und die damit verbundene Reduktion der Wechselzeit zu realisieren. Eine alternative Lösung wäre es, die Geräte mit dem Patienten mitzuführen, wie es bei einigen Monitoren schon möglich ist (Pick and Go Monitore), die an jeder Lokalität neu fixiert

werden können, aber stets mit dem Patienten verbunden bleiben. Dies würde auch die Blindzeiten deutlich reduzieren oder ganz eliminieren.

Die in dieser Studie erfassten Blindzeiten beim Wechsel der Räumlichkeiten waren zum Teil erheblich und lagen – je nach Überwachungsmodalität und Lokalisation - in den meisten Fällen bei über 2 Minuten. Ein möglicher Grund mag durch die spezifische Ausrüstungssituation im Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf (viele unterschiedliche und nicht kompatible Monitore) verursacht worden sein. Inkompatibilität der einzelnen genutzten Systeme ist aber auch an anderen Kliniken keine Seltenheit. Diese Überwachungsphasen stellen eine Sicherheitslücke dar, die durch die Anschaffung einheitlicher Systeme und die konsequente Einführung von Pick and Go Systemen oder Modulen mit Display minimiert werden könnte.

Die Alarmsysteme wiesen mit ca. 10-20 Alarmen pro Fall während Ein- und Ausleitung eine hohe Frequenz auf. Die überwiegenden Reaktionen auf diese Alarme bestanden im Ausschalten des Alarmsignals oder in keiner Reaktion. Auch die zum Teil sehr langen Reaktionszeiten belegen die Häufung von Alarmen ohne klinische Relevanz. Insgesamt erscheint hier ein dringender Handlungsbedarf zu bestehen, da die hohe Frequenz von klinisch nicht bedeutsamen Alarmen zu einer Reduktion der Vigilanz bei wichtigen Alarmen führen könnte.

In Bezug auf die oben genannten Punkte unterschieden sich die beiden untersuchten Systeme Modul- und Stecksystem in den meisten untersuchten Aspekten nur unwesentlich voneinander. Davon ausgenommen waren die unterschiedlichen Blindzeiten in den einzelnen Räumlichkeiten, die mit der jeweiligen Gerätezusammensetzung zusammenhängen und die Art der überwiegend auf die Alarme ausgeübten Reaktionen, die im unterschiedlichen Alarmdesign begründet waren.

6 Zusammenfassung

Hintergrund: Bedingt durch technische Innovationen und die zunehmend komplexen Operations- und Anästhesietechniken bei multimorbiden Patienten ist die Komplexität des Monitoring im Bereich der Anästhesiologie in den letzten Jahrzehnten erheblich gestiegen. Bisher gibt es nur sehr wenige Untersuchungen zur Praktikabilität und Prozesseffizienz der technisch hochkomplexen Monitoringumgebung.

Methodik: Die Studie wurde im Zentral-OP (9 OP-Säle) einer Universitätsklinik durchgeführt. In den Operationsdisziplinen der Urologie und der Kardiochirurgie wurden die Prozessabläufe des Monitoring durch unabhängige Beobachter detailliert erfasst. Es wurden die einzelnen Arbeitsschritte zur Vor- und Nachbereitung der Geräte, die Dauer der Prozesszeiten für die Anwendung des Monitoring und die Dauer der Zeiten ohne Monitoringwerte (Blindzeiten) beim Wechsel der Räumlichkeiten (Einleitung, Operationssaal und Ausleitung) erfasst. Um systembedingte Unterschiede zu erfassen, wurden für jeden OP-Bereich jeweils zwei unterschiedliche Monitoringsysteme (Modulsystem und Stecksystem) untersucht. Zusätzlich wurde für die beiden Systeme die Frequenz der auftretenden Alarme, die Reaktion des Anästhesisten auf die Alarme und die Reaktionszeiten auf die Alarme untersucht. Außerdem wurde die Ressourcennutzung der Geräte im gesamten Zentral-OP im Sinne einer zufälligen Punktzinidenzermittlung erfasst.

Ergebnisse: Für die Dauer der Vor- und Nachbereitung der Geräte wurden insgesamt 50 Fälle analysiert. Die Beatmungsgeräte beanspruchten in etwa 50% der Gesamtzeit von, je nach OP-Saal und System, durchschnittlich $10 \pm 2,6$ bis $16 \pm 2,1$ Minuten pro Fall. Bei den Beatmungsgeräten war insbesondere die Testung zeitaufwendig.

In die Untersuchung der Prozesszeiten des perioperativen Monitoring und der Alarmsysteme wurden in der Kardiochirurgie 19 und in der Urologie 82 Fälle eingeschlossen. Wesentlicher Zeitaufwand entstand in der Herzchirurgie vor allem für das Anbringen des Monitoring in der Einleitung (Mittelwert $5,3 \pm 3,7$ resp. $3,6 \pm 1,5$ Minuten pro Fall) und im OP (Mittelwert $4,0 \pm 2,2$ resp. $2,7 \pm 1,7$ Minuten pro Fall) und auf der Intensivstation (Mittelwert $5,2 \pm 2,4$ resp. $3,1 \pm 2,2$ Minuten pro Fall) und beim Abbauen des Monitoring vom Transportmonitor ($5,4 \pm 3,4$ resp. $2,4 \pm 2,3$ Minuten pro Fall). In der Urologie waren die zeitaufwendigsten Schritte das Anbringen des Monitoring in der Einleitung (Mittelwert $6,8 \pm 2,9$ resp. $6,1 \pm 3,1$ Minuten pro Fall), im OP (Mittelwert $3,9 \pm 3,1$ resp. $2,8 \pm 1,9$ Minuten pro Fall) und im Aufwachraum

(Mittelwert $4,2 \pm 2,5$ resp. $2,6 \pm 1,5$ Minuten pro Fall). Insgesamt waren bedingt durch die aufwendigeren Systeme die Prozesszeiten bei kardiochirurgischen Patienten deutlich länger, die Unterschiede zwischen den Systemen (Modul- und Stecksystem) waren aber nur gering und klinisch nicht bedeutsam.

Bei der Ermittlung der Zeiten ohne Monitoringwerte beim Wechsel der einzelnen Räumlichkeiten zeigten sich sehr lange Blindzeiten, die je nach System und Fachdisziplin im Mittel bis zu $11,2 \pm 8,4$ Minuten pro Fall für EKG, $12,3 \pm 5,8$ Minuten pro Fall für die Blutdrucküberwachung und $8,9 \pm 3,9$ Minuten pro Fall für die Pulsoxymetrie erreichten. Zum Teil waren die hohen Blindzeiten durch Inkompatibilitäten der Systeme bedingt.

Die Alarmsysteme wiesen eine hohe Frequenz von Alarmmeldungen insbesondere bei herzchirurgischen Patienten auf (Mittelwerte pro Fall: $3,7 \pm 6,4$ für EKG, $9,7 \pm 4,6$ für die Blutdrucküberwachung, $2,9 \pm 2,3$ für die Pulsoxymetrie, $3,9 \pm 3,8$ für die Ventilationsalarmlarmer). Die meisten Alarme mit Ausnahme der Hypotoniealarmlarmer wurden vom Anästhesisten als klinisch irrelevant angesehen und ignoriert oder das Alarmsignal wurde ausgeschaltet.

Die Ermittlung der Auslastung der Anästhesiegeräte ergab sich eine Maximalauslastung von 52% für Beatmungsgeräte, 48% für das anästhesiologische Monitoring und je 67% für Perfusoren und Infusomaten.

Diskussion und Schlussfolgerungen: Vor und Nachbereitung der Anästhesiegeräte erfordern relevanten Zeitaufwand, wobei insbesondere die Testung der Beatmungsgeräte zeitaufwendig ist. Als wesentliches Prozesshindernis in Bezug auf das Monitoring erwiesen sich An- und Abbau des Monitoring beim Wechsel der Lokalität (Einleitung, OP, Ausleitung, Transport). Durch ein Fehlen von durchgehendem Monitoring entstanden im erheblichen Ausmaß Blindzeiten, die durch die Inkompatibilität der einzelnen Anästhesiegeräte in Einleitung, Operationssaal und Ausleitung/Transporter noch erhöht wurden.

Die Alarmsysteme sind vor allem durch die hohe Sensitivität bei gleichzeitig sehr geringer Spezifität wenig praktikabel und generieren hauptsächlich klinisch nicht relevante Alarme. Soll die hieraus resultierende Desensibilisierung vermieden werden, müssen die Systeme auf diesem Gebiet grundlegend verbessert werden.

7 Literaturverzeichnis

- 1 Ansermino JM, Dosani M, Amari E, Choi PT, Schwarz SKW. Defining rules for the identification of critical ventilatory events. *Can J Anaesth*, 2008;55:702-714.
- 2 Armstrong KP, Cherry RA. Brachial plexus anesthesia compared to general anesthesia when a block room is available. *Can J Anaesth*, 2004;51:41–44.
- 3 Bitterman N. Technologies and solutions for data display in the operating room. *J Clin Monit Comput*, 2006;20:165-173.
- 4 Bliss JP, Gilson RD, Deaton JE. Human probability matching behaviour in response to alarms of varying reliability. *Ergonomics*, 1995;38:2300-2312.
- 5 Block FE Jr, Yablock DO, McDonald JS. Clinical evaluation of the „head-up“ display of anesthesia data. Preliminary communication. *Int J Clin Monit Comput*, 1995;12:21-24.
- 6 Block FE Jr, Nuutinen L, Ballast B. Optimization of alarms: a study on alarm limits, alarm sounds, and false alarms, intended to reduce annoyance. *J Clin Monit Comput*, 1999;15:75-83.
- 7 Broom MA, Slater J, Ure DS. An observational study of practice during transfer of patients from anaesthetic room to operating theatre. *Anaesthesia*, 2006;61:943-945.
- 8 Brouillette RT, Lavergne J, Leimanis A, Nixon GM, Ladan S, McGregor CD. Differences in pulse oximetry technology can affect detection of sleep-disordered breathing in children. *Anesth Analg*, 2002;94:47-53.
- 9 Caplan RA, Vistica MF, Posner KL, Cheney FW. Adverse anesthetic outcomes arising from gas delivery equipment: a closed claims analysis. *Anesthesiology*, 1997;87:741-748.

- 10 Chambrin MC, Ravaux P, Calvelo-Aros D et al. Multicentric study of monitoring alarms in the adult intensiv care unit (ICU): a prospective analysis. *Intensive Care Med*, 1999;25:1360-1366.
- 11 Cheney FW, Posner KL, Lee LA, Caplan RA, Domino KB. Trends in anesthesia-related death and brain damage: a closed claims analysis. *Anesthesiology*, 2006;105:1081-1086.
- 12 Dain S. Current equipment alarm sounds: friend or foe? *Can J Anaesth*, 2003;50:209-214.
- 13 Daniels JP, Ansermino JM. Introduction of new monitors into clinical anesthesia. *Curr Opin Anaesthesiol*, 2009;22:775-781.
- 14 Dexter F, Coffin S, Tinker JH. Decreases in anesthesia-controlled time cannot permit one additional surgical operation to be reliably scheduled during the workday. *Anesth Analg*, 1995;81:1263–1268.
- 15 Dexter F. Deciding whether your hospital can apply clinical trial results of strategies to increase productivity by reducing anesthesia and turnover times. *Anesthesiology*, 2005;103:225–228.
- 16 Edworthy J, Hellier E. Alarms and human behaviour: implications for medical alarms. *Br J Anaesth*, 2006;97:12-17.
- 17 Fasting S, Gisvold SE. Equipment problems during anaesthesia – are they a quality problem? *Br J Anaesth*, 2002;89:825-831.
- 18 Gale EA. The Hawthorne studies – a fable for our times? *QJM*, 2004;97:439-449.
- 19 Graf J, Irquesi M, Janssens U. Perioperatives hämodynamisches Monitoring – ein Überlebensvorteil für anästhesiologisch betreute Patienten? *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzmed*, 2008;5:364-372.

- 20 Hagenouw RR. Should we be alarmed by our alarms?
Curr Opin Anaesthesiol, 2007;20:590-594.
- 21 Hanss R, Buttgereit B, Tonner PH et al. Overlapping induction of anesthesia: an analysis of benefits and costs. Anesthesiology, 2005;103:391-400.
- 22 Harmer M. For the times they are a-changing – or are they?
Anaesthesia, 2000;55:735-736.
- 23 Imhoff M, Kuhls S. Alarm algorithms in critical care monitoring.
Anesth Analg, 2006;102:1525-1537.
- 24 Janssens U. Hämodynamisches Monitoring. Internist, 2000;41:995-1010.
- 25 Jessie YC, Man CF, Fels S, Dumont G, Ansermino M. An evaluation of a vibrotactile display prototype for physiological monitoring.
Anesth Analg, 2005;101:1719-1724.
- 26 Kestin IG, Miller BR, Lockhart CH. Auditory alarms during anaesthesia monitoring. Anesthesiology, 1988;69:106-109.
- 27 Larson ER, Nuttall GA, Ogren BD et al. A prospective study on anesthesia machine fault identification. Anesth Analg, 2007;104:154-156.
- 28 Lawless ST. Crying wolf: false alarms in a pediatric intensiv care unit.
Crit Care Med, 1994;22:981-985.
- 29 Liu D, Jenkins SA, Sanderson PM et al. Monitoring with head-mounted displays: performance and safety in a full-scale simulator and part-task trainer.
Anesth Analg, 2009;109:1135-1146.
- 30 Loeb RG, Jones BR, Leonard RA, Behrman K. Recognition accuracy of current operating room alarms. Anesth Analg, 1992;75:499-505.

- 31 Loeb RG. Monitor surveillance and vigilance of anesthesia residents. *Anesthesiology*, 1994;80:527-533.
- 32 Meredith C, Edworthy J. Are there too many alarms in the intensiv care unit? A overview of the problems. *J Adv Nurs*, 1995;21:15-20.
- 33 Miller GA. The margical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychol Rev*, 1994;101:343-352.
- 34 Moller JT, Pedersen T, Rasmussen LS et al. Randomized evaluation of pulse oximetry in 20,802 patients: I. design, demography, pulse oximetry failure rate, and overall complication rate. *Anesthesiology*, 1993;78:436-444.
- 35 Mondor TA, Finley GA. The perceived urgency of auditory warning alarms used in the hospital operating room is inappropriate. *Can J Anaesth*, 2003;50:221-228.
- 36 Olympio MA, Goldstein MM, Mathes DD. Instructional review improves performance of anesthesia apparatus checkout procedures. *Anesth Analg*, 1996;83:618-622.
- 37 Ori K, Balasingham I, Samset E, Hogetveit JO, Fosse E. Wireless conitnous arterial blood pressure monitoring during surgery: a pilot study. *Anesth Analg*, 2006;102:478-483.
- 38 Parsons HM. What happened at Hawthorne?: New evidence suggests the Hawthorne effect resulted from operant reinforcement contingencies. *Science* 1974;183:922–32
- 39 Pedersen T, Moller AM, Pedersen BD. Pulse oximetry for perioperative monitoring: systematic review of randomized, controlled trials. *Anesth Analg*, 2003;96:426-431.

- 40 Sandberg WS, Daily B, Egan M et al. Deliberate perioperative systems design improves operating room throughput. *Anesthesiology*, 2005;103: 406–418.
- 41 Saunders RJ. The anesthesia workstation of the future. *J Clin Monit*, 1994;10:346-348.
- 42 Schuster M. (2006). *Kostenkomponenten und Kostentreiber in der Anästhesiologie*. Aus Springer Verlag Berlin Heidelberg (Hrsg.) *OP-Management: praktisch und effizient* (S. 78-90).
- 43 Sende J, Jabre P, Leroux B et al. Invasive arterial blood pressure monitoring in an out-of-hospital setting: an observational study. *Emerg Med J*, 2009;26:210-212.
- 44 Siebig S, Kuhls S, Gather U et al. Noise in intensiv care units. Do the alarms for subspecialties differ? *Anaesthesist*, 2009;58:204-242.
- 45 Takeuchi A, Hirose M, Shinbo T, Imai M, Mamorita N, Ikeda N. Development of an alarm sound database and simulator. *J Clin Monit Comput*, 2006;20:317-327.
- 46 Torkki PM, Marjamaa RA, Torkki MI, Kallio PE, Kirvelä OA. Use of anesthesia induction rooms can increase the number of urgent orthopedic cases completed within 7 hours. *Anesthesiology*, 2005;103:401-405.
- 47 Watson M, Russell WJ, Sanderson PM. Ecological interface design for anaesthesia monitoring. *AJIS*, 2000;7:109-114.
- 48 Wee AN, Sanderson PM. Are melodic medical equipment alarms easily learned? *Anesth Analg*, 2008;106:501-508.
- 49 Wiklund L, Hök B, Stahl K, Jordeby-Jönsson A. Postanesthesia monitoring revisited: frequency of true and false alarms from different monitoring devices. *J Clin Anesth*, 1994;6:182-188.

Danksagung

Für meine Doktorarbeit schulde ich sehr vielen Menschen meinen herzlichen Dank.

Besonders möchte ich mich bei meinem Doktorvater, PD Dr. Martin Schuster, bedanken, der mir mit viel Geduld, wertvollen Ratschlägen und Engagement immer zur Seite stand und einen großen Beitrag zum Gelingen der Arbeit leistete.

Des Weiteren möchte ich mich bei meinen Eltern und meinem Mann für ihre Unterstützung bedanken, ohne die mein Studium und die Fertigstellung meiner Doktorarbeit niemals möglich gewesen wären.

Ein großer Dank gilt aber auch meinen Kollegen und Kolleginnen, denn ihre Zusammenarbeit bei der Datenerhebung und ihre moralische und fachliche Unterstützung danach waren für das Fortschreiten der Arbeit von großer Bedeutung.

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

Erklärung

„Ich, Christiane Seibold, geb. Buckl, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: Prozesseffizienz und Qualität des perioperativen Monitorings – eine vergleichende Untersuchung verschiedener Monitoringsysteme in der klinischen Anästhesiologie selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.“

Datum

Unterschrift