

**Aus der Klinik für Anästhesie und Intensivmedizin  
der Philipps-Universität Marburg**

**Direktor: Prof. Dr. med. Hinnerk Wulf**

in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum Gießen und  
Marburg GmbH, Standort Marburg

**Braucht der erfahrene Arzt ein Pulsoximeter?**

Eine Beobachtungsstudie zur Reliabilität klinischer Hypoxämiekontrolle

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Humanmedizin

dem Fachbereich Medizin der Philipps-Universität zu Marburg

vorgelegt von

**Melanie Brieskorn**

aus Geseke

Marburg/Lahn 2012

**angenommen vom Fachbereich Medizin**

**der Philipps-Universität Marburg**

**am: 27. Januar 2012**

**gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs**

**Dekan: Prof. Dr. med. Matthias Rothmund**

**Referent: Prof. Dr. med. Leopold Eberhart**

**Korreferent: Prof. Dr. med. Ulrich Koehler**

# Inhaltsverzeichnis

<b>I. Summary .....</b>	<b>IV</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Allgemeiner Teil .....	1
1.1.1 Einführung.....	1
1.1.2 Lerneffekte in der Medizin.....	4
1.2 Spezieller Teil .....	6
1.2.1 Begriffsdefinitionen Hypoxie und Hypoxämie .....	6
1.2.2 Formen der Hypoxämie.....	7
1.2.2.1 Hypoxische Hypoxämie .....	7
1.2.2.2 Toxische Hypoxämie.....	7
1.2.2.3 Anämische Hypoxämie .....	7
1.2.3 Die Sauerstoffbindungskurve.....	8
1.2.4 Postoperative Störungen der Oxigenation.....	11
1.2.4.1 Gasaustausch .....	11
1.2.4.2 Transportkapazität .....	11
1.2.4.3 Gewebepерfusion.....	12
1.2.4.4 Weitere Faktoren .....	12
1.2.5 Einteilung der Hypoxämie nach Schweregraden .....	13
1.2.6 Klinische Zeichen einer Hypoxämie.....	14
1.3 Aufgabenstellung .....	15
<b>2 Material und Methoden .....</b>	<b>16</b>
2.1 Pulsoximetrie .....	16
2.1.1 Geschichte der Pulsoximetrie .....	16
2.1.2 Prinzip des Pulsoximeters .....	16
2.1.3 Masimo SET®-Pulsoximetrie.....	18
2.1.3.1 Der Perfusionsindex (PI).....	19
2.2 Methoden.....	20
2.2.1 Aufbau der Studie .....	20
2.2.2 Studienpopulation.....	20
2.2.2.1 Einschlusskriterien .....	20
2.2.2.2 Ausschlusskriterien .....	21

2.2.3	Studienablauf .....	21
2.2.4	Definitionen der Studie .....	25
2.2.5	Auswertung .....	25
2.2.6	Statistik.....	25
2.2.6.1	Deskriptive Auswertung .....	26
2.2.6.2	Wilcoxon-Rangsummentest .....	26
2.2.6.3	Bland-Altman-Plot.....	28
2.2.6.4	Sensitivität und Spezifität.....	29
2.2.6.5	Lernkurven .....	29
<b>3</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>30</b>
3.1	Studienkollektiv.....	30
3.1.1	Patienten .....	30
3.1.2	Ärzte, Pflegepersonal und Doktoranden.....	33
3.2	Inzidenz der Hypoxämie .....	34
3.3	Ergebnisse nach Teilnehmergruppen.....	35
3.3.1	Evaluationsqualitäten der Berufsgruppen .....	35
3.3.1.1	Qualitäten der Ärzte.....	36
3.3.1.2	Qualitäten des Pflegepersonals .....	37
3.3.1.3	Qualitäten der Doktoranden.....	38
3.3.2	Sensitivität und Spezifität.....	39
3.3.2.1	Ärzte .....	39
3.3.2.2	Pflegepersonal.....	39
3.3.2.3	Doktoranden .....	39
3.3.3	Betrachtung der zehn niedrigsten SpO <sub>2</sub> -Messungen der Studie .....	40
3.4	Zusammenhänge zwischen der Evaluationsqualität der Sauerstoffsättigung und der Berufserfahrung des ärztlichen Personals .....	41
3.4.1	Zusammenhang zwischen der Evaluationsqualität und den Berufsjahren....	41
3.4.1.1	Pflegepersonal.....	41
3.4.1.2	Ärzte .....	41
3.4.2	Zusammenhang zwischen der Evaluationsqualität und der Qualifikation der Ärzte.....	42
3.4.2.1	Evaluationsqualitäten der Oberärzte .....	42
3.4.2.2	Evaluationsqualitäten der Fachärzte.....	43
3.4.2.3	Evaluationsqualitäten der Assistenzärzte .....	44
3.5	Lernkurven der Doktoranden im Verlauf der Studie .....	45

<b>4</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>47</b>
4.1	Allgemeines .....	47
4.2	Einfluss der Berufserfahrung auf die Evaluation.....	48
4.3	Klinische Relevanz .....	49
4.4	Diskussion der Ergebnisse im klinischen Kontext .....	50
4.5	Fehlerquellen .....	53
4.5.1	Pulsoximetrie .....	53
4.5.2	SpO <sub>2</sub> -Evaluation des Personals .....	56
4.6	Zusammenfassung .....	57
<b>5</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>58</b>
<b>6</b>	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>59</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>60</b>
<b>8</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>65</b>
8.1	Verzeichnis akademischer Lehrer .....	65
8.2	Danksagung.....	66

## I. Summary

**Introduction:** Hypoxemia is one of the most frequently observed complications after anesthesia. Therefore it is important to detect hypoxemia reliably to prevent serious damage to the patients' health. Pulse oximetry provides an established method for detecting hypoxemia with a high sensitivity. Recently, fast-track anesthesia has become more and more popular in anesthesia. Fast-track means that the patients are transported directly from the operating room to the ward, without any monitoring. In view of the fact that hypoxemia after anesthesia is common, it is important to examine how reliable the clinical detection of hypoxemia is and if the professional experience of the medical staff affects the quality of the detection.

**Material and methods:** In our study we examined 1145 patients who underwent an operation at the university hospital of Marburg between May 2009 and January 2010. Inclusion criteria were general anesthesia with intubation tube or laryngeal mask airway and the postoperative stay in the PACU (post-anesthesia care unit). Patients who were given oxygen during transport from the operating room to the PACU, patients who were transferred directly to the intensive care unit and those who were just given a regional anesthesia were excluded from the study. The patients' oxygen saturation was judged at the entrance to the PACU by the attending anesthetist, one person of the nursing staff and one of the doctoral students based on the clinical signs cyanosis and tachypnoea. Simultaneously, the oxygen saturation was measured by pulse oximeter. The measured data of the pulse oximetry and the staffs' estimated data based solely on clinical signs were compared in Bland-Altman-Plots. The anesthetists were classified into three groups (resident, fellow, attending) for comparing the quality of their estimated data with their professional experience.

Furthermore, we analysed the quality of the doctoral students' estimated data during the period of the study. We defined hypoxemia as follows: <90% mild hypoxemia, <85% severe hypoxemia.

**Results:** The incidence of hypoxemia in our study was 13,8%. The anesthetists detected hypoxemia based on clinical signs with a sensitivity of 8,1%, the nursing staff and the doctoral students with a sensitivity of 2,7%. Our study shows that there is no correlation between the quality of data and the professional experience of the anesthetists ( $p=0,9892$ ). Additionally, there is no statistically relevant learning curve for the performance of the doctoral students during the period of investigation.

**Discussion:** Cyanosis and tachypnoea are unreliable clinical signs for detecting hypoxemia. The sensitivity of this method for detecting hypoxemia is very low, even if the staff is experienced (8,1% and 2,7% respectively). For that reason, patients should be monitored by pulse oximetry, if fast-track anesthesia is applied.

# 1 Einleitung

## 1.1 Allgemeiner Teil

### 1.1.1 Einführung

Eine Narkose bewirkt Schmerzfremheit, Amnesie und Muskeler-schlaffung, erkaufte diese aber mit einschneidenden Eingriffen in die funktionale Integrität des Körpers und in sein ausgewogenes Gleichgewicht an Steuerfunktionen. Dies kann, wenn unachtsam getan, durchaus bis zum Tod des Patienten führen. Fehler und Risiken in der Anästhesie liegen vor allem in den Bereichen Atemwegssicherung, Herz-Kreislauf-Stabilität, Volumenhaushalt und Medikamentendosierung [1,2,14,53,54,57,84]. Vielfältige Ansätze wurden gesucht, um die Vorteile einer Narkose mit einer ausreichenden Patientensicherheit zu kombinieren. Erste derartige Ansätze stellen die Aufstellung des Guedel-Schemas 1920 und die Definition der vier Narkosestadien 1937 dar [47]. Unter anderem führten diese Schematisierungen langfristig zur Entwicklung der Fachdisziplin Anästhesiologie. Die Anästhesiologie ist eine Fachdisziplin, die sich selbst in der Verantwortung sieht, die Patientensicherheit spürbar zu verbessern. Dieser Grundsatz wird in der Deklaration von Helsinki zum Ausdruck gebracht [61].

Zur Sicherheit der Patienten während einer Narkose hat, neben dem technischen und pharmazeutischen Fortschritt, die Entwicklung von fachspezifischen Standards und Standard Operating Procedures (SOPs) wesentlich beigetragen.

Beispiele solcher Fortschritte sind SOPs zu Wärmemanagement und Volumenhaushalt sowie die Weiterentwicklung der Anästhetika von Äther über Halothan bis Desfluran, Isofluran und Sevofluran. Ein weiterer Durchbruch war die Entwicklung von Propofol, das 1977 klinisch eingeführt und 1989 erstmals in den USA zugelassen wurde. Die sehr gute Steuerbarkeit bei geringen unerwünschten Nebenwirkungen führte zur Einführung der total intravenösen Anästhesie (TIVA) Ende der 90er Jahre.

Gerätetechnisch waren die Einführungen der Elektrokardiografie 1902, des endotrachealen Beatmungstubus nach Magill 1920 [58], des ersten Narkosegerätes mit CO<sub>2</sub>-Absorber und Kreissystem durch die Firma Dräger 1925 [88] sowie der Pulsoximetrie 1972 von entscheidender Bedeutung.

All diese Entwicklungen mündeten 1985 in die erstmalige Festlegung eines perioperativen Standardmonitorings durch die American Society of Anesthesiologists (ASA). Hierzu zählten Blutdruck- und Pulsmessung im Intervall von 5 Minuten, die Elektrokardiografie (EKG), die kontinuierliche Überwachung der Beatmung und des inspiratorischen O<sub>2</sub> sowie ein Dekonnektionsalarm des Narkosesystems. Ebenfalls gefordert wurden die perioperative Temperaturmessung sowie die ständige Anwesenheit des Anästhesisten. 1989 wurde dieses Standardmonitoring von der ASA um die Pulsoximetrie erweitert [12].

In der Folge dieser Standardisierung und des verbesserten Monitorings kam es zu einem Absinken der peri- bzw. postoperativen Mortalität in der Anästhesie [31], wobei vor allem die Anzahl respiratorischer Komplikationen gesenkt werden konnte [13]. Morray et al. sehen den Grund hierfür in der standardmäßigen Einführung der Pulsoximetrie und der Kapnometrie zur Überwachung der Patienten [70], wodurch sich eine Fehlintubation durch einen Abfall der Sauerstoffsättigung frühzeitig erkennen und korrigieren lässt.

Trotz dieser positiven Mortalitätsentwicklung ist die Sterblichkeit nicht gleich null, wie von MacIntosh 1949 gefordert [57]. Deshalb gilt es, die Narkoseverfahren und die peri- und postoperative Überwachung zum Wohle des Patienten weiterhin zu optimieren.

Derzeit bestehen Empfehlungen der Fachgesellschaften bezüglich der intra- und postoperativen Überwachung des Patienten sowie des Patientenmanagements für den OP und den Aufwachraum [15,16,75].

Obwohl viele Hypoxämien bereits in der frühen postoperativen Phase auftreten [32,64,85,89], besteht in Deutschland keine generelle Empfehlung zur Überwachung des Patienten oder zur standardmäßigen Applikation von Sauerstoff während der Verlegungsphase aus dem OP in den Aufwachraum, welche je nach Infrastruktur der Klinik durchaus mehrere Minuten umfassen kann.

Zusätzlich geht der Trend in den letzten Jahren immer mehr zur Fast-Track-Anästhesie. Hierbei wird die Narkose so gestaltet, dass der Patient, nach Beendigung der Operation und unter Umgehung des Aufwachraums, möglichst direkt zurück in das ambulante Zentrum transportiert werden kann. Dort existiert in der Regel kein weiteres Monitoring [87]. In diesen Situationen wird die Sicherheit des Patienten allein durch die klinische Überwachung durch das klinische Fachpersonal gewährleistet.

Hierbei bleibt kritisch zu hinterfragen, inwieweit dennoch mögliche Komplikationen, wie z.B. eine Hypoxämie, frühzeitig erkannt und behandelt werden können.

### 1.1.2 Lerneffekte in der Medizin

In der Vergangenheit zeigte sich bereits, dass die klinische Hypoxämie-Evaluation schwierig ist. In vielen Bereichen der Medizin lassen sich aber Lernkurven von medizinischem Fachpersonal mit zunehmender Dauer der Berufsausübung nachweisen. Gerade im Bereich Anästhesie werden praktische Fertigkeiten innerhalb eines definierten Zeitraums rasch erlernt und verbessert, weshalb die Lernkurven oft sehr steil sind.

So zeigte sich zum Beispiel ein rapider Anstieg der Lernkurven bei Anästhesisten im ersten Ausbildungsjahr während ihrer ersten zwanzig Versuche, eine Spinalanästhesie, eine Epiduralanästhesie, einen Plexus-brachialis-Block oder eine orotracheale Intubation durchzuführen sowie beim Legen eines arteriellen Zugangs [20, 50].

Ein anderes Beispiel zeigt das Lernverhalten von Anästhesisten im Umgang mit dem ihnen bis zum Beginn der Studie unbekanntem Remifentanyl. Nach nur zehn mit Remifentanyl durchgeführten Narkosen sank die Häufigkeit von unerwünschten Nebenwirkungen [45].

Schüpfer et al. (2000) verglichen die Lernkurven von Berufsanfängern in der Anästhesie mit denen erfahrener Anästhesisten in Bezug auf erfolgreiche Kaudalblöcke bei Kindern. Die Berufsanfänger erreichten nach 32 Kaudalblöcken eine Erfolgsrate von 80 %. Diese entspricht der Erfolgsquote der erfahrenen Anästhesisten [80]. Auch hier ist die Lernkurve initial steil, erreicht aber ein Plateau, sodass nach einigen Jahren Berufserfahrung kein Lerneffekt mehr erkennbar ist.

Trotz dieser Erkenntnisse kann man nicht sicher ableiten, dass sich dieses Lernverhalten auf alle Teilaspekte innerhalb der Anästhesie anwenden lässt. Manche Aspekte zeigen eine Vielzahl an Einflussfaktoren, so dass ein klassisches Lernverhalten eher unwahrscheinlich ist.

Die Unzuverlässigkeit der Detektion einer Hypoxämie anhand klinischer Zeichen ist in der Literatur bereits beschrieben worden, es wurde jedoch kein Zusammenhang mit der Berufserfahrung der Anästhesisten hergestellt und auch kein Nachweis einer Lernkurve versucht. Vor dem Hintergrund des zunehmenden Fast-Track-Konzeptes in der Anästhesie sollte also, im Sinne der Grundlagenforschung zur Patientensicherheit, eine Re-Evaluation der Reliabilität der klinischen Hypoxämiekontrolle erfolgen. Hierbei sollten die Ergebnisse einerseits in Bezug zur Berufserfahrung des medizinischen Personals gesetzt und andererseits auf eine Lernkurve hin untersucht werden.

## 1.2 Spezieller Teil

### 1.2.1 Begriffsdefinitionen Hypoxie und Hypoxämie

Der Begriff Hypoxie wird im Allgemeinen als Synonym für einen Sauerstoffmangel verwendet. Physiologisch betrachtet bezeichnet die Hypoxie aber nur den Abfall des Sauerstoffpartialdruckes ( $pO_2$ ) [48].

Eine Gewebehypoxie kann aber nicht nur durch einen erniedrigten  $O_2$ -Partialdruck zustande kommen ( $O_2$ -Angebot $\downarrow$ ), sondern ebenfalls durch eine verminderte Sauerstoffbindung ( $saO_2$ ) im Sinne einer  $O_2$ -Transportstörung oder durch eine Anämie ( $\downarrow cHb$ ), was einer Störung der  $O_2$ -Transportkapazität entspräche [90]. Welcher dieser drei Faktoren auch immer die Ursache der Gewebehypoxie ist, die Folge ist stets eine Verringerung der Sauerstoffkonzentration ( $caO_2$ ). Für die Verringerung des  $caO_2$  hat sich der Begriff Hypoxämie durchgesetzt. Der  $caO_2$  berechnet sich wie folgt:

$saO_2 \times \text{Hämoglobin} \times \text{der Hüfnerschen Zahl } 1,39$ [49].
---

Der Normbereich liegt geschlechtsabhängig zwischen 18,5-20,5 ml  $O_2$ /dl Blut [91]. Von einer Hypoxämie spricht man bei einer Verringerung des  $caO_2$  auf Werte unter 18,5 ml  $O_2$ /dl Blut.

Da der physiologisch gelöste  $O_2$ -Anteil gegenüber dem an Hb gebundenen  $O_2$ -Anteil vernachlässigbar klein und klinisch nicht erfassbar ist, wird in dieser Studie aus Praktikabilitätsgründen der Begriff Hypoxämie bezogen auf die  $saO_2$  und nicht, wie es streng genommen korrekt wäre, bezogen auf die  $caO_2$  verwendet. Dies entspricht auch der gängigen klinischen Praxis. Des Weiteren wird die Sauerstoffsättigung als  $SpO_2$  angegeben und nicht als  $saO_2$ , da diese pulsoximetrisch und nicht arteriell bestimmt wird.

## 1.2.2 Formen der Hypoxämie

### 1.2.2.1 Hypoxische Hypoxämie

Eine hypoxische Hypoxämie kommt durch einen Abfall des Sauerstoffpartialdruckes zustande, in dessen Folge auch die  $saO_2$  und der  $caO_2$  abfallen. Ursächlich können sein: eine Störung der Lungenfunktion, des Ventilations-Perfusions-Verhältnisses oder der Beatmung.

### 1.2.2.2 Toxische Hypoxämie

Eine toxische Hypoxämie tritt bei einer erniedrigten  $saO_2$  auf. Der  $paO_2$  liegt im Normbereich. Hierbei liegt die Bildung von Dyshämoglobinen, wie Methämoglobin oder Carboxyhämoglobin, der Hypoxygenation zugrunde.

### 1.2.2.3 Anämische Hypoxämie

Eine Abnahme der  $cHb$  kennzeichnet die anämische Hypoxämie. In deren Folge sinkt das  $caO_2$ , die anderen Parameter bleiben unverändert. Die anämische Hypoxämie ist die häufigste der drei Formen. Klinisch sichtbar durch eine Steigerung der Herzfrequenz wird sie erst ab Hb-Werten unter 7,5 g/dl, da vorher noch mit einer Steigerung des Herzzeitvolumens gegengesteuert werden kann [35].

### 1.2.3 Die Sauerstoffbindungskurve

Sauerstoff wird im Blut zu 99% an Hämoglobin gebunden transportiert, zu einem Prozent liegt es physikalisch gelöst vor. Ein Molekül Hämoglobin kann vier Moleküle Sauerstoff binden, was einer Sauerstoffbindung von 1,34 ml O<sub>2</sub>/g Hämoglobin entspricht (Hüfner-Zahl).

Eine Besonderheit des Hämoglobins ist der kooperative Effekt: Lagert sich ein Sauerstoffmolekül an eine der Hb-Bindungsstellen an, so führt eine Konformationsänderung des Proteins zu einer erleichterten Anlagerung von Sauerstoff an die übrigen Bindungsstellen. Der kooperative Effekt ist verantwortlich für den s-förmigen Verlauf der Sauerstoffbindungskurve.

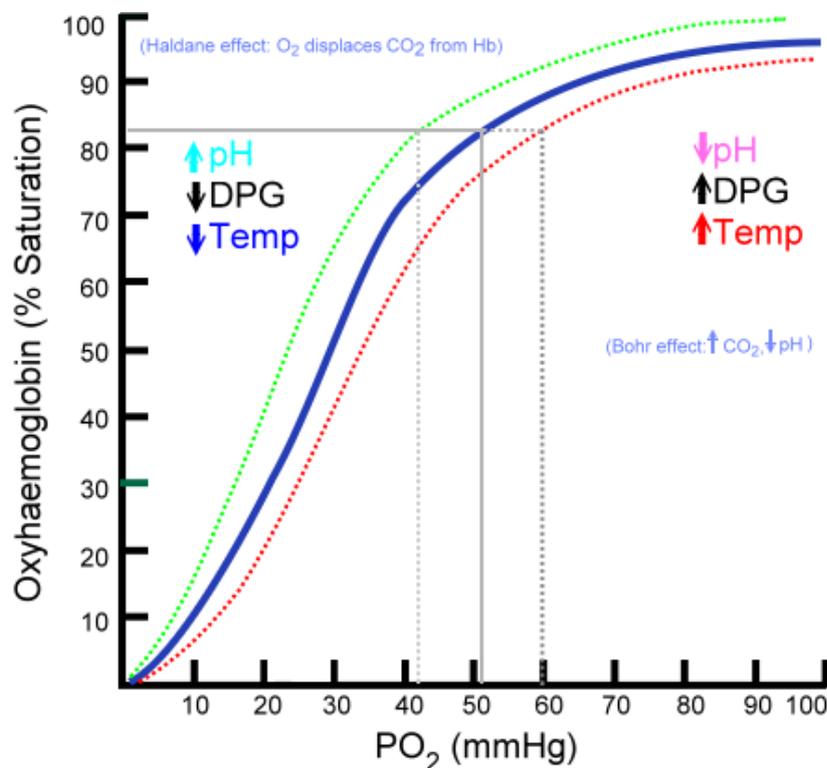


Abbildung 1: Sauerstoffbindungskurve

(Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Rapoport-Luebering-Zyklus>)

Die Sauerstoffbindungskurve zeigt die Abhängigkeit der Sauerstoffsättigung ( $saO_2$ ) vom arteriellen Sauerstoffpartialdruck  $pO_2$ . Die Sauerstoffsättigung ist umso höher, je höher der Sauerstoffpartialdruck im Blut ist. Die  $saO_2$  gibt an, wie viele der Sauerstoffbindungsstellen am Hämoglobin mit Sauerstoff belegt sind. Normalerweise liegt der Wert unter Raumlufbedingungen bei 96-98% [91], im venösen Blut noch bei 75%.

Der s-förmige Verlauf der Sauerstoffbindungskurve erweist sich dabei als vorteilhaft für den menschlichen Organismus. So bleibt ein Abfall des alveolären  $pO_2$  in der Lunge aufgrund des flachen Verlaufs der Kurve bei  $pO_2$ -Werten oberhalb von 80 mmHg lange ohne große Auswirkung auf die Sauerstoffsättigung. Erst bei  $pO_2$ -Werten unter 60 mmHg fällt die  $saO_2$  merklich ab. Im Gewebe wiederum ist die Sauerstoffabgabe erleichtert, da das Hämoglobin bei  $pO_2$ -Werten unter 40 mmHg den gebundenen Sauerstoff leicht abgibt. Dies spiegelt sich im steilen Anstieg der Kurve wider.

Verschiedenste Faktoren beeinflussen die Affinität von Sauerstoff zu Hämoglobin, so dass es zu einer Rechts- oder Linksverschiebung der Sauerstoffbindungskurve kommen kann.

Faktoren, die zu einer Rechtsverschiebung führen, sind: ein steigender  $pCO_2$ , ein sinkender pH-Wert, ein Anstieg der Temperatur sowie ein Anstieg der 2,3-BPG-Konzentration im Erythrozyten. Eine Rechtsverschiebung zeigt sich durch eine Abnahme der Sauerstoffsättigung bei konstantem arteriellem  $pO_2$  und führt zu einer Sauerstoffaffinitätsabnahme des Hämoglobins, so dass Sauerstoff im Gewebe leichter abgegeben werden kann.

Eine Linksverschiebung der Bindungskurve hat eine Zunahme der Affinität des Hämoglobins und somit eine gesteigerte Sauerstoffaufnahme in der Lunge zur Folge. Sie entsteht bei sinkenden  $pCO_2$ -Werten, bei einer Zunahme des pH-Wertes sowie bei einer Abnahme der Temperatur und der 2,3-BPG-Konzentration.

Die hier beschriebene Abhängigkeit der Sauerstoffaffinität des Hämoglobins vom  $p\text{CO}_2$  und vom pH wird auch als Bohr-Effekt bezeichnet. Der Bohr-Effekt ist somit dafür verantwortlich, dass Sauerstoff im stoffwechselaktiven Gewebe, das einen hohen  $p\text{CO}_2$  und einen niedrigen pH aufweist, leicht abgegeben werden kann. In der Lunge wiederum führt der Bohr-Effekt zu einer gesteigerten Sauerstoffbindung an das Hämoglobin.

Der  $P_{50}$ -Wert gibt die Affinität von Sauerstoff zu Hämoglobin an. Er entspricht dem Sauerstoffpartialdruck, bei welchem 50% der verfügbaren Sauerstoffbindungsstellen mit Sauerstoff beladen sind. Eine Erhöhung des  $P_{50}$ -Wertes entspricht einer Rechtsverschiebung der Sauerstoffbindungskurve, eine Erniedrigung derselben einer Linksverschiebung.

#### 1.2.4 Postoperative Störungen der Oxigenation

Eine Allgemeinanästhesie mit artifiziellem Atemweg hat Auswirkungen auf die Lungenphysiologie und damit auf die postoperative Lungenfunktion. Daher treten bei 3-10% der Patienten nach elektiver Operation pulmonale Komplikationen auf [38]. Hierfür gibt es vielfältige Ursachen, die im Folgenden beschrieben werden.

##### 1.2.4.1 Gasaustausch

Der Hauptgrund für Veränderungen des Gasaustausches ist die intraoperative Entstehung von Atelektasen mit Verschluss der kleinen Atemwege. Atelektasen finden sich bei 90% der Patienten, unabhängig davon, ob der Patient spontan atmet oder beatmet wird [37]. Begünstigend für deren Ausbildung sind die Rückenlage des Patienten, erhöhte Sauerstoffpartialdrücke sowie die Gabe von Muskelrelaxantien bei kontrollierter Beatmung der Patienten [36].

Des Weiteren spielen Faktoren wie die Kopftieflage [40] und die OP-Dauer [72] eine Rolle. Diese Faktoren zusammen führen durch eine Vergrößerung des intrapulmonalen Shunts zu einem Abfall des PaO<sub>2</sub>.

##### 1.2.4.2 Transportkapazität

Die postoperative O<sub>2</sub>-Transportkapazität kann durch eine Anämie eingeschränkt sein. Auch die Abgabe von Sauerstoff an das Gewebe kann durch eine pH-abhängige Verschiebung der Sauerstoffbindungskurve erschwert werden.

#### 1.2.4.3 Gewebepfusion

Hinzu kommt, dass viele Anästhetika eine Abnahme des Herzzeitvolumens und somit indirekt eine verminderte Gewebepfusion hervorrufen. Demgegenüber steht ein gesteigerter zerebraler und kardialer Sauerstoffverbrauch nach einer Allgemeinanästhesie [30].

#### 1.2.4.4 Weitere Faktoren

Shivering, postoperative Übelkeit, Stress und Schmerzen beeinflussen den Sauerstoffbedarf im Körper zusätzlich. So führt auftretendes Shivering zu einem um ein Vielfaches gesteigerten postoperativen O<sub>2</sub>-Verbrauch und kann so zu einer Minderversorgung des Organismus führen [7].

Postoperativer Wundschmerz beeinträchtigt die Sauerstoffversorgung des Körpers auf zweierlei Arten. Zum einen kann er, vor allem bei Operationen im Bereich des Thorax und des Abdomens, zu einer Verminderung der Sauerstoffaufnahme führen, da die Atemexkursionen des Patienten schmerzbedingt nicht im vollen Umfang ausgeführt werden können [25]. Zum anderen führt der Schmerz selbst, im Sinne des Postaggressionsstoffwechsels, zu einem gesteigerten Sauerstoffverbrauch [46].

Eine postoperative Stressreaktion des Organismus ist physiologisch. Der Körper reagiert auf den operativen Eingriff mit einer Aktivierung sowohl des sympathischen als auch des somatischen Nervensystems, in deren Folge neuroendokrine Mediatoren und Zytokine aktiviert werden. Diese bewirken im Organismus eine Herzfrequenzzunahme, eine Blutdruckzunahme, Fieber, eine Immunsuppression und eine Zunahme des Proteinstoffwechsels [68]. Letztlich führen alle diese Veränderungen zu einem gesteigerten Sauerstoffverbrauch des Organismus.

Somit sollte zusätzlicher psychischer Stress, wie er durch postoperative Übelkeit und Erbrechen (PONV) auftritt, unbedingt vermieden werden. Neben der indirekt ausgelösten Stressreaktion beeinträchtigt PONV die Sauerstoffaufnahme direkt, falls es zu einer Aspiration des Erbrochenen kommt [52].

### 1.2.5 Einteilung der Hypoxämie nach Schweregraden

In der Literatur gibt es keine einheitliche Definition der Schweregrade einer Hypoxämie.

Die gängige Einteilung lautet:

- milde Hypoxämie =  $SpO_2 \leq 90\%$ ,
- schwere Hypoxämie =  $SpO_2 \leq 85\%$  [32,60,85].

Einige Autoren unterteilen auch in milde ( $SpO_2 \leq 90\%$ ), moderate ( $SpO_2 \leq 85\%$ ) und schwere Hypoxämie ( $SpO_2 \leq 80\%$ ) [64,67,74].

Einigkeit hingegen herrscht weitestgehend über den Grenzwert zwischen Hypoxämie und normaler Sauerstoffsättigung. Dieser liegt in der Literatur bei  $90\% SpO_2$  [15-17,27,55,62,89].

### 1.2.6 Klinische Zeichen einer Hypoxämie

Allgemeine Zeichen einer Hypoxämie können sein: Tachypnoe, Zyanose, kardiale Arrhythmien, arterielle Hypertonie, Tachykardie, Unruhe, Krämpfe, Somnolenz und Schwitzen [81].

Von all diesen Symptomen sind allerdings nur die Tachypnoe, die Zyanose und die sehr unspezifischen Symptome Unruhe, Somnolenz und Schwitzen durch eine Blickdiagnose, wie sie im unmittelbar postoperativen Verlauf üblich ist, zu erfassen. Als klassische klinische Kriterien, auf die man sich bei der Diagnose der Hypoxämie stützen kann, gelten hiervon jedoch nur die Zyanose und die Tachykardie [62].

Doch auch die periphere Zyanose, also die Blaufärbung von Lippen und Akren, ist ein unsicheres Zeichen. Sie tritt erst ab einer Desoxy-Hämoglobinkonzentration von 5 g/dl deutlich in Erscheinung. Gerade aber bei einer Anämie mit deutlich erniedrigter Gesamt-Hämoglobinkonzentration kann eine Hypoxie auch ohne äußerlich sichtbare Zyanose auftreten. So wurde in der Studie von Daley et al. nur bei vier von sieben Patienten, welche eine Sauerstoffsättigung von unter 90% hatten, diese Hypoxämie anhand einer Zyanose klinisch sichtbar. Dies lässt sich anhand des Verlaufs der Sauerstoffbindungskurve nachvollziehen. Eine Hypoxämie macht sich somit aufgrund des s-förmigen Verlaufs der Kurve klinisch frühestens bei  $paO_2$ -Werten von weniger als 60mmHg bemerkbar. Eine sichtbare Zyanose tritt bei  $saO_2$ -Werten unterhalb von 80% auf [22,48].

Somit ist eine Hypoxämie klinisch nur sehr schwer zu erkennen.

### 1.3 Aufgabenstellung

Die vorliegende Studie soll dazu dienen, die Patientensicherheit in der Anästhesie weiterhin zu verbessern.

Folgende Fragestellungen sollen beantwortet werden:

1. Wie hoch ist die Inzidenz der Hypoxämie während des Transportes aus dem Operationssaal in den Aufwachraum?
2. Lässt sich eine Hypoxämie allein an klinischen Zeichen ohne apparative Diagnostik wie die Pulsoximetrie durch medizinisches Fachpersonal erkennen?
3. Hat die Berufserfahrung des Personals einen Einfluss auf die Qualität der Hypoxämie-Evaluation und lassen sich bei der klinischen Diagnose der Hypoxämie Lernkurven über den Zeitraum der Studie nachweisen?

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Pulsoximetrie

#### 2.1.1 Geschichte der Pulsoximetrie

Die ersten Oximeter wurden in den 30er Jahren in Deutschland entwickelt. Millikan entwickelte im Zweiten Weltkrieg ein Ohroximeter, das von dem Japaner Aoyagi 1972 zum heute bekannten Pulsoximeter weiterentwickelt wurde [82,83].

Seit 1981 sind Pulsoximeter im Handel erhältlich und seit den frühen 90er Jahren werden sie standardmäßig zur peri- und postoperativen Überwachung des Patienten eingesetzt [19,75,79].

#### 2.1.2 Prinzip des Pulsoximeters

Die Pulsoximetrie ist ein spektralfotometrisches Verfahren zur nicht-invasiven, kontinuierlichen Messung der arteriellen Sauerstoffsättigung des Blutes.

Das Messprinzip beruht auf der Lichtabsorption durch das in Erythrozyten enthaltene Hämoglobin.

Die Pulsoximetrie nutzt die unterschiedlichen Absorptionsverhalten von oxigeniertem ( $\text{O}_2\text{Hb}$ ) und desoxigeniertem Hämoglobin ( $\text{Hb}$ ), um die Sauerstoffsättigung spektralfotometrisch über das Lambert-Beer-Gesetz zu bestimmen.

$$E = \epsilon \cdot c \cdot d$$

Die Extinktion ( $E$ ) einer Lösung ist proportional der Konzentration ( $c$ ) der darin gelösten lichtabsorbierenden Substanz, der Schichtdicke ( $d$ ) und abhängig von dem molaren Extinktionskoeffizienten  $\epsilon$ .

Hierzu wird infrarotes Licht der Wellenlänge 940 nm und rotes Licht der Wellenlänge 660 nm von lichtemittierenden Dioden abgegeben und durch eine gegenüberliegende Fotodiode aufgenommen.

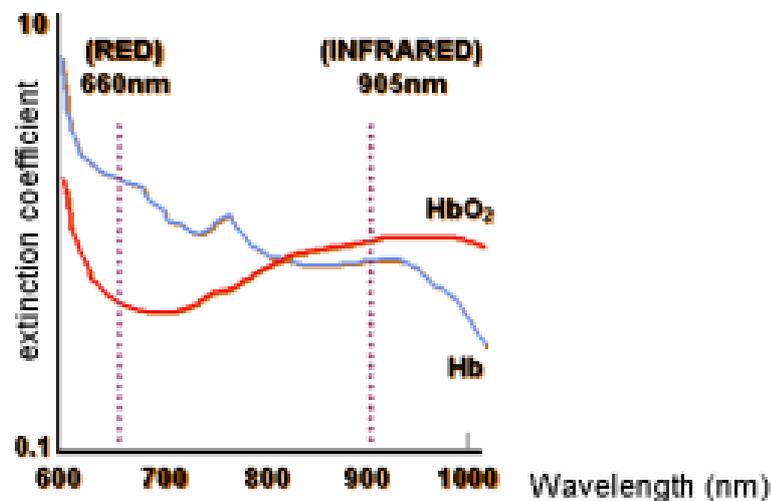


Abbildung 2: Absorptionsspektrum für Hämoglobin ( $\text{Hb}$ ) und Oxyhämoglobin ( $\text{HbO}_2$ ) des roten und infraroten Lichtfrequenzbereiches (in nm) (Graybeal et al. 2005)

Die absorbierte Lichtmenge besteht aus einer pulsatilen und einer basalen Komponente. Die pulsatile Komponente besteht fast ausschließlich aus der Absorption des Lichts durch das arterielle Blut. Die basale Komponente ergibt sich aus der Absorption des Lichts durch das Gewebe, das venöse und kapilläre Gefäßbett sowie einen Teil des arteriellen Gefäßbettes.

Das Pulsoximeter berechnet das Verhältnis aus den Quotienten zwischen pulsatiler und basaler Absorption im roten (660 nm) und im infraroten (940 nm) Bereich. Dieser Wert korreliert mit der arteriellen O<sub>2</sub>-Sättigung des Gewebes. Die Pulsoximetrie bestimmt allerdings lediglich die funktionelle Sauerstoffsättigung, da das Vorhandensein von Dyshämoglobinen, wie Carboxyhämoglobin und Methämoglobin, nicht berücksichtigt wird. Deshalb wird der gemessene SaO<sub>2</sub>-Wert überschätzt.

### 2.1.3 Masimo SET®-Pulsoximetrie

In der vorliegenden Studie wurde ein Pulsoximeter der Firma Masimo mit der SET®-Messtechnologie verwendet.

Die herkömmlichen Pulsoximeter reagieren sehr empfindlich auf Bewegung, eine schwache Perfusion und eine helle Umgebung und liefern deshalb oft falsche Werte [33].

Die Masimo Signal Extraction Technology (Masimo SET®) wurde speziell dafür entwickelt, diese Artefakte herauszufiltern, um so verlässliche Werte zu produzieren.

Es wird angenommen, dass venöse Pulsationen während der Bewegung des Patienten und eine schwache Durchblutung Störsignale hervorrufen, die von herkömmlichen Pulsoximetern zu den arteriellen Pulsationen addiert werden, so dass falsch niedrige Sättigungswerte angezeigt werden. Die Masimo SET®-Pulsoximetrie hingegen filtert diese als Störgeräusche wahrgenommenen venösen Pulsationen mit verschiedenen adaptiven Filtern heraus und zeigt so die unverfälschte arterielle Sättigung an [4].

Verschiedene Studien belegen die Überlegenheit der Masimo SET®-Pulsoximetrie gegenüber den konventionellen Pulsoximetern. So zeigt das Masimo SET®-Pulsoximeter eine Sensitivität bei Bewegung und schwacher Durchblutung von 100%, die konventionellen Geräte lediglich von 59%. Auch die Anzahl und Dauer von Fehlalarmen konnten im Vergleich zu den herkömmlichen Pulsoximetern bei der SET®-Pulsoximetrie halbiert werden [59].

#### 2.1.3.1 Der Perfusionsindex (PI)

Der Perfusionsindex (PI) ist eine relative Einschätzung der Pulsstärke an der Messstelle des Pulsoximeters. Er ist ein Produkt der spektroskopischen Messung der Pulsoximetrie und ist definiert als Quotient der pulsatilen und der nicht-pulsatilen Komponente der Lichtabsorption im Infrarot-Wellenbereich.

Der Perfusionsindex kann Werte zwischen 0,02 % (sehr schwacher Puls) und 20 % (sehr starker Puls) annehmen und gilt als Qualitätsmerkmal für die Messung der Sauerstoffsättigung, sobald er Werte über 0,25 % annimmt (Angabe des Herstellers: Masimo Corporation, Irvine, USA).

## 2.2 Methoden

### 2.2.1 Aufbau der Studie

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine nicht-randomisierte, prospektive Beobachtungsstudie. Mittels klinischer Evaluation wurde an der OP-Schleuse der Verdacht einer postoperativen Hypoxämie qualitativ geäußert und mittels Pulsoximeter validiert.

In der Studie wurden monozentrisch die Daten von 1145 Patienten erhoben, die im Universitätsklinikum Marburg operiert wurden. Die Daten wurden nach erteilter Genehmigung des Studienprotokolls durch die Ethikkommission der Universität Marburg in dem Zeitraum vom 01.05.2009-01.02.2010 erhoben.

### 2.2.2 Studienpopulation

Es wurde im Untersuchungszeitraum eine Patientenzahl größer 1000 angestrebt.

#### 2.2.2.1 Einschlusskriterien

Eingeschlossen wurden alle Patienten, die intraoperativ über eine Larynxmaske oder einen Tubus beatmet und postoperativ im Aufwachraum überwacht wurden.

Aufgrund der strukturellen Gegebenheiten der Marburger Universitätsklinik umfasst die Studie lediglich Patienten aus folgenden Abteilungen: Urologie, Allgemeinchirurgie, Unfallchirurgie, Orthopädie, Neurochirurgie, Gynäkologie, Kardiochirurgie und Innere Medizin.

#### 2.2.2.2 Ausschlusskriterien

Ausgeschlossen wurden Patienten, die beatmet aus dem Operationssaal verlegt wurden oder die während des Transportes bereits Sauerstoff über eine Gesichtsmaske erhielten. Ebenso ausgeschlossen wurden alle Patienten mit alleiniger Regionalanästhesie.

Ein Perfusionsindex von weniger als 0,25% oder der Hinweis auf „schlechte Signalqualität“ auf dem Display des Pulsoximeters führten ebenfalls zum Ausschluss aus der Studie.

#### 2.2.3 Studienablauf

Bei anonymisierter Datenerhebung und observatorischem Studiendesign wurde durch die Ethikkommission keine individuelle Patientenaufklärung gefordert. Alle Datensätze wurden, nach Zuordnung einer unabhängigen Studiennummer, anonym erfasst.

Folgende Daten wurden erhoben:

##### 1. Präoperativ:

- Alter,
- Geschlecht,
- ASA-Klassifikation,
- SpO<sub>2</sub> am Vortag in der Prämedikationsambulanz,
- SpO<sub>2</sub> in der Einleitung vor dem Anästhesiebeginn.

## 2. Intraoperativ:

- OP-Abteilung,
- Art der Atemwegssicherung,
- Zeitpunkt des Narkoseendes.

## 3. Postoperativ:

### a) An der Schleuse zwischen OP und Aufwachraum:

- SpO<sub>2</sub>-Evaluation des Arztes/der Anästhesiepflege/des Doktoranden bei Übergabe des Patienten aus dem OP in den Aufwachraum,
- SpO<sub>2</sub>-Messung durch ein Pulsoximeter (Masimo Radical7) bei Übergabe des Patienten aus dem OP in den Aufwachraum,
- Perfusionsindex während der Messung,
- Zeitpunkt der Messung,
- Berufsjahre und Funktion des evaluierenden Anästhesisten,
- Berufsjahre der evaluierenden Pflegekraft.

### b) Im Aufwachraum:

- Shivering des Patienten,
- Körpertemperatur (Ohr),
- Atemfrequenz bei Ankunft und bei Verlegung,
- SpO<sub>2</sub> nach routinemäßiger Gabe von 6l O<sub>2</sub> im Aufwachraum.

Die Entscheidung über das durchgeführte Narkoseverfahren oblag dem jeweiligen Anästhesisten. Dieser traf seine Entscheidung unter Berücksichtigung der jeweiligen SOPs (Standard Operating Procedures) der Klinik für Anästhesie und Intensivtherapie des Universitätsklinikums Gießen und Marburg.

Neben den Narkoseverfahren umfassen die SOPs das BIS-Monitoring (BIS Quatro<sup>TM</sup>; Aspect Medical Systems, Freising/Deutschland) mit einem Zielwert von 30-60 sowie perioperatives Wärmemanagement durch das sogenannte Forced Air Warming (BairHugger 505, Dräger Medical, Bern/Schweiz). Zusätzlich erhielt jeder Patient nach Einsatz von Muskelrelaxantien eine relaxometrische Kontrolle der muskulären Erholung (Zielwert: Train Of Four > 0,90).

Nach der Extubation erfolgte eine Re-Evaluation bezüglich des postoperativen kardiopulmonalen Risikos. Bei erhöhtem Risiko für eine postoperative kardiopulmonale Insuffizienz erfolgte die Verlegung auf die Intensivstation oder unter Sauerstoffapplikation und pulsoximetrischer Überwachung zur prolongierten Nachsorge in den Aufwachraum. In allen anderen Fällen erfolgte der Transport unter Begleitung des behandelnden Anästhesisten ohne Monitoring oder artifizielle Sauerstoffzufuhr zur OP-Schleuse. Diese Patienten wurden dann durch den Anästhesisten, eine anästhesiologische Pflegekraft sowie einen Studenten klinisch bezüglich einer Hypoxämie evaluiert. Parallel dazu wurde die Sauerstoffsättigung über das tragbare Pulsoximeter gemessen.

Hierbei wurde besonderes Augenmerk auf die Verblindung der einzelnen Schritte gelegt. Primär erfolgte die Evaluation durch den Studenten. Arzt und Pflegekraft äußerten ihre Einschätzungen getrennt voneinander, um einen Bias gegenseitiger Beeinflussung zu vermeiden. Zuletzt wurde der Sauerstoffsättigungswert von dem verdeckt angebrachten und lautlos gestellten Pulsoximeter abgelesen sowie der angezeigte Perfusionsindex und die Uhrzeit der Messung notiert.

Der Patient wurde anschließend in den Aufwachraum gebracht und dort an das Basismonitoring, bestehend aus EKG, Blutdruckmessung und Pulsoximetrie, angeschlossen. Der mit dem tragbaren Pulsoximeter an der Schleuse gemessene Wert für die Sauerstoffsättigung wurde hier intern nochmals validiert, indem alle Patienten, deren gemessene Werte an der

Schleuse und im Aufwachraum sich um mehr als drei Prozentpunkte unterschieden, aus der Studie ausgeschlossen wurden.

Des Weiteren wurde unmittelbar nach Ankunft im Aufwachraum die Temperatur in beiden Ohren gemessen und der höhere der beiden Werte notiert. Ebenso wurde die Atemfrequenz unmittelbar nach der Aufnahme im Aufwachraum sowie bei Verlegung auf die periphere Station bestimmt. Zuletzt wurden die Patienten anhand der Shivering-Einteilung nach Zhang beurteilt [92] (siehe Tabelle 4 im Tabellenverzeichnis auf S.59).

Um einen Bias prolongierter Verlegungsdauer auszuschließen, wurden drei Rahmenwerte erfasst. Vor Beginn der Studie wurden die Entfernungen aus den einzelnen OP-Sälen zur Schleuse gemessen. Zusätzlich wurden eine eventuelle Wartezeit vor der Schleuse sowie der Zeitpunkt der Messung an der Schleuse und der Zeitpunkt des Narkoseendes erfasst.

Die Berufsjahre des Pflegepersonals und des ärztlichen Personals sowie ihre Funktion (Oberarzt, Facharzt, Assistenzarzt) wurden erfragt.

#### 2.2.4 Definitionen der Studie

Folgende Definitionen wurden festgelegt:

• SpO <sub>2</sub> -Zielbereich	90-100%,
• milde Hypoxämie	< 90%,
• schwere Hypoxämie	< 85%.

#### 2.2.5 Auswertung

Die gemessenen und die evaluierten Werte wurden handschriftlich festgehalten und ergänzt durch Informationen aus den Narkoseprotokollen. Im Anschluss wurden die Daten in eine Access-Datenbank übertragen. Nach der Überprüfung der Richtigkeit der eingegebenen Daten wurden diese in ein Statistikprogramm überführt und dort ausgewertet.

#### 2.2.6 Statistik

Die statistische Datenauswertung erfolgte primär deskriptiv. Zur Auswertung und Darstellung der Daten kamen der Wilcoxon-Rangsummentest sowie Bland-Altman-Plots zur Anwendung. Zusätzlich wurden Sensitivitäten und Spezifitäten des hier untersuchten Testverfahrens berechnet sowie die Ableitung einer positiven Lernkurve versucht.

### 2.2.6.1 Deskriptive Auswertung

Die deskriptive Statistik befasst sich mit der Erhebung, Aufbereitung und Auswertung von Daten. Ziel ist es, die empirischen Daten in Tabellen und Grafiken darzustellen und zu ordnen und diese dann durch geeignete Kenngrößen zahlenmäßig zu beschreiben.

Im Rahmen der deskriptiven Analyse wurden zunächst die Häufigkeiten einer postoperativen Hypoxämie sowie verschiedene Patienten- und Untersucherdaten erfasst.

Das Hauptkriterium der Datenauswertung war die Erfassung der Differenz zwischen der Messung mit dem Pulsoximeter (Goldstandard) und den einzelnen Evaluationswerten des Personals.

### 2.2.6.2 Wilcoxon-Rangsummentest

Der Rangsummentest nach Wilcoxon ist ein nichtparametrisches Verfahren zum Vergleich der Verteilungsfunktionen zweier Stichprobenvariablen hinsichtlich von Lageunterschieden. Voraussetzungen, die erfüllt sein müssen, sind folgende:

1. Das Messniveau der Beobachtungen  $x_1, \dots, x_m, y_1, \dots, y_n$  ist metrisch oder ordinal.
2. Die Variablen  $X_1, \dots, X_m, Y_1, \dots, Y_n$  sind unabhängig.
3.  $X_1, \dots, X_m, Y_1, \dots, Y_n$  haben stetige Verteilungsfunktionen  $F$  bzw.  $G$ .

Zur Berechnung des Wilcoxon-Tests werden die Originaldaten durch die entsprechenden Rangplätze ersetzt, die sich bei Ordnung der Datenwerte der Größe nach ergeben. Für die Teststatistik  $W$  werden die Ränge einer der Stichproben zusammengezählt.

Ergibt sich unter Berücksichtigung der jeweiligen Fallzahlen  $m$  und  $n$  ein hinreichend kleiner bzw. großer Wert, bedeutet dies, dass die Ränge dieser Stichprobe tendenziell kleiner bzw. größer als die der anderen Stichprobe sind und somit ein systematischer Unterschied zwischen den beiden Gruppen besteht.

Formal ergeben sich folgende Testprobleme:

	<u>Nullhypothese</u>	<u>Alternativhypothese</u>	
<b>Test A</b>	$H_0 : G(z) = F(z)$	$H_1 : G(z) = F(z - \theta), z \in \mathbb{R}, \theta > 0$	Einseitig (links)
<b>Test B</b>	$H_0 : G(z) = F(z)$	$H_1 : G(z) = F(z - \theta), z \in \mathbb{R}, \theta < 0$	Einseitig (rechts)
<b>Test C</b>	$H_0 : G(z) = F(z)$	$H_1 : G(z) = F(z - \theta), z \in \mathbb{R}, \theta \neq 0$	Zweiseitig

**Tabelle 1: Testprobleme beim Wilcoxon-Rangsummentest**

Die Teststatistik  $W$  ist definiert als:

$$W_{m,n} = \sum_{i=1}^m R(X_i)$$

Dabei sind  $R(X_i)$  die Ränge der  $X_i$  in der kombinierten, geordneten Stichprobe.

Beim Wilcoxon-Test wird der kritische Wert zum Signifikanzniveau  $\alpha$  und den Stichprobenumfängen  $n$  und  $m$  mit  $w_{\alpha(n,m)}$  bezeichnet.

Je nach Testproblem wird die Nullhypothese verworfen, wenn gilt:

	$H_0$ wird verworfen, wenn
<b>Test A</b>	$W < w_{\alpha}(n, m)$
<b>Test B</b>	$W > w_{1-\alpha}(n, m)$
<b>Test C</b>	$W < w_{\alpha/2}(n, m)$ oder $W > w_{1-\alpha/2}(n, m)$

**Tabelle 2: Verwerfung der Nullhypothese beim Wilcoxon-Rangsummentest**

### 2.2.6.3 Bland-Altman-Plot

Der Bland-Altman-Plot ist eine statistisch-grafische Methode zum Vergleich zweier Messverfahren in Form einer Punktwolke. Dabei werden die Differenzen der Messmethoden  $S_1$  und  $S_2$  gegen den Mittelwert der beiden Methoden aufgetragen:

$$S(x, y) = \left( \frac{S_1 + S_2}{2}, (S_1 - S_2) \right).$$

Zusätzlich werden der Mittelwert der Differenz sowie der Mittelwert der Differenz  $\pm 1,96 \cdot$  Standardabweichung der Differenz aufgetragen [10,11]. Die Region innerhalb der oberen und unteren Bezugslinien enthält unter der Annahme der Normalverteilung 95% der Werte. Liegen diese Bezugslinien in einem sachlogisch akzeptablen Rahmen, können die beiden Messmethoden als gleichwertig angesehen werden.

#### 2.2.6.4 Sensitivität und Spezifität

Unter der Sensitivität eines diagnostischen Tests versteht man die Fähigkeit, tatsächlich Kranke auch als krank zu erkennen:

$$\text{Sensitivität} = \frac{\text{Anzahl richtig Positiver}}{\text{Anzahl richtig Positiver} + \text{Anzahl falsch Negativer}}$$

Die Spezifität eines diagnostischen Testverfahrens bezeichnet die Fähigkeit, tatsächlich Gesunde als gesund zu identifizieren:

$$\text{Spezifität} = \frac{\text{Anzahl richtig Negativer}}{\text{Anzahl richtig Negativer} + \text{Anzahl falsch Positiver}}$$

Zur Bestimmung der Sensitivität und der Spezifität der Sauerstoffsättigungsbestimmung durch den klinischen Blick wurden gemessene Werte von <85% als krank und Werte >85% als gesund gewertet.

#### 2.2.6.5 Lernkurven

Anhand der oben bereits erwähnten bivariaten Analyse nach Wilcoxon wurden die Qualitäten der Hypoxämie-Evaluation der Doktoranden dem Zeitpunkt der Evaluation innerhalb der Datenerhebung gegenübergestellt und die Ergebnisse grafisch in Form von Lernkurven dargestellt. Die X-Achse gibt den Zeitpunkt der Messung wieder, die Y-Achse die Qualität der Evaluation.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Studienkollektiv

#### 3.1.1 Patienten

Nach Überprüfung der Vollständigkeit und der Validität der entsprechenden Datensätze (siehe Methoden 2.2.2 und 2.2.3) wurden 1147 Patienten in die Studie eingeschlossen. Von diesen Datensätzen mussten nach Ende der Datenerhebung dennoch zwei Datensätze als unvollständig verworfen werden.

Die Daten umfassen 495 weibliche und 650 männliche Patienten. Der jüngste Patient ist 15 Jahre alt, der älteste Patient 89 Jahre. Das mediane Alter liegt bei 53,6 Jahren.

Aufgrund der strukturellen Gegebenheiten des Universitätsklinikums Marburg kommen die Patienten aus folgenden Fachrichtungen:

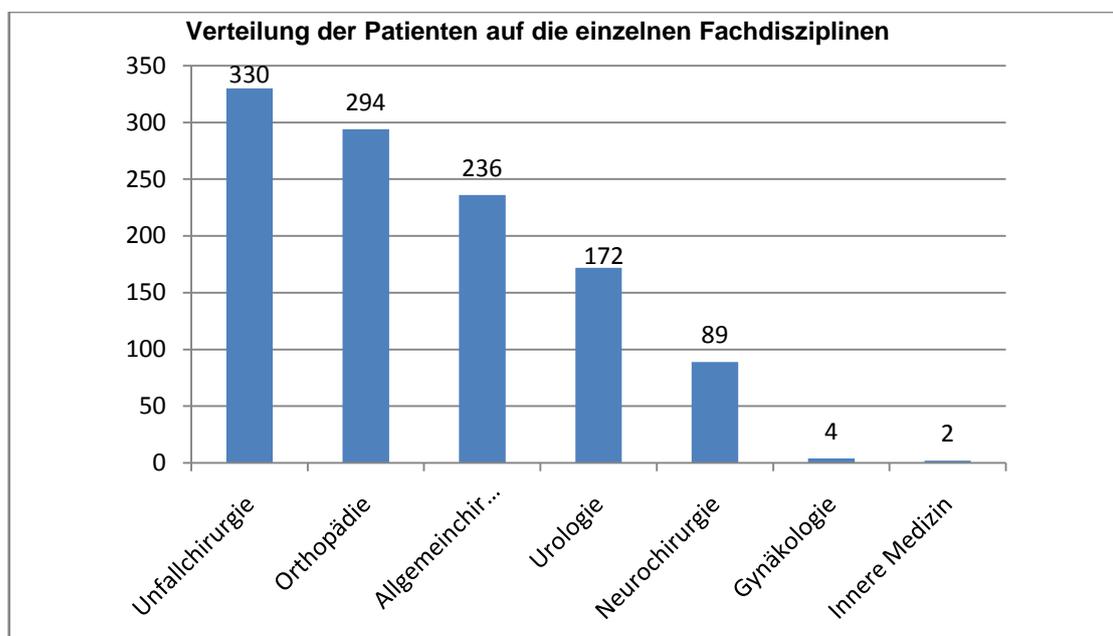
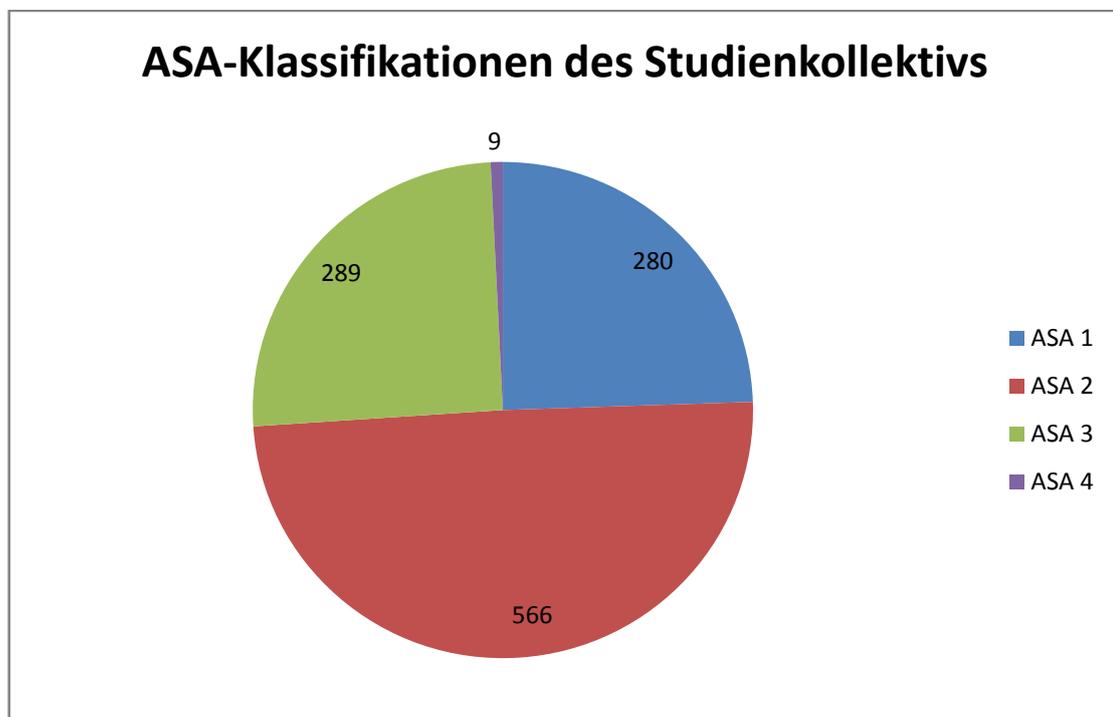


Abbildung 3: Verteilung der Patienten auf die einzelnen Disziplinen

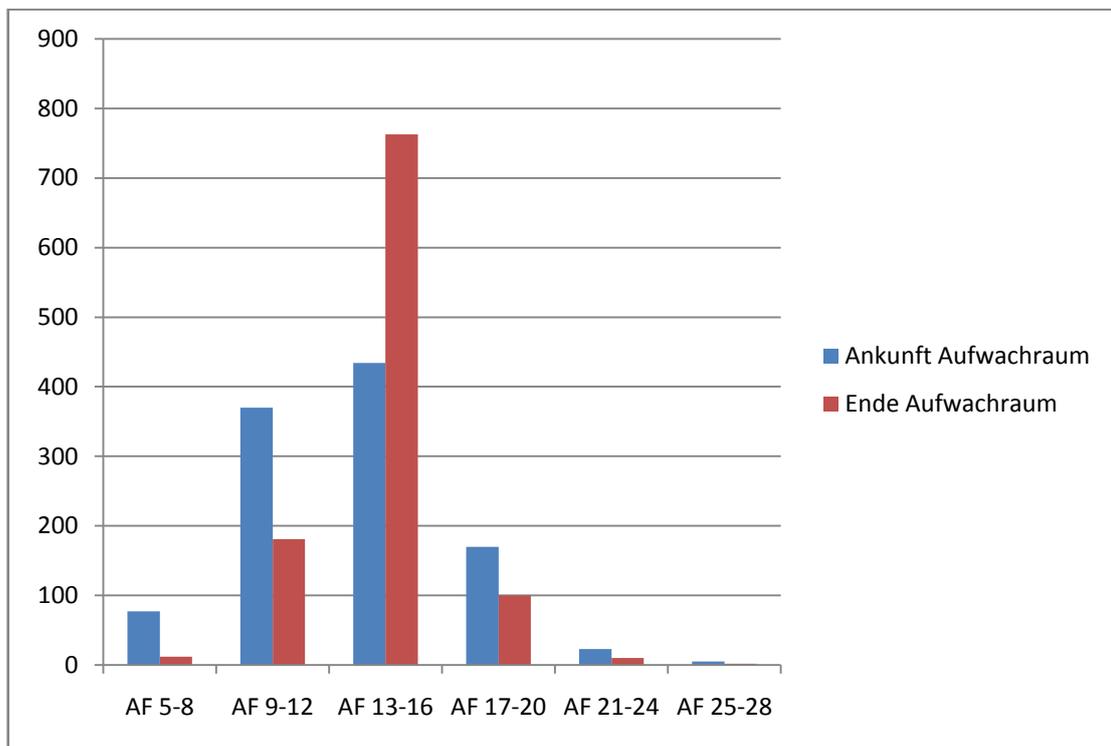
Insgesamt zeigt sich das Patientenkollektiv in eher gutem Gesundheitszustand. So sind 881 der Patienten Nichtraucher und nur 264 Raucher. 1022 Patienten haben keinerlei pulmonale Vorerkrankung, bei 123 Patienten lassen sich Lungenvorerkrankungen eruieren. Diese werden als solche gewertet, wenn eine regelmäßige Medikamenteneinnahme angegeben worden ist oder wenn der Patient innerhalb der letzten sechs Monate wegen einer pulmonalen Erkrankung in ärztlicher Behandlung gewesen ist. Auch die Einteilung der Patienten nach der ASA-Klassifikation (siehe Tabelle 5 im Tabellenverzeichnis S. 59) zeigt den guten Gesundheitszustand des Patientenkollektivs:



**Abbildung 4: ASA-Klassifikationen des Studienkollektivs**

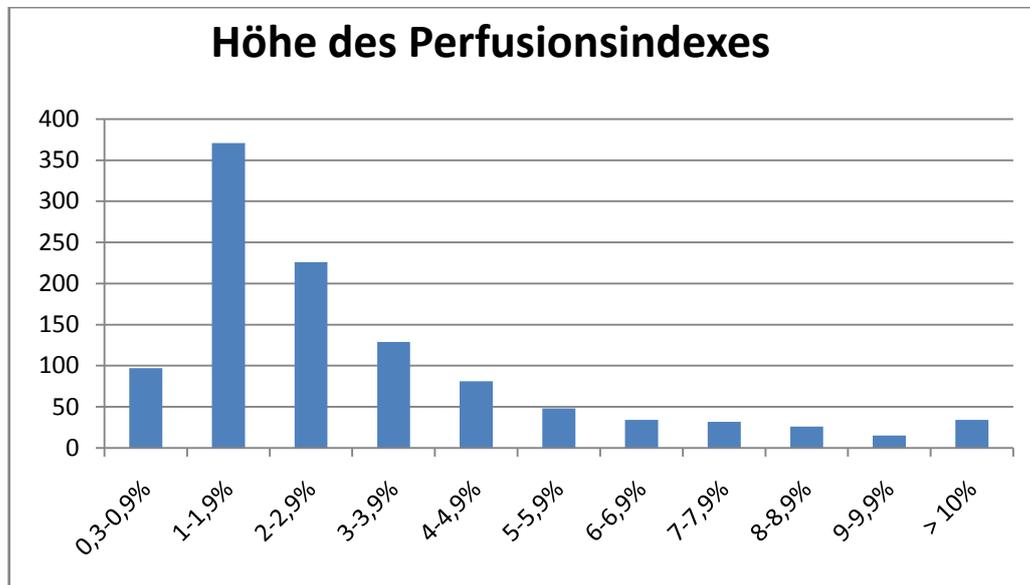
Die Inzidenz des Shiveringings liegt bei 10,58%. Die Körpertemperatur liegt im Mittel bei 36,4 Grad Celsius (Bereich 34,4-38,7 Grad Celsius).

Die mittlere Atemfrequenz pro Minute bei Ankunft im Aufwachraum beträgt 13,5 (Bereich 6-28). Bei Verlassen des Aufwachraums beträgt die mittlere Atemfrequenz pro Minute 14,3 (Bereich 5-25). Die folgende Abbildung zeigt die Verteilung der ermittelten Atemfrequenzen pro Minute im Einzelnen.



**Abbildung 5: Verteilung der Atemfrequenzen bei Ankunft und Verlassen des Aufwachraums**

Der Perfusionsindex nimmt Werte zwischen 0,3% und 20% an, mit einem Median von 3,16%. Die folgende Tabelle zeigt die Verteilung im Detail:



**Abbildung 6: Höhe des Perfusionsindexes**

### 3.1.2 Ärzte, Pflegepersonal und Doktoranden

An der Studie nahmen 29 Assistenzärzte, 16 Fachärzte und 20 Oberärzte sowie zwei Doktoranden und 26 Personen vom Pflegepersonal teil.

Von den insgesamt 1145 abgegebenen Evaluationen der Ärzte entfallen 674 Evaluationen auf die Assistenzärzte, 238 auf die Fachärzte und 233 auf die Oberärzte.

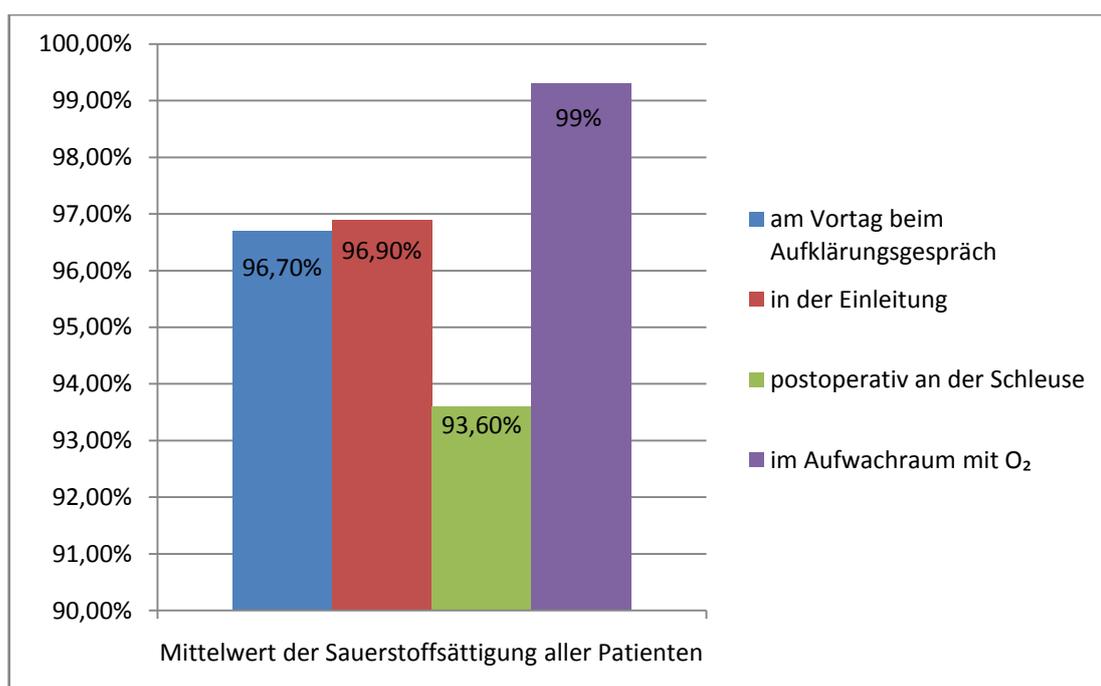
Durch die Doktoranden wurden jeweils ca. 50% der Patienten evaluiert (Doktorand A: 588, Doktorand B: 557).

### 3.2 Inzidenz der Hypoxämie

Eine unmittelbar postoperative Hypoxämie tritt bei 13,8% der Patienten auf. Davon entfallen 3,23% auf eine schwere Hypoxämie, das heißt gemessene Werte von  $<85\%$ , und 10,57% auf eine milde Hypoxämie, also Werte zwischen  $\geq 85-90\%$ .

Der kleinste im Verlauf der Studie gemessene  $SpO_2$ -Wert beträgt 60%, der höchste 100%.

Der kritischste Zeitpunkt zur Entwicklung einer Hypoxämie ist in der unmittelbar postoperativen Phase, in welcher der Patient vom Operationssaal zum Aufwachraum transportiert wird:



**Abbildung 7: Mittelwert der Sauerstoffsättigung nach Messzeitpunkten**

### 3.3 Ergebnisse nach Teilnehmergruppen

#### 3.3.1 Evaluationsqualitäten der Berufsgruppen

Zur Darstellung der Evaluationsqualität des Personals hinsichtlich der Sauerstoffsättigung der Patienten wurden Bland-Altman-Plots (siehe Kapitel Material und Methoden 2.2.6.3) verwendet.

Allgemein lässt sich sagen, dass die Differenzen zwischen der vom Pulsoximeter gemessenen Sauerstoffsättigung und der Evaluation der Sauerstoffsättigung durch das Personal umso größer waren, je niedriger der gemessene SpO<sub>2</sub>-Wert lag.

Die Sauerstoffsättigung wurde von jeder der drei Gruppen eher überschätzt.

Der niedrigste im Rahmen der Studie genannte SpO<sub>2</sub>-Wert betrug 78% bei den Ärzten, 82% beim Pflegepersonal und 84% bei den Doktoranden.

Die besten Werte erreichten die Evaluierer bei einer tatsächlich gemessenen SpO<sub>2</sub> zwischen 95-100%.

## 3.3.1.1 Qualitäten der Ärzte

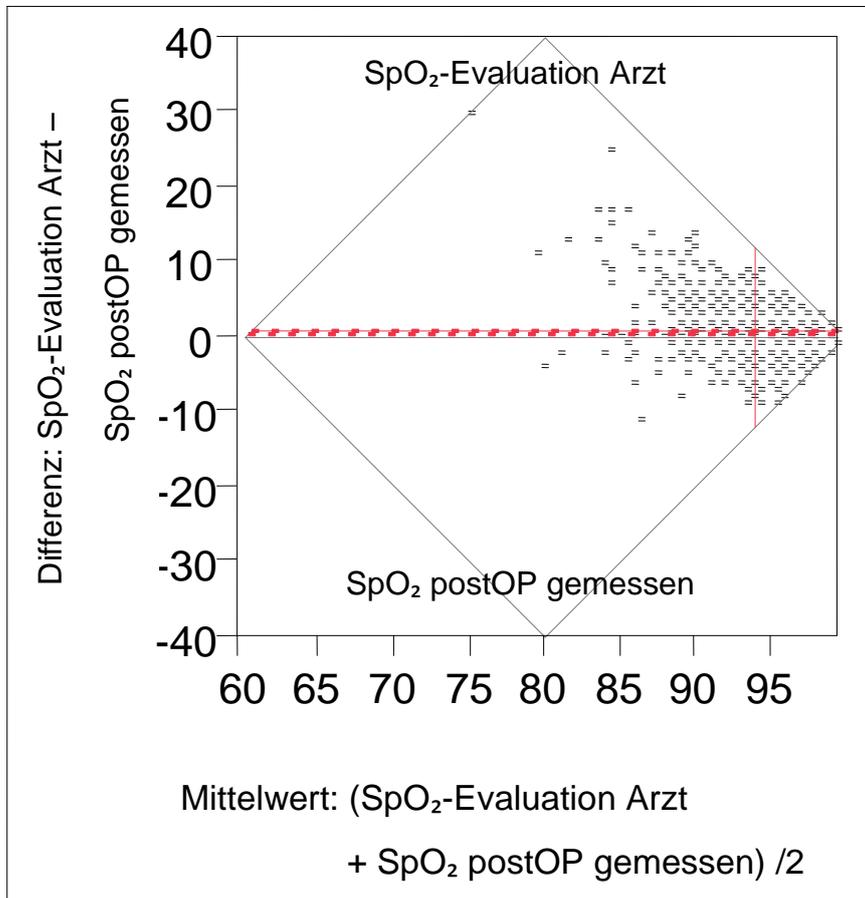


Abbildung 8: Evaluationsqualitäten der Ärzte

Die Ärzte überschätzen in der Regel die Sauerstoffsättigung der Patienten. Der Mittelwert der abgegebenen Evaluationen der Ärzte liegt bei 94,5013. Der Mittelwert der tatsächlichen SpO<sub>2</sub>-Werte liegt bei 93,621. Die mittlere Differenz liegt somit bei 0,8803 (95% Konfidenzintervall: 0,65633-1,10437).

Je schlechter die tatsächlich gemessene SpO<sub>2</sub> des Patienten ist, desto weiter weichen die Sauerstoffsättigungsevaluationen der Ärzte vom gemessenen Wert ab. Betrachtet man nur die Patienten mit einer gemessenen SpO<sub>2</sub> <90%, so beträgt die mittlere Differenz zwischen der Evaluation und der Messung 6,4177.

## 3.3.1.2 Qualitäten des Pflegepersonals

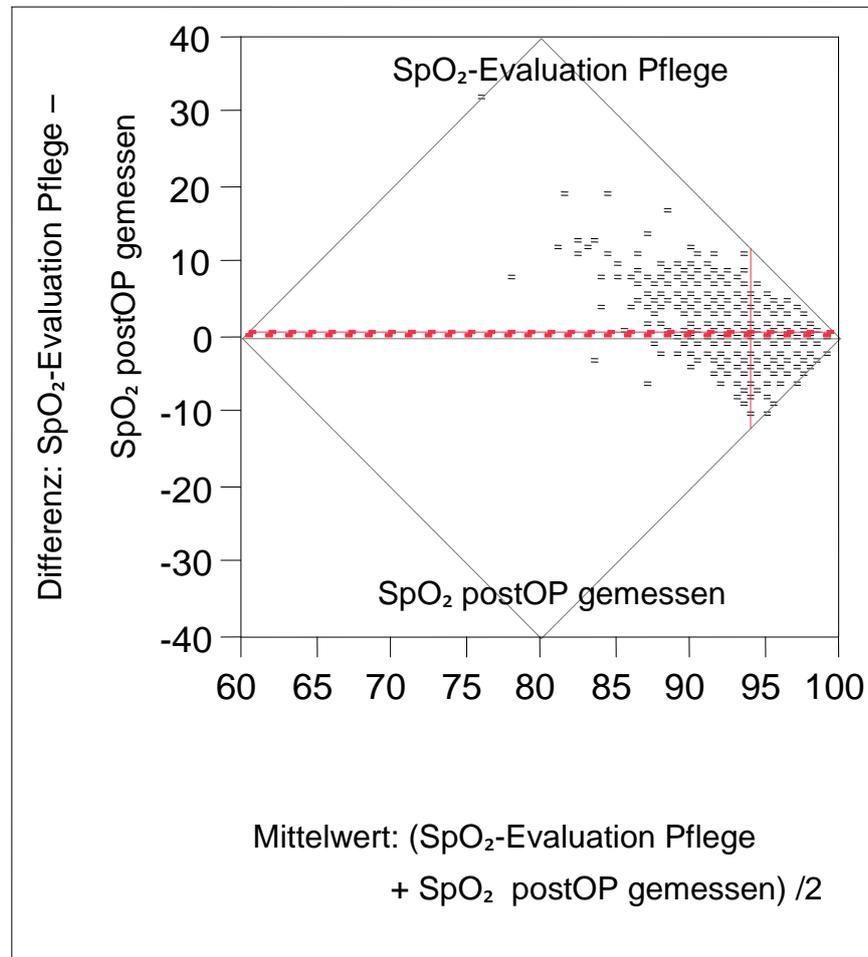


Abbildung 9: Evaluationsqualitäten des Pflegepersonals

Auch das Pflegepersonal neigt zu einer Überschätzung der Sauerstoffsättigung der Patienten. Der Mittelwert der Evaluationen des Pflegepersonals beträgt 94,290. Bei dem Mittelwert der Messungen von 93,621 ergibt sich eine mittlere Differenz von 0,669 (95% Konfidenzintervall: 0,44734-0,89065). Auch hier werden die Evaluationsqualitäten mit sinkender tatsächlicher Sauerstoffsättigung der Patienten schlechter (mittlere Differenz bei  $\text{SpO}_2 < 90\% = 6,6013$ ).

## 3.3.1.3 Qualitäten der Doktoranden

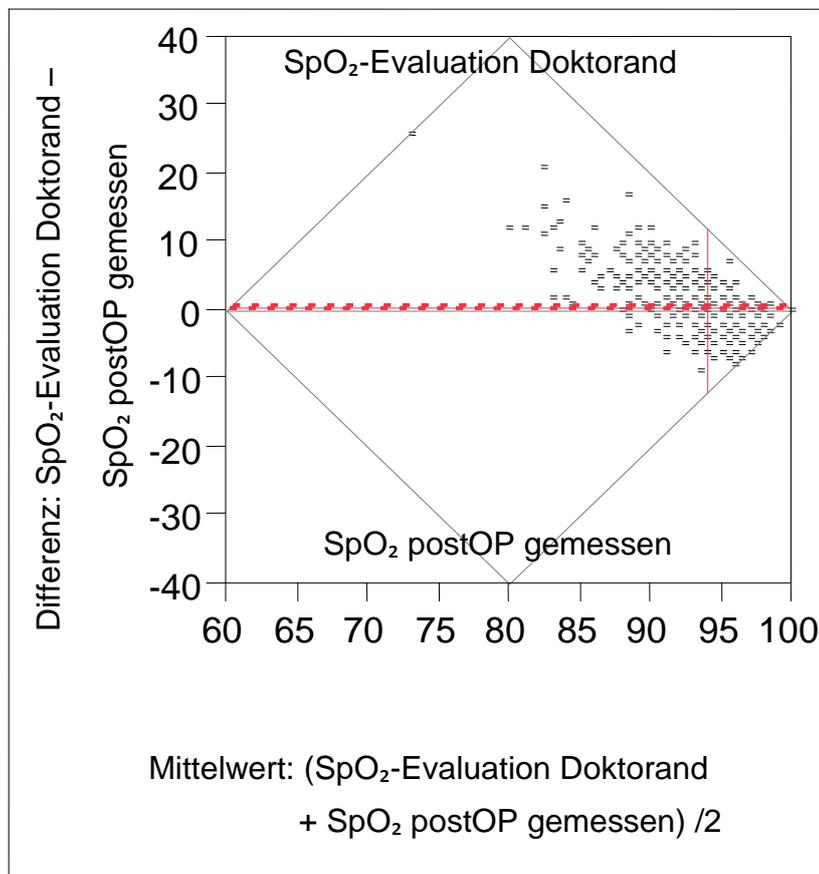


Abbildung 10: Evaluationsqualitäten der Doktoranden

Die Doktoranden tendieren mit einem Mittelwert der SpO<sub>2</sub>-Evaluierungen von 94,2428 ebenfalls zu einer Überschätzung der SpO<sub>2</sub> (Mittelwert der gemessenen Werte: 93,621). Die mittlere Differenz liegt hier bei 0,6218 (95% Konfidenzintervall: 0,41943-0,82423).

Ebenfalls wird die mittlere Differenz zwischen Evaluierungen und tatsächlich gemessenen Werten mit 6,3354 deutlich größer, wenn man die hypoxämischen Patienten gesondert betrachtet.

### 3.3.2 Sensitivität und Spezifität

#### 3.3.2.1 Ärzte

Die Ärzte erkannten drei der 37 schwer hypoxämischen Patienten ( $\text{SpO}_2 < 85\%$ ). Dies entspricht einer Sensitivität von 8,1%. 971 von 987 Patienten wurden von ihnen korrekt als gesund eingeschätzt ( $\text{SpO}_2 > 85\%$ ). Die Spezifität beträgt also 98,4%.

#### 3.3.2.2 Pflegepersonal

Vom Pflegepersonal wurde ein Patient korrekt als schwer hypoxämisch eingestuft. Ebenfalls 971 von 987 Patienten wurden als gesund erkannt. Daraus ergeben sich eine Sensitivität von 2,7% und eine Spezifität von 98,4%.

#### 3.3.2.3 Doktoranden

Die Doktoranden erkannten ebenfalls nur einen der 37 Patienten mit einer Sauerstoffsättigung  $< 85\%$ . Korrekt als gesund stuften sie 976 Patienten ein. Das entspricht einer Sensitivität von 2,7% und einer Spezifität von 98,9%.

### 3.3.3 Betrachtung der zehn niedrigsten SpO<sub>2</sub>-Messungen der Studie

Von den zehn Patienten, bei denen SpO<sub>2</sub>-Werte von 60-79% gemessen wurden, wurden von den Ärzten nur drei überhaupt als hypoxämisch (SpO<sub>2</sub><90%) eingestuft; alle drei jedoch nur als mild hypoxämisch.

Das Pflegepersonal erkannte bei fünf der zehn Patienten mit einer SpO<sub>2</sub> von 60-79% die Hypoxämie, stufte aber nur einen der Patienten korrekt als schwer hypoxämisch ein.

Die Doktoranden identifizierten sechs der zehn Patienten, bei denen in der Studie eine SpO<sub>2</sub> von <80% gemessenen wurde, als hypoxämisch, allerdings wurde keiner korrekt als schwer hypoxämisch erkannt.

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse im Detail:

<b>SpO<sub>2</sub> gemessen</b>	<b>Evaluation Ärzte</b>	<b>Evaluation Pflege</b>	<b>Evaluation Doktoranden</b>
<b>60</b>	90	92	86
<b>72</b>	97	91	93
<b>74</b>	85	82	86
<b>75</b>	88	88	87
<b>75</b>	92	94	90
<b>76</b>	93	89	92
<b>77</b>	92	89	89
<b>77</b>	90	90	89
<b>77</b>	94	88	90
<b>79</b>	89	90	88

**Tabelle 3: Die zehn am schwersten hypoxämischen Patienten der Studie**

### 3.4 Zusammenhänge zwischen der Evaluationsqualität der Sauerstoffsättigung und der Berufserfahrung des ärztlichen Personals

#### 3.4.1 Zusammenhang zwischen der Evaluationsqualität und den Berufsjahren

##### 3.4.1.1 Pflegepersonal

Das an der Studie teilnehmende Pflegepersonal hat eine mittlere Berufserfahrung von 14,4 Jahren (Bereich 0,5-40). Betrachtet man die Qualität der Sauerstoffsättigungsevaluation nach Berufsjahren, so lässt sich ein Trend erkennen, dass diese mit zunehmender Berufsdauer zunimmt ( $p=0,365$ ). Dies ist zwar nicht signifikant, wohl aber bemerkenswert im Vergleich zu den Ärzten ( $p=0,9892$ , siehe unten).

##### 3.4.1.2 Ärzte

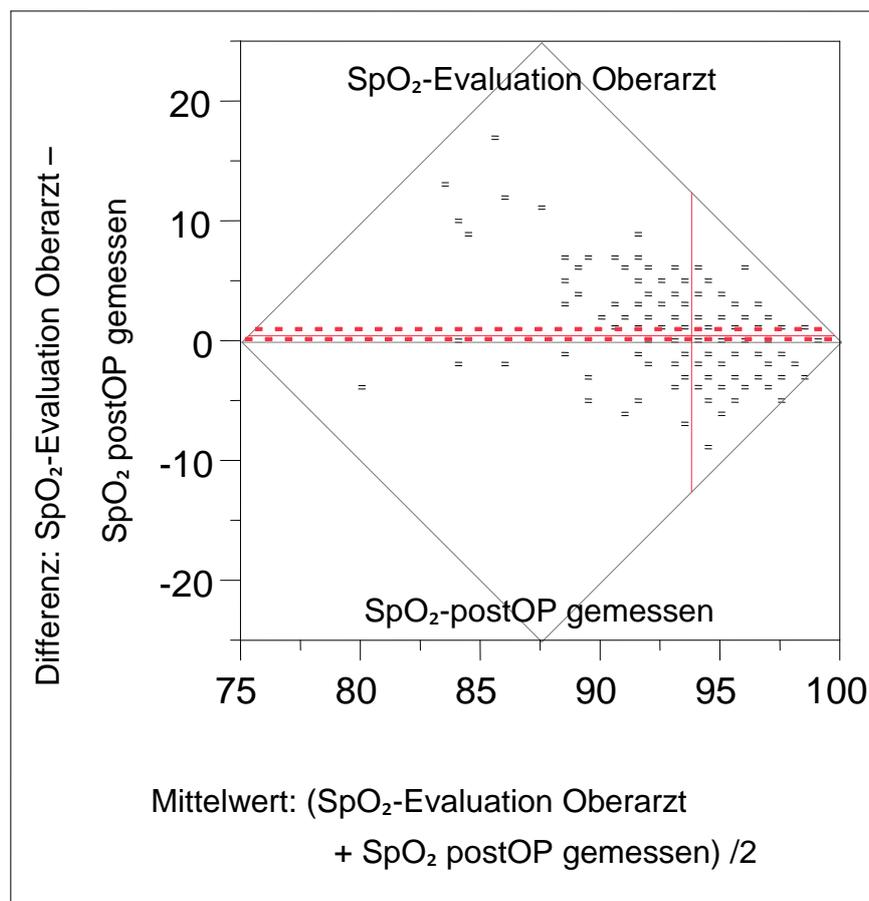
Betrachtet man die Evaluationsqualitäten nach Berufsjahren aufgeteilt, zeigt sich, dass in jeder der drei Subgruppen (Oberärzte, Fachärzte, Assistenzärzte) mit zunehmenden Berufsjahren die Evaluierung der Sauerstoffsättigung sogar schlechter wird. Einzige Ausnahme hiervon sind die Fachärzte, bei denen sich in den Berufsjahren 5-8 eine stetige Verbesserung der Fähigkeit, die  $SpO_2$  zu evaluieren, nachweisen lässt ( $p=0,0139$ ). In den Jahren 9-16 verschlechtern auch die Fachärzte sich allerdings grafisch nachweisbar.

Es lässt sich demnach bei den Ärzten kein Lerneffekt mit zunehmender Berufserfahrung nachweisen ( $p=0,9892$ ).

### 3.4.2 Zusammenhang zwischen der Evaluationsqualität und der Qualifikation der Ärzte

Das ärztliche Personal lässt sich entsprechend seiner Qualifikation in die folgenden drei Gruppen aufteilen: Assistenzärzte, Fachärzte und Oberärzte.

#### 3.4.2.1 Evaluationsqualitäten der Oberärzte



**Abbildung 11: Evaluationsqualitäten der Oberärzte**

Die Evaluationen der Oberärzte ergeben einen Mittelwert von 94,1245 bei einem tatsächlichen Mittelwert von 93,4506. Die mittlere Differenz beträgt also 0,6739 (95% Konfidenzintervall: 0,20175-1,14589).

Bei hypoxämischen Patienten beträgt die mittlere Differenz 5,9333.

## 3.4.2.2 Evaluationsqualitäten der Fachärzte

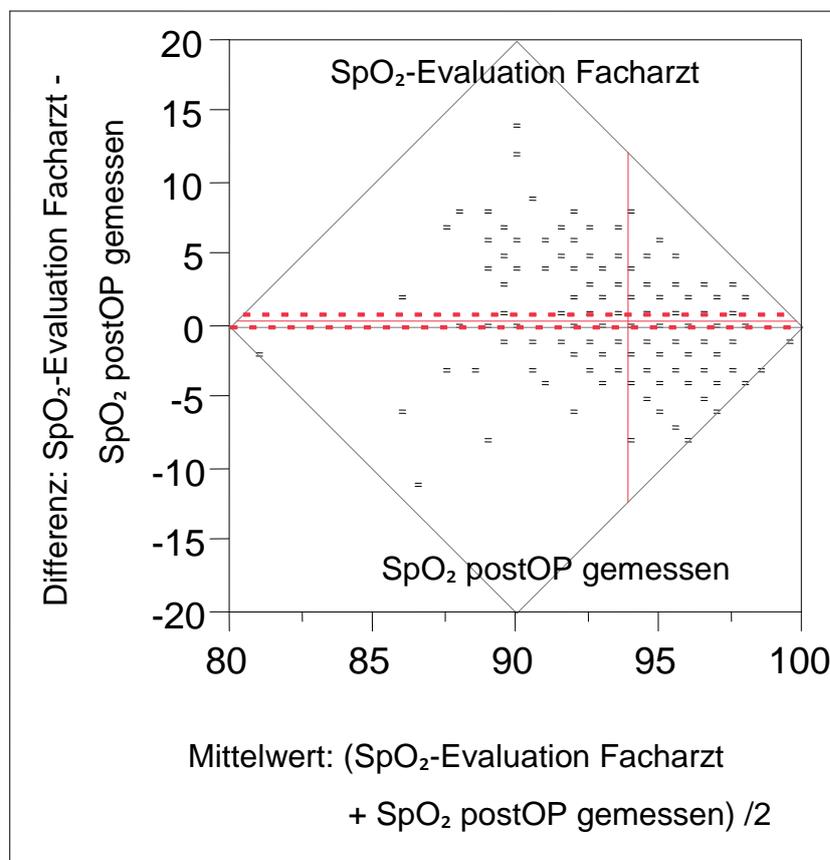


Abbildung 12: Evaluationsqualitäten der Fachärzte

Der Mittelwert der SpO<sub>2</sub>-Evaluierungen der Fachärzte beträgt 94,1092. Der Mittelwert der gemessenen SpO<sub>2</sub>-Werte liegt für die Fachärzte bei 93,7437. Daraus ergibt sich eine mittlere Differenz von 0,3655 (95% Konfidenzintervall: -0,0996-0,83074).

Die mittlere Differenz bei alleiniger Betrachtung der gemessenen SpO<sub>2</sub>-Werte <90% beträgt 4,7568.

## 3.4.2.3 Evaluationsqualitäten der Assistenzärzte

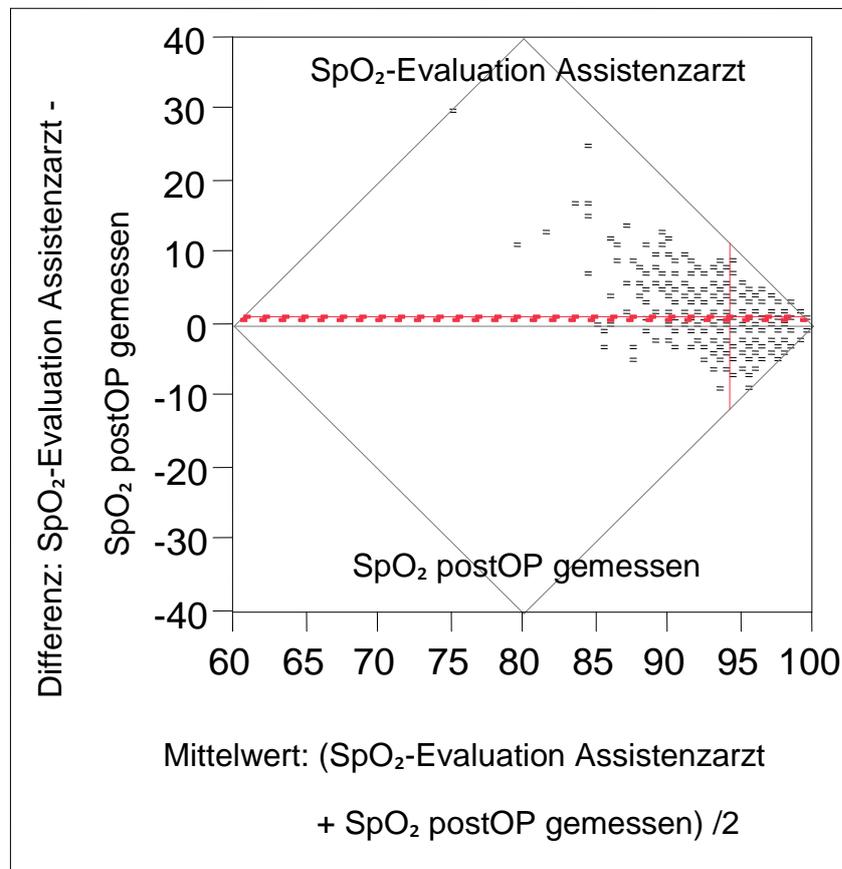


Abbildung 13: Evaluationsqualitäten der Assistenzärzte

Die Sättigungsevaluationen der Assistenzärzte ergeben einen Mittelwert von 94,7741 bei einem Mittelwert der gemessenen SpO<sub>2</sub>-Werte von 93,6419. Die mittlere Differenz liegt demnach bei den Assistenzärzten bei 1,13224 (95% Konfidenzintervall: 0,83007-1,43442).

Berücksichtigt man nur die Messungen, die eine SpO<sub>2</sub> <90% ergaben, so liegt die mittlere Differenz bei den Assistenzärzten bei 7,2527.

Die Studie zeigt, dass an der Universitätsklinik Marburg die Fachärzte unter den Ärzten das beste Ergebnis bei der Evaluation der Sauerstoffsättigung der Patienten zeigen. Die Abweichungen der SpO<sub>2</sub>-Evaluationen der Oberärzte und der Assistenzärzte vom Goldstandard sind etwas größer als die der Fachärzte, mit ein wenig Vorteil für die Oberärzte (mittlere Differenzen zwischen SpO<sub>2</sub>-Messungen und SpO<sub>2</sub>-Evaluationen: Fachärzte<Oberärzte<Assistenzärzte). Dies sollte aber als hausinterner Trend gewertet werden, der nicht unbedingt allgemeingültig ist.

### 3.5 Lernkurven der Doktoranden im Verlauf der Studie

Die Datenerhebung fand über einen Zeitraum von neun Monaten statt. In diesem Zeitraum evaluierten die beiden Doktoranden regelmäßig die Patienten hinsichtlich ihrer Sauerstoffsättigung. Beide Doktoranden hatten keinerlei Vorerfahrung in der Hypoxämiedetektion anhand klinischer Parameter, weshalb sich anhand ihrer Evaluationsqualitäten innerhalb dieser neun Monate eine mögliche Lernkurve bestimmen lässt.

Vergleicht man die Qualität der Evaluation am Anfang der Datenerhebung mit der am Ende, so lässt sich grafisch sowohl bei Doktorand A als auch bei Doktorand B ein Besserungstrend nachweisen, der jedoch nicht signifikant ist ( $p=0,2817$  und  $p=0,4519$ ). Lernkurven lassen sich nicht ableiten.

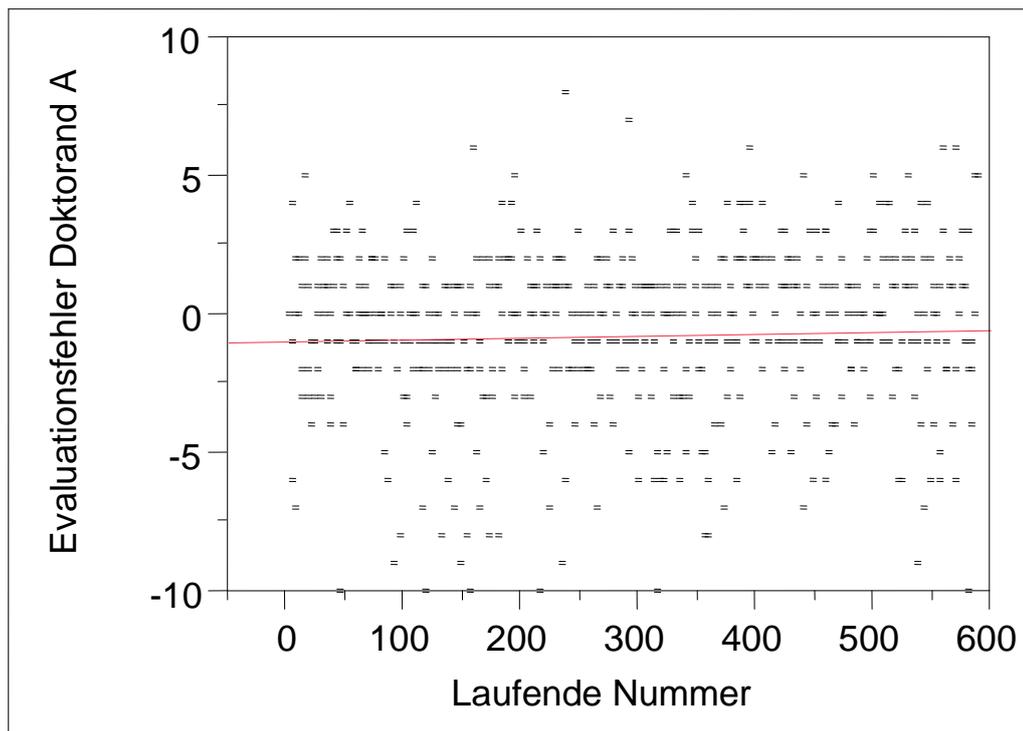


Abbildung 14: Evaluationsfehler Doktorand A über die Zeit

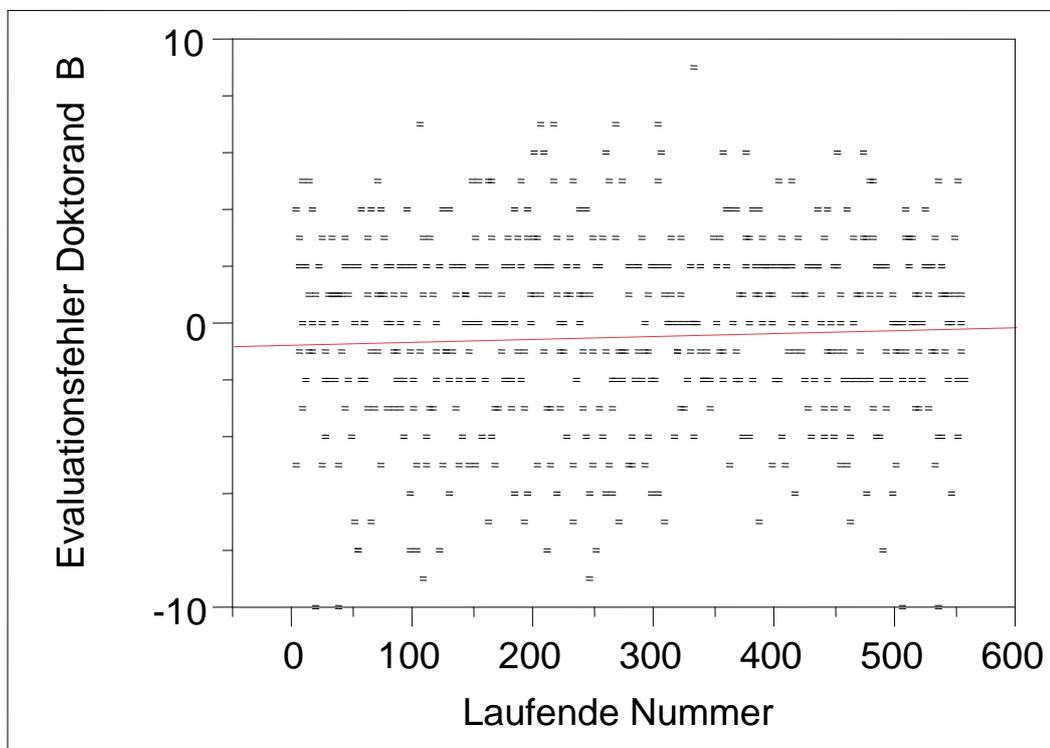


Abbildung 15 Evaluationsfehler Doktorand B über die Zeit

## 4 Diskussion

### 4.1 Allgemeines

Auch erfahrene Ärzte benötigen zur sicheren Detektion einer Hypoxämie ein Pulsoximeter. Dies konnte in dieser Studie eindrucksvoll gezeigt werden. Die Sensitivität des Messverfahrens „Klinischer Blick“ betrug nur 8,1% für die Evaluation durch die Ärzte und 2,7% für die Evaluation durch das Pflegepersonal und die Doktoranden.

Die Diagnose der Hypoxämie stützte sich hierbei vor allem auf die klinischen Zeichen Zyanose und Tachypnoe. Die Zyanose gilt als das spezifischste Zeichen, um eine Hypoxämie ohne apparative Hilfsmittel zu diagnostizieren [62]. Verschiedene Studien zeigten in der Vergangenheit aber schon, dass die Zyanose ein sehr unverlässliches Kriterium ist, um eine Hypoxämie auch als solche zu erkennen [22,23,55]. Die Ursache hierfür liegt in der Tatsache begründet, dass mindestens 5g Desoxyhämoglobin pro dl Blut vorhanden sein müssen, bevor eine Zyanose klinisch sichtbar wird [56]. Auch eine Tachypnoe als Hinweis auf eine Hypoxämie ist ein sehr unsicheres Zeichen, dessen Wertigkeit vor allem auf dem Gebiet der Pädiatrie sehr umstritten ist [73,69]. Viele Hypoxämien werden deshalb klinisch nicht erkannt [64,67].

## 4.2 Einfluss der Berufserfahrung auf die Evaluation

In vielen Bereichen der Medizin lassen sich allerdings Lerneffekte mit steigender Dauer der Berufsausübung nachweisen. In der Literatur findet sich eine Vielzahl von Studien, die sich mit Lernprozessen und Lernerfolgen in der Medizin beschäftigen [3,45,51,63]. Gerade in der Anästhesie sind Lernkurven oft sehr steil, da praktische Fertigkeiten rasch erlernt werden können. Dies wirft die Frage auf, ob der niedrigen Sensitivität des Messverfahrens „Klinischer Blick“ die Unmöglichkeit des Erkennens einer Hypoxämie zugrunde liegt oder ob sie eventuell durch unzureichend erfahrenes Personal verursacht wird?

Die Ergebnisse der Evaluationsqualitäten gesondert nach der Berufserfahrung des ärztlichen Personals zeigen keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Gruppen. Die Evaluationsqualität der unerfahrenen Assistenzärzte unterscheidet sich nicht signifikant von derjenigen der Fachärzte oder der Oberärzte, die jahrelange Berufserfahrung aufweisen. Auch die Betrachtung der Evaluationsqualitäten der Studenten über den Zeitraum der Studie ergibt keine grafisch nachweisbare Lernkurve. Somit kann die oben aufgeworfene Frage klar beantwortet werden: Die Ursache für die niedrige Sensitivität des Messverfahrens „Klinischer Blick“ ist nicht die Unerfahrenheit des Personals, sondern schlicht die Unmöglichkeit des zuverlässigen Erkennens einer Hypoxämie anhand klinischer Parameter.

### 4.3 Klinische Relevanz

Die Erkenntnis, dass die klinische Hypoxämie-Evaluation, unabhängig von der Erfahrung des Personals, nicht ausreichend sensitiv ist, ist nicht neu, gewinnt aber im Kontext der modernen Work-Flow-Konzepte in der Anästhesie, wie der Fast-Track-Anästhesie, an neuer Bedeutung.

Die Fast-Track-Anästhesie versucht durch ein möglichst optimales perioperatives Management die Notwendigkeit postoperativer Überwachung zu verringern. Konkret bedeutet dies, dass angestrebt wird im postoperativen Verlauf auf jegliches Monitoring zu verzichten und die Patienten lediglich klinisch durch das Personal zu überwachen. Da bei dieser Form der Überwachung aber im Hinblick auf eine den Patienten gefährdende Hypoxämie die Sensitivität der klinischen Überwachung unzureichend ist, ist die Grundvoraussetzung für das Konzept der Fast-Track-Anästhesie zumindest eine zuverlässige Selektion des Patientenguts.

Patienten mit pulmonalen Risikofaktoren eignen sich für dieses Konzept nicht, da sie postoperativ ein erhöhtes Risiko für pulmonale Komplikationen aufweisen [43] und deshalb die Notwendigkeit der apparativen, postoperativen Überwachung gegeben ist. Daraus ergibt sich, dass im Sinne der Patientensicherheit die Auswahl geeigneter Patienten anhand eines zuverlässigen Präevaluations-Scores erfolgen muss.

Bislang gibt es jedoch keinen etablierten Score, der es erlaubt, Patienten hinsichtlich ihres Hypoxämie-Risikos zu evaluieren. Da die Genese postoperativer Komplikationen multifaktoriell ist, wurden in der Literatur bislang nur unabhängige Faktoren beschrieben, deren Auftreten die Wahrscheinlichkeit einer postoperativen Komplikation erhöht. Die Berechnung eines aussagekräftigen Scores gelang bislang nicht.

Da somit eine sichere Methode zur Identifizierung von Risikopatienten nicht gegeben ist, sollte kritisch abgewägt werden, inwieweit man auf etablierte Maßnahmen mit hoher Sensitivität bezüglich der postoperativen Komplikationen wirklich verzichten kann.

Die Hypoxämie-Evaluation anhand klinischer Parameter erfüllt die Forderung nach einer hohen Sensitivität mit 8,1% bzw. 2,7% nicht.

Mit der Pulsoximetrie jedoch existiert ein Messinstrument, das nachgewiesenermaßen eine sehr hohe Sensitivität hinsichtlich der Detektion der postoperativen Hypoxämie aufweist [59]. Bis zur Entwicklung eines zuverlässigen Scores zur Identifizierung von Risikopatienten sollte die Pulsoximetrie, auch im Rahmen der Fast-Track-Anästhesie, postoperativ standardmäßig zum Einsatz kommen, um die Patientensicherheit zu maximieren.

#### 4.4 Diskussion der Ergebnisse im klinischen Kontext

Eine Hypoxämie ist eine der häufigsten Komplikationen nach einer Narkose. Die Inzidenz der Hypoxämie beträgt in dieser Studie 13,8%. Davon entfallen 10,57% auf eine milde Hypoxämie mit Werten von 86-90% und 3,23% auf eine schwere Hypoxämie ( $SpO_2 < 85\%$ ). Diese Werte stimmen in etwa mit den Werten in der Literatur überein [26,32].

Gerade in der unmittelbar postoperativen Phase ist die Lungenfunktion der Patienten oft noch beeinträchtigt. Es wurden ein inhomogenes pulmonales Ventilations-Perfusionsverhältnis, eine Abnahme der funktionellen Residualkapazität und ein postoperativ venoarterieller Shunt als die wichtigsten Pathomechanismen für Sauerstoffsättigungsabfälle identifiziert [28,39,79]. Nicht zuletzt aufgrund der Häufigkeit der postoperativen Hypoxämie ist das rechtzeitige Erkennen ebendieser von Bedeutung, um entsprechend gegensteuern zu können, bevor der Patient durch eine Sauerstoffunterversorgung ernstlich gefährdet wird. Die Überwachung des Patienten mittels eines Pulsoximeters garantiert die frühzeitige Detektion einer Hypoxämie, nicht aber die alleinige Überwachung durch medizinisches Personal, auch wenn dieses jahrelange Berufserfahrung aufweist.

Gerade im Hinblick auf die immer häufiger durchgeführte Fast-Track-Anästhesie, die postoperativ auf eine apparative Überwachung des Patienten verzichtet, ist hierin eine Gefährdung des Patienten zu sehen. Befürworter des Fast-Track-Konzepts können an dieser Stelle sicherlich argumentieren, dass der Nachweis einer Hypoxämie per se noch keine Gefährdung für den Patienten darstellt. Für den Patienten bedrohlich wird es erst, wenn die Organe und das Gewebe, im Sinne einer Hypoxie, nicht mehr ausreichend mit Sauerstoff versorgt werden. Eine Hypoxie ist jedoch nicht direkt messbar und nur über den Nachweis einer Hypoxämie erfassbar. Da aber jeder Mensch eine andere Toleranzschwelle besitzt, kann kein Wert definiert werden, ab dem eine Hypoxämie sich bei einem Patienten auch als Hypoxie bemerkbar macht. Hier spielen Faktoren wie die kardiale Auswurfleistung, die Hämoglobinkonzentration im Blut und der Sauerstoffverbrauch eine große Rolle [8]. Da die Endstrecke eines solchen Geschehens aber gleich ist, wurde die Hypoxämie als direkt messbarer Parameter in der Fachwelt als wichtiger Indikator bezüglich Mortalität und Morbidität in der Anästhesie akzeptiert [18,76].

Mortalitäts- und Morbiditätsraten in der Anästhesie sind in den letzten zwanzig Jahren deutlich zurückgegangen. Vor allem die durch respiratorische Komplikationen bedingte Sterblichkeit hat stark abgenommen [2,14,54]. Dies wird auf die Einführung der standardmäßigen Überwachung mit einem Pulsoximeter Anfang der 90er Jahre zurückgeführt [21,70]. Es ist eindeutig nachgewiesen, dass durch das Monitoring mit einem Pulsoximeter Hypoxämien eher erkannt und behandelt werden [23,67].

Kritisch anzumerken ist aber, dass das Erkennen und Behandeln von Hypoxämien bislang in Studien nicht zu einem nachweisbaren Rückgang von Mortalität und Morbidität geführt hat [75]. Bislang konnte in Studien lediglich der Nutzen der Pulsoximetrie in Bezug auf weiche Endpunkte nachgewiesen werden.

So haben Patienten, die peri- und postoperativ mit einem Pulsoximeter überwacht wurden, subjektiv eine bessere postoperative kognitive Funktion als solche, die nicht mit einem Pulsoximeter überwacht wurden [66].

Auch Anästhesisten fühlen sich subjektiv wohler und halten die Narkose für sicherer, wenn eine pulsoximetrische Messung verfügbar ist [65]. Tatsächlich treten pulmonale Komplikationen unter pulsoximetrischer Überwachung seltener auf [21,71]. Auch wenn also bislang kein Nachweis eines direkt mortalitätssenkenden Effekts der Pulsoximetrie erbracht worden ist, sollte diese, in Anbetracht der niedrigeren pulmonalen Komplikationsrate sowie der geringen Kosten des Verfahrens und der leichten Anwendbarkeit ohne Invasivität für den Patienten, auch breitflächig zur Hypoxämiedetektion und damit als Indikatorparameter für die Oxygenierung des Patienten eingesetzt werden.

## 4.5 Fehlerquellen

### 4.5.1 Pulsoximetrie

Die Pulsoximetrie ist eine verlässliche Methode zur Messung des arteriellen Sauerstoffgehaltes des Blutes, die gegenüber der arteriellen Blutgasanalyse Vorteile aufweist. Zu den Vorteilen zählen die kontinuierliche Überwachung des Patienten, die Nicht-Invasivität des Verfahrens, die einfache Durchführung sowie Kosten- als auch Zeitersparnis. Aus diesen Gründen ist die Pulsoximetrie der Blutgasbestimmung zur postoperativen Überwachung der Patienten überlegen [34].

Außerdem sollte beachtet werden, dass die durch eine arterielle Blutgasanalyse bestimmten Sauerstoffsättigungswerte nicht direkt gemessen werden, sondern über ein Normogramm abgeleitet werden, weshalb sie in der Genauigkeit den Messungen der Pulsoximetrie unterlegen sind [44].

Die Pulsoximetrie hat sich in den letzten Jahren als Standardverfahren zur Messung der arteriellen Sauerstoffsättigung im Operationssaal und im Aufwachraum durchgesetzt [15,75]. Dennoch liefert die Pulsoximetrie nur unter bestimmten Bedingungen zuverlässige Werte. Negative Einflussfaktoren sind:

1. Bewegung/Shivering:

Die Pulsoximetrie bestimmt die arterielle Sauerstoffsättigung beim Patienten anhand eines Quotienten aus pulsatiler und basaler Komponente (s.o.). Bewegung führt zu einer zusätzlichen pulsatilen Komponente, die von konventionellen Pulsoximetern mitgemessen wird und so falsch niedrige SpO<sub>2</sub>-Werte vortäuscht [33]. Dieses Problem wurde durch die Entwicklung der Signalextraktionstechnologie (SET) gelöst, die eine Bewegung des Patienten als Störgeräusch wahrnimmt und diese herausfiltert.

Das in dieser Studie verwendete Pulsoximeter Masimo SET Radical7 nutzt diese neue Technologie, so dass eine Ungenauigkeit der Messungen aufgrund von Bewegungsartefakten weitestgehend ausgeschlossen werden kann.

2. Niedrige Gewebepfusion:

Eine schlechte Gewebepfusion, z.B. verursacht durch eine medikamentöse Vasokonstriktion, beeinflusst die Reliabilität der pulsoximetrischen Messungen [34]. Deshalb wurde in den letzten Jahren der Perfusionsindex eingeführt, der gewährleisten soll, dass an der Sensorstelle (meist Fingerbeere oder Ohrläppchen) eine ausreichende Gewebepfusion gegeben ist. Die Werte sind hier valide, sobald das Pulsoximeter einen Perfusionsindex  $>0,25\%$  anzeigt.

3. Dyshämoglobine:

Die konventionelle Pulsoximetrie bestimmt die  $SpO_2$  in Gegenwart von Dyshämoglobinen nicht zuverlässig. Da die konventionellen Pulsoximeter nur zwei Wellenlängen des Lichts für ihre Messungen verwenden, können auch nur zwei Hämoglobinarten unterschieden werden, nämlich Oxyhämoglobin und reduziertes Hämoglobin. Deshalb stören im Blut vorhandenes Carboxyhämoglobin und Methämoglobin die Messung. In Anwesenheit von Carboxyhämoglobin wird die  $SpO_2$  überschätzt [5], das Vorhandensein von Methämoglobin führt in hoher Dosis ebenfalls zu einer Überschätzung der  $SpO_2$  [6,86].

4. Nagellack und Onychomykose:

Es gibt Studien, die belegen, dass Nagellack die Qualität der Sauerstoffsättigungsmessung negativ beeinflusst. Die Werte werden hier 3-5% niedriger gemessen als sie tatsächlich sind [24,78]. Neuere Studien hingegen weisen eher darauf hin, dass Nagellack nur einen geringen Einfluss auf die Qualität der Messungen eines Pulsoximeters hat, der klinisch nicht relevant ist [41,77].

Ebenfalls falsch niedrige  $SpO_2$ -Werte werden gemessen bei einer Pilzinfektion des Nagels [29].

#### 5. Hautfarbe:

Auch die Pigmentierung der Patienten kann einen Einfluss auf die Messgenauigkeit des Pulsoximeters haben. Bei dunkelhäutigen Menschen wird die SpO<sub>2</sub> im Falle einer Hypoxämie überschätzt [9].

Abschließend darf nicht unerwähnt bleiben, dass ein großer Nachteil der Pulsoximetrie darin besteht, dass sie methodenbedingt eine Störung des pulmonalen Gasaustausches erst verzögert visualisiert [42]. Der Grund hierfür liegt im Verlauf der Sauerstoffbindungskurve (siehe Kapitel Einleitung 1.2.3). Veränderungen des PaO<sub>2</sub> machen sich erst bei einem Abfall auf unter 60mmHg durch ein rasches Absinken der SpO<sub>2</sub> deutlich bemerkbar. Die Pulsoximetrie ist also kein sensitives Frühwarnsystem einer drohenden Störung des pulmonalen Gasaustausches, sondern alarmiert frühzeitig bei einer bereits eingetretenen Störung.

#### 4.5.2 SpO<sub>2</sub>-Evaluation des Personals

Wir haben großen Wert darauf gelegt, dass die SpO<sub>2</sub>-Evaluationen verblindet und somit unabhängig voneinander abgegeben wurden (siehe Kapitel Material und Methoden 2.2.3), um verlässliche Werte zu erhalten. Trotzdem kann hier eine Fehlerquelle der Studie liegen, falls unabsichtlich die Verblindung nicht in letzter Konsequenz durchgeführt wurde (z. B. durch ein versehentlich mit der Anzeige nach oben gedrehtes Pulsoximeter oder durch eine nicht verdeckt geschriebene SpO<sub>2</sub>-Evaluation des Doktoranden oder ein zu lautes Flüstern des Arztes). Da das Personal aber gut in den Ablauf der Studie eingewiesen war und die Doktoranden die Verblindung des Ablaufs immer im Auge hatten, wurden diese Fehlermöglichkeiten auf ein Minimum reduziert.

Die Motivation des Personals war kein von uns beeinflussbarer Faktor. Falls also ein an den Evaluationen beteiligter Arzt bzw. Pfleger sich keine Mühe gab, den Patienten entsprechend seines klinischen Erscheinungsbildes zu evaluieren, so kann dies eine Verzerrung der Ergebnisse zur Folge gehabt haben. Ebenso kann Zeitdruck zu einer nicht ausreichend auf klinischen Kriterien basierenden Nennung eines SpO<sub>2</sub>-Wertes geführt haben.

Außerdem hatten nicht alle an der Evaluation beteiligten Berufsgruppen das gleiche den Patienten betreffende Vorwissen. Im Gegensatz zum Pflegepersonal und den Doktoranden hatten die Ärzte Vorwissen bezüglich der Patientengeschichte und kannten den intraoperativen Verlauf. Da die Ärzte aber nicht signifikant besser evaluierten, scheint sich dieses Vorwissen nicht als Vorteil erwiesen zu haben.

## 4.6 Zusammenfassung

Hypoxämien im postoperativen Verlauf sind häufig. Die Inzidenz der Hypoxämie liegt in der vorliegenden Studie mit 13,8% in etwa in dem in der Literatur beschriebenen Bereich.

Ohne diagnostische Hilfsmittel wie ein Pulsoximeter lassen sich Hypoxämien nicht erkennen. Die klinischen Zeichen Zyanose und Tachypnoe zur Diagnostik einer Hypoxämie weisen eine zu niedrige Sensitivität auf und sind daher nicht geeignet, eine Hypoxämie zu erkennen.

Das Erkennen einer Hypoxämie lässt sich ebenso wenig qualitativ erlernen. Es zeigt sich keine signifikante Verbesserung der Evaluationsqualitäten mit steigender Anzahl der Berufsjahre und mit zunehmender Qualifikation des Personals. Auch eine Lernkurve über den Zeitraum der Studie lässt sich nicht nachweisen.

Das Pulsoximeter ist bei fehlenden Alternativen zur frühen Identifizierung hypoxämischer Patienten unerlässlich. Solange kein validierter Score zur Identifizierung von Risikopatienten existiert, sollte die Pulsoximetrie auch während des Transportes der Patienten vom Operationssaal in den Aufwachraum sowie bei der Anwendung des Fast-Track-Konzeptes eher großzügig bis gegebenenfalls standardmäßig zum Einsatz kommen, um eine lückenlose Patientenüberwachung im Sinne der Verbesserung der Patientensicherheit zu gewährleisten.

## 5 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Sauerstoffbindungskurve.....	S.8
Abbildung 2:	Absorptionsspektrum für Hämoglobin (Hb) und Oxyhämoglobin (HbO <sub>2</sub> ) des roten und infraroten Lichtfrequenzbereiches (in nm) .....	S.17
Abbildung 3:	Verteilung der Patienten auf die einzelnen Disziplinen.....	S.30
Abbildung 4:	ASA-Klassifikationen des Studienkollektivs.....	S.31
Abbildung 5:	Verteilung der Atemfrequenzen bei Ankunft und Verlassen des Aufwachraums.....	S.32
Abbildung 6:	Höhe des Perfusionsindexes.....	S.33
Abbildung 7:	Mittelwert der Sauerstoffsättigung nach Messzeitpunkten.....	S.34
Abbildung 8:	Evaluationsqualitäten der Ärzte.....	S.36
Abbildung 9:	Evaluationsqualitäten des Pflegepersonals.....	S.37
Abbildung 10:	Evaluationsqualitäten der Doktoranden.....	S.38
Abbildung 11:	Evaluationsqualitäten der Oberärzte.....	S.42
Abbildung 12:	Evaluationsqualitäten der Fachärzte.....	S.43
Abbildung 13:	Evaluationsqualitäten der Assistenzärzte.....	S.44
Abbildung 14:	Evaluationsfehler Doktorand A über die Zeit.....	S.46
Abbildung 15:	Evaluationsfehler Doktorand B über die Zeit.....	S.46

## 6 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Testprobleme beim Wilcoxon-Rangsummentest.....S.27

Tabelle 2: Verwerfung der Nullhypothese beim Wilcoxon-Rangsummentest.....S.28

Tabelle 3: Die zehn am schwersten hypoxämischen Patienten der Studie.....S.41

Tabelle 4: Klassifikation des postoperativen Shiverings

Shivering	Klinische Zeichen
Grad 0	Kein Shivering
Grad 1	Eine oder mehr Pioloerektionen, periphere Vasokonstriktion, periphere Zyanose ohne andere Ursache, aber ohne Muskelaktivität
Grad 2	Sichtbare Muskelaktivität auf eine Muskelgruppe beschränkt
Grad 3	Sichtbare Muskelaktivität in mehr als einer Muskelgruppe
Grad 4	Starke Muskelaktivität den ganzen Körper betreffend

Tabelle 5: Risikoklassifizierung nach der American Society of Anesthesiologists (ASA)

ASA 1:	Normaler, gesunder Patient
ASA 2:	Patient mit leichter Allgemeinerkrankung
ASA 3:	Patient mit schwerer Allgemeinerkrankung
ASA 4:	Patient mit schwerer Allgemeinerkrankung, die eine ständige Lebensbedrohung ist
ASA 5:	moribunder Patient, der ohne Operation voraussichtlich nicht überleben wird

## 7 Literaturverzeichnis

1. Abeysekera, A., I. J. Bergman, et al. (2005). "Drug error in anaesthetic practice: a review of 896 reports from the Australian Incident Monitoring Study database." *Anaesthesia* **60**(3): 220-227.
2. Arbous, M. S., D. E. Grobbee, et al. (2001). "Mortality associated with anaesthesia: a qualitative analysis to identify risk factors." *Anaesthesia* **56**(12): 1141-1153.
3. Baranauskas, M. B., C. B. Margarido, et al. (2008). "Simulation of ultrasound-guided peripheral nerve block: learning curve of CET-SMA/HSL Anesthesiology residents." *Rev Bras Anestesiol* **58**(2): 106-111.
4. Barker, S. J. (2002). ""Motion-resistant" pulse oximetry: a comparison of new and old models." *Anesth Analg* **95**(4): 967-972, table of contents.
5. Barker, S. J. and K. K. Tremper (1987). "The effect of carbon monoxide inhalation on pulse oximetry and transcutaneous PO<sub>2</sub>." *Anesthesiology* **66**(5): 677-679.
6. Barker, S. J., K. K. Tremper, et al. (1989). "Effects of methemoglobinemia on pulse oximetry and mixed venous oximetry." *Anesthesiology* **70**(1): 112-117.
7. Bay, J., J. F. Nunn, et al. (1968). "Factors influencing arterial PO<sub>2</sub> during recovery from anaesthesia." *Br J Anaesth* **40**(6): 398-407.
8. Bendixen, H. H., J. Hedley-Whyte, et al. (1963). "IMPAIRED OXYGENATION IN SURGICAL PATIENTS DURING GENERAL ANESTHESIA WITH CONTROLLED VENTILATION. A CONCEPT OF ATELECTASIS." *N Engl J Med* **269**: 991-996.
9. Bickler, P. E., J. R. Feiner, et al. (2005). "Effects of skin pigmentation on pulse oximeter accuracy at low saturation." *Anesthesiology* **102**(4): 715-719.
10. Bland, J. M. and D. G. Altman (1986). "Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement." *Lancet* **1**(8476): 307-310.
11. Bland, J. M. and D. G. Altman (1999). "Measuring agreement in method comparison studies." *Stat Methods Med Res* **8**(2): 135-160.
12. Brauer, S. (1990). "Developing standards for patient monitoring during anesthesia." *West J Med* **153**(3): 309-310.
13. Braz, L. G., D. G. Braz, et al. (2009). "Mortality in anesthesia: a systematic review." *Clinics (Sao Paulo)* **64**(10): 999-1006.
14. Braz, L. G., N. S. Modolo, et al. (2006). "Perioperative cardiac arrest: a study of 53,718 anaesthetics over 9 yr from a Brazilian teaching hospital." *Br J Anaesth* **96**(5): 569-575.
15. Brown, L. T., G. J. Purcell, et al. (1990). "Hypoxaemia during postoperative recovery using continuous pulse oximetry." *Anaesth Intensive Care* **18**(4): 509-516.
16. Bruns, J., E. Turner, et al. (1992). "[The incidence of hypoxia in the immediate postoperative period]." *Anaesthesist* **41**(6): 313-315.
17. Canet, J., M. Ricos, et al. (1989). "Early postoperative arterial oxygen desaturation. Determining factors and response to oxygen therapy." *Anesth Analg* **69**(2): 207-212.
18. Caplan, R. A., R. J. Ward, et al. (1988). "Unexpected cardiac arrest during spinal anesthesia: a closed claims analysis of predisposing factors." *Anesthesiology* **68**(1): 5-11.

19. Carlson, K. A. and J. S. Jahr (1993). "A historical overview and update on pulse oximetry." *Anesthesiol Rev* **20**(5): 173-181.
20. Charuluxananan, S., O. Kyokong, et al. (2001). "Learning manual skills in spinal anesthesia and orotracheal intubation: is there any recommended number of cases for anesthesia residency training program?" *J Med Assoc Thai* **84 Suppl 1**: S251-255.
21. Cheney, F. W., K. L. Posner, et al. (2006). "Trends in anesthesia-related death and brain damage: A closed claims analysis." *Anesthesiology* **105**(6): 1081-1086.
22. Comroe, J. H., Jr. and S. Botelho (1947). "The unreliability of cyanosis in the recognition of arterial anoxemia." *Am J Med Sci* **124**(1): 1-6.
23. Cote, C. J., E. A. Goldstein, et al. (1988). "A single-blind study of pulse oximetry in children." *Anesthesiology* **68**(2): 184-188.
24. Cote, C. J., E. A. Goldstein, et al. (1988). "The effect of nail polish on pulse oximetry." *Anesth Analg* **67**(7): 683-686.
25. Craig, D. B. (1981). "Postoperative recovery of pulmonary function." *Anesth Analg* **60**(1): 46-52.
26. Croston, J. and L. Brown (1990). "[Hypoxemia after general anesthesia in healthy adults]." *Rev Med Panama* **15**(3): 230-234.
27. Daley, M. D., P. H. Norman, et al. (1991). "Hypoxaemia in adults in the post-anaesthesia care unit." *Can J Anaesth* **38**(6): 740-746.
28. Don, H. F., W. M. Wahba, et al. (1972). "Airway closure, gas trapping, and the functional residual capacity during anesthesia." *Anesthesiology* **36**(6): 533-539.
29. Ezri, T., P. Szmuk, et al. (1992). "Pulse oximeters and onychomycosis." *Anesthesiology* **76**(1): 153-154.
30. Fabregas, N. and N. Bruder (2007). "Recovery and neurological evaluation." *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* **21**(4): 431-447.
31. Gaba, D. M. (2000). "Anaesthesiology as a model for patient safety in health care." *BMJ* **320**(7237): 785-788.
32. George, J. M., L. Nair, et al. (1995). "Postoperative hypoxaemia during transport and in the recovery area." *Ann Acad Med Singapore* **24**(6): 807-811.
33. Goldman, J. M., M. T. Petterson, et al. (2000). "Masimo signal extraction pulse oximetry." *J Clin Monit Comput* **16**(7): 475-483.
34. Hanning, C. D. and J. M. Alexander-Williams (1995). "Pulse oximetry: a practical review." *BMJ* **311**(7001): 367-370.
35. Heck, M. and M. Fresenius (2007). *Repetitorium Anästhesiologie. Für die Facharztprüfung und das europäische Diplom*. Heidelberg, Springer Medizin Verlag.
36. Hedenstierna, G. (1989). "Mechanisms of postoperative pulmonary dysfunction." *Acta Chir Scand Suppl* **550**: 152-158.
37. Hedenstierna, G. (2002). "Airway closure, atelectasis and gas exchange during anaesthesia." *Minerva Anesthesiol* **68**(5): 332-336.
38. Hedenstierna, G. and L. Edmark (2005). "The effects of anesthesia and muscle paralysis on the respiratory system." *Intensive Care Med* **31**(10): 1327-1335.
39. Henig, N. R. and D. J. Pierson (2000). "Mechanisms of hypoxemia." *Respir Care Clin N Am* **6**(4): 501-521.
40. Hewer, C. L. (1956). "The physiology and complications of the Trendelenburg position." *Can Med Assoc J* **74**(4): 285-288.
41. Hinkelbein, J., H. V. Genzwuerker, et al. (2007). "Effect of nail polish on oxygen saturation determined by pulse oximetry in critically ill patients." *Resuscitation* **72**(1): 82-91.
42. Hutton, P. and T. Clutton-Brock (1993). "The benefits and pitfalls of pulse oximetry." *BMJ* **307**(6902): 457-458.

43. Jensen, L. and L. Yang (2007). Risk factors for postoperative pulmonary complications in coronary artery bypass graft surgery patients. Eur J Cardiovasc Nurs. Netherlands. **6**: 241-246.
44. Johnson, P. A., D. J. Bihari, et al. (1993). "A comparison between direct and calculated oxygen saturation in intensive care." Anaesth Intensive Care **21**(1): 72-75.
45. Joshi, G. P., B. D. Jamerson, et al. (2000). "Is there a learning curve associated with the use of remifentanyl?" Anesth Analg **91**(5): 1049-1055.
46. Kehlet, H. (1989). "Surgical stress: the role of pain and analgesia." Br J Anaesth **63**(2): 189-195.
47. Keys, T. E. (1975). "Historical vignettes: Dr. Arthur Ernest Guedel 1883-1956." Anesth Analg **54**(4): 442-443.
48. Kochs, E., H. A. Adams, et al. (2009). Anästhesiologie. Stuttgart, Georg Thieme Verlag. **2**.
49. Kohler, D., M. Pfeifer, et al. (2006). "[Pathophysiological basis of mechanical ventilation]." Pneumologie **60**(2): 100-110.
50. Konrad, C., G. Schupfer, et al. (1998). "Learning manual skills in anesthesiology: Is there a recommended number of cases for anesthetic procedures?" Anesth Analg **86**(3): 635-639.
51. Kopacz, D. J., J. M. Neal, et al. (1996). "The regional anesthesia "learning curve". What is the minimum number of epidural and spinal blocks to reach consistency?" Reg Anesth **21**(3): 182-190.
52. Kovac, A. L. (2000). "Prevention and treatment of postoperative nausea and vomiting." Drugs **59**(2): 213-243.
53. Lagasse, R. S. (2002). "Anesthesia safety: model or myth? A review of the published literature and analysis of current original data." Anesthesiology **97**(6): 1609-1617.
54. Lienhart, A., Y. Auroy, et al. (2006). "Survey of anesthesia-related mortality in France." Anesthesiology **105**(6): 1087-1097.
55. Lodha, R., P. S. Bhadauria, et al. (2004). "Can clinical symptoms or signs accurately predict hypoxemia in children with acute lower respiratory tract infections?" Indian Pediatr **41**(2): 129-135.
56. Lundsgaard, C., D. Van Slyke, et al. (1923). "Cyanosis." Can Med Assoc J **13**(8): 601-604.
57. Macintosh, R. R. (1949). "Deaths under anaesthetics." Br J Anaesth **21**(3): 107-136.
58. Magill, I. W. (1928). "Endotracheal Anaesthesia." Proc R Soc Med **22**(2): 83-88.
59. Malviya, S., P. I. Reynolds, et al. (2000). "False alarms and sensitivity of conventional pulse oximetry versus the Masimo SET technology in the pediatric postanesthesia care unit." Anesth Analg **90**(6): 1336-1340.
60. Meiklejohn, B. H., G. Smith, et al. (1987). "Arterial oxygen desaturation during postoperative transportation: the influence of operation site." Anaesthesia **42**(12): 1313-1315.
61. Mellin-Olsen, J., S. Staender, et al. (2010). "The Helsinki Declaration on Patient Safety in Anaesthesiology." Eur J Anaesthesiol **27**(7): 592-597.
62. Mertzlufft, F. O., L. Brandt, et al. (1989). "[The use of pulse oximetry in detecting disorders of the arterial oxygen status in the immediate postoperative phase exemplified by combination anesthesia with isoflurane]." Anesth Intensivther Notfallmed **24**(1): 27-36.
63. Miglioretti, D. L., C. C. Gard, et al. (2009). "When radiologists perform best: the learning curve in screening mammogram interpretation." Radiology **253**(3): 632-640.
64. Moller, J. T., N. W. Johannessen, et al. (1991). "Hypoxaemia during anaesthesia--an observer study." Br J Anaesth **66**(4): 437-444.

65. Moller, J. T., N. W. Johannessen, et al. (1993). "Randomized evaluation of pulse oximetry in 20,802 patients: II. Perioperative events and postoperative complications." *Anesthesiology* **78**(3): 445-453.
66. Moller, J. T., I. Svennild, et al. (1993). "Perioperative monitoring with pulse oximetry and late postoperative cognitive dysfunction." *Br J Anaesth* **71**(3): 340-347.
67. Moller, J. T., M. Witttrup, et al. (1990). "Hypoxemia in the postanesthesia care unit: an observer study." *Anesthesiology* **73**(5): 890-895.
68. Moraca, R. J., D. G. Sheldon, et al. (2003). "The role of epidural anesthesia and analgesia in surgical practice." *Ann Surg* **238**(5): 663-673.
69. Morley, C. (2000). "Diagnostic value of tachypnoea." *Arch Dis Child* **82**(6): 503.
70. Morray, J. P., J. M. Geiduschek, et al. (2000). "Anesthesia-related cardiac arrest in children: initial findings of the Pediatric Perioperative Cardiac Arrest (POCA) Registry." *Anesthesiology* **93**(1): 6-14.
71. Ochroch, E. A., M. W. Russell, et al. (2006). "The impact of continuous pulse oximetry monitoring on intensive care unit admissions from a postsurgical care floor." *Anesth Analg* **102**(3): 868-875.
72. Ozdilekcan, C., N. Songur, et al. (2004). "Risk factors associated with postoperative pulmonary complications following oncological surgery." *Tuberk Toraks* **52**(3): 248-255.
73. Palafox, M., H. Guiscafre, et al. (2000). "Diagnostic value of tachypnoea in pneumonia defined radiologically." *Arch Dis Child* **82**(1): 41-45.
74. Patel, R., J. Norden, et al. (1988). "Oxygen administration prevents hypoxemia during post-anesthetic transport in children." *Anesthesiology* **69**(4): 616-618.
75. Pedersen, T., A. M. Moller, et al. (2009). "Pulse oximetry for perioperative monitoring." *Cochrane Database Syst Rev*(4): CD002013.
76. Pierce, E. C., Jr. (1984). "Analysis of anesthetic mishaps. Historical perspectives." *Int Anesthesiol Clin* **22**(2): 1-16.
77. Rodden, A. M., L. Spicer, et al. (2007). "Does fingernail polish affect pulse oximeter readings?" *Intensive Crit Care Nurs* **23**(1): 51-55.
78. Rubin, A. S. (1988). "Nail polish color can affect pulse oximeter saturation." *Anesthesiology* **68**(5): 825.
79. Russell, G. B. and J. M. Graybeal (1993). "Hypoxemic episodes of patients in a postanesthesia care unit." *Chest* **104**(3): 899-903.
80. Schuepfer, G., C. Konrad, et al. (2000). "Generating a learning curve for pediatric caudal epidural blocks: an empirical evaluation of technical skills in novice and experienced anesthetists." *Reg Anesth Pain Med* **25**(4): 385-388.
81. Schulte am Esch, J. (2006). *Duale Reihe Anästhesie*. Stuttgart, Georg Thieme Verlag. **3**. vollständig überarbeitete Auflage.
82. Severinghaus, J. W. (2007). "Takuo Aoyagi: discovery of pulse oximetry." *Anesth Analg* **105**(6 Suppl): S1-4, tables of contents.
83. Severinghaus, J. W. and P. B. Astrup (1986). "History of blood gas analysis. VI. Oximetry." *J Clin Monit* **2**(4): 270-288.
84. Sprung, J., M. E. Warner, et al. (2003). "Predictors of survival following cardiac arrest in patients undergoing noncardiac surgery: a study of 518,294 patients at a tertiary referral center." *Anesthesiology* **99**(2): 259-269.
85. Tyler, I. L., B. Tantisira, et al. (1985). "Continuous monitoring of arterial oxygen saturation with pulse oximetry during transfer to the recovery room." *Anesth Analg* **64**(11): 1108-1112.
86. Watcha, M. F., M. T. Connor, et al. (1989). "Pulse oximetry in methemoglobinemia." *Am J Dis Child* **143**(7): 845-847.

87. Watkins, A. C. and P. F. White (2001). "Fast-tracking after ambulatory surgery." J Perianesth Nurs **16**(6): 379-387.
88. Wawersik, J. (1991). History of anesthesia in Germany. J Clin Anesth. United States. **3**: 235-244.
89. Young, E. R. and D. Bosco (1989). "The use of pulse oximetry in the immediate recovery phase following dental extractions under general anesthesia in children." J Can Dent Assoc **55**(4): 305-308.
90. Zander, R. and F. Mertzlufft (1990). "Oxygen parameters of blood: definitions and symbols." Scand J Clin Lab Invest Suppl **203**: 177-185.
91. Zander, R. and F. Mertzlufft (1996). "[Therapeutic limit values of acute, arterial hypoxia]." Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther **31**(6): 372-374.
92. Zhang, Y. and K. C. Wong (1999). "Anesthesia and postoperative shivering: its etiology, treatment and prevention." Acta Anaesthesiol Sin **37**(3): 115-120.

## 8 Anhang

### 8.1 Verzeichnis akademischer Lehrer

Prof. Dr. Gerhard Aumüller	Prof. Dr. Ulrich Müller
Prof. Dr. Peter Barth	Prof. Dr. Wolfgang Hermann Oertel
Prof. Dr. Detlef Bartsch	Prof. Dr. Axel Pagenstecher
Prof. Dr. Erika Baum	Prof. Dr. Harald Renz
Prof. Dr. Thomas Behr	Prof. Dr. Gerd Richter
Prof. Dr. Roswitha Berger	Prof. Dr. Frank Rose
Prof. Dr. Siegfried Bien	Prof. Dr. Matthias Rothmund
Prof. Dr. Frank Czubayko	Prof. Dr. Steffen Ruchholtz
Prof. Dr. Jürgen Daut	Prof. Dr. Helmut Schäfer
Prof. Dr. Rita Engenhardt-Cabillic	Prof. Dr. Stephan Schmidt
Prof. Dr. S. Fuchs-Winkelmann	Prof. Dr. Andreas Sesterhenn
Prof. Dr. Christian Görg	Prof. Dr. Walter Sekundo
Prof. Dr. Michael Hertl	Prof. Dr. Afshin Teymoortash
Prof. Dr. Rainer Hofmann	Prof. Dr. Claus Vogelmeier
Prof. Dr. Joachim Hoyer	Prof. Dr. Uwe Wagner
Prof. Dr. Volker Klingmüller	Prof. Dr. Eberhard Weihe
Prof. Dr. Klaus Jochen Klose	Prof. Dr. Jochen Werner
Prof. Dr. Jan Koolman	Prof. Dr. Hinnerk Wulf
Prof. Dr. Roland Lill	
Prof. Dr. Michael Lohoff	
Prof. Dr. Rolf Felix Maier	
Prof. Dr. Bernhard Maisch	
Prof. Dr. Roland Moll	
Prof. Dr. Rainer Moosdorf	

## 8.2 Danksagung

Von Herzen danke ich:

**Prof. Dr. med. Leopold Eberhart** für die Bereitstellung des Themas sowie die unverzügliche Korrektur dieser Arbeit.

**Dr. med. Hansjörg Aust** für die gute Betreuung und die geduldigen Antworten, die er auf meine unzähligen Fragen hatte.

**Dr. med. Christian Arndt** für den Entwurf der Access-Datenbank.

Allen an der Studie beteiligten Ärzten und dem Pflegepersonal. Hier sind besonders hervorzuheben **Bianca Gerhardt** und **Petra Stadlander**, die mich die eine oder andere Stunde in „ihrem“ Aufwachraum erduldet haben.

Meinem Bruder **Thomas Brieskorn**, der mir bei der Formatierung dieser Arbeit zur Seite gestanden hat.

**Meinen Eltern**, dafür, dass sie immer an mich geglaubt haben und mir durch ihre moralische und finanzielle Unterstützung das Studium und diese Promotion überhaupt erst ermöglicht haben.