

Diplomarbeit

**Identifikation von Maßnahmen zur Verbesserung  
der Beatmung von Früh- und Reifgeborenen**

eingereicht von

**Tanja Derler**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor(in) der gesamten Heilkunde**

**(Dr. med. univ.)**

an der

**Medizinischen Universität Graz**

ausgeführt an der

**Universitätsklinik für Kinder- und Jugendheilkunde**

**Klinische Abteilung für Neonatologie**

unter der Anleitung von

Dr. med. univ. Lukas Peter Mileder  
Ass.-Prof. Priv.-Doz. Dr. med. univ. Gerhard Pichler

Kindberg, 22.01.2017

*Eidesstattliche Erklärung*

*Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.*

*Kindberg, am 22.01.2017*

*Tanja Derler eh*

## **Danksagungen**

Ich möchte mich bei allen bedanken, die mich während des Erstellens meiner Diplomarbeit, aber auch im Verlauf meines gesamten Studiums fachlich und persönlich unterstützt haben.

Allen voran danke ich meinen Diplomarbeitbetreuern Herrn Dr. med. univ. Lukas Miledler und Herrn Ass.-Prof. Priv.-Doz. Dr. med. univ. Gerhard Pichler für die kompetente Betreuung bei der Durchführung und Verfassung dieser Arbeit.

Ein herzliches Dankeschön gilt meiner Familie und meinen Freunden, die mich stets in meinen Vorhaben unterstützt haben und mir immer mit hilfreichen Ratschlägen und aufmunternden Worten zur Seite standen.

Zu guter Letzt danke ich meinen Studienkollegen für eine lehrreiche und interessante gemeinsame Studienzeit sowie den daraus entstandenen Freundschaften.

## Zusammenfassung

**Hintergrund:** Um bei Neugeborenen, die in der postnatalen Transitionsphase apnoeisch sind bzw. insuffiziente Spontanatmung aufweisen, eine effektive pulmonale Rekrutierung und Ventilation sicherzustellen, sind die Applikation von kontinuierlichem positivem Atemwegsdruck (CPAP) und/oder die Überdruckbeatmung (PPV) mit der Beatmungsmaske die wichtigsten Interventionen. Um diese Interventionen während der Erstversorgung von Neugeborenen zu optimieren, werden verschiedene Maßnahmen wie etwa die Neupositionierung des kindlichen Kopfes oder die Beatmung mittels der 2-Helfer-Methode genannt.

**Zielsetzung:** Das Ziel dieser Studie war es, die Häufigkeit von Maßnahmen zur Verbesserung der nichtinvasiven Beatmung bzw. Atmungsunterstützung von Früh- und Reifgeborenen unmittelbar nach der Geburt und deren Effekte zu untersuchen.

**Methoden:** In diese Studie wurden Früh- und Reifgeborene inkludiert, die im Rahmen von prospektiven Beobachtungsstudien zwischen September 2009 und Januar 2015 in den ersten 15 Minuten nach ihrer Geburt gefilmt wurden. Es wurden ausschließlich Neugeborene inkludiert, die Masken-CPAP und/oder Masken-PPV erhielten. Maßnahmen, die mittels Videoanalyse untersucht wurden, waren Repositionierung von Beatmungsmaske oder Kopf, oropharyngeales Absaugen, Wechsel zwischen ein- und beidhändiger Beatmungsmaskenführung, Wechsel der Beatmungsmaske und Wechsel der durchführenden Person. Vitalparameter wurden mittels Pulsoxymetrie, Nahinfrarotspektroskopie und Atemfunktionsmonitoring gemessen und in einem polygraphischen Datenmanagementsystem aufgezeichnet. Die statistische Datenauswertung erfolgte in anonymisierter Form.

**Ergebnisse:** Zwischen 01. September 2009 und 31. Januar 2015 waren Videos von insgesamt 653 Neugeborenen zur Analyse verfügbar. Davon war bei 143/653 Früh- und Reifgeborenen (21,9%) eine Beatmung bzw. Atmungsunterstützung erforderlich. Aufgrund ungenügender Bildqualität konnten neun/143 Videos (6,3%) nicht in die Auswertung miteinbezogen werden.

Die 134 inkludierten Videos umfassten 58 Reifgeborene und 76 Frühgeborene, wobei in 105 Videos (78,4%) im Median zwei Maßnahmen (0-22) zur

Verbesserung der Beatmungssituation gesetzt wurden. Die Gesamtzahl von 427 Maßnahmen verteilte sich auf Maskenrepositionierung in 56,9% (n=243), oropharyngeales Absaugen in 26,0% (n=111), Wechsel zwischen ein- und beidhändiger Beatmungsmaskenhaltung in 7,7% (n=33), Wechsel der beatmenden Person in 6,1% (n=26), Wechsel der Beatmungsmaske in 2,3% (n=10) und Kopfrepositionierung in 0,9% (n=4).

Von den insgesamt 427 Maßnahmen wurden 287 (67,2%) bei Frühgeborenen und 140 (32,8%) bei reifen Neugeborenen gesetzt. Maßnahmen zur Optimierung der Beatmungssituation waren damit bei Frühgeborenen signifikant häufiger als bei Reifgeborenen (p=0,006).

Vor und nach der ersten beatmungsoptimierenden Maßnahme gab es keine signifikanten Unterschiede in Herzfrequenz, Sauerstoffsättigung und Beatmungsmaskenleckage. Die regionale zerebrale Gewebsoxygenierung betrug vor der ersten gesetzten Maßnahme zur Beatmungsoptimierung  $37,3 \pm 22,0\%$  und danach  $45,4 \pm 21,5\%$  (p=0,001).

**Schlussfolgerung:** Maßnahmen, um die Beatmungsqualität während der Erstversorgung von Neugeborenen zu verbessern, sind häufig erforderlich und heterogen. In dieser Studie zeigten sich Unterschiede in der Häufigkeit der gesetzten Maßnahmen zwischen Früh- und Reifgeborenen. Die erste beatmungsoptimierende Maßnahme war mit einer Verbesserung der zerebralen Gewebsoxygenierung assoziiert.

## Abstract

**Background:** In apnoeic or insufficiently breathing neonates during immediate postnatal transition period, recruitment of lung volume and ventilation by applying mask continuous positive airway pressure (mCPAP) and/or mask positive pressure ventilation (mPPV) are the most important interventions. To optimize these interventions during neonatal resuscitation, several strategies such as repositioning of the infant head or using the two-person approach are recommended.

**Aim:** The aim of the present study was to analyse frequency and effects of manoeuvres to improve non-invasive respiratory support during resuscitation of term and preterm neonates immediately after birth.

**Methods:** In this study term and preterm neonates born between September 2009 and January 2015, who were video recorded as part of prospective observational studies during the first 15 minutes after birth, were included. Only neonates who required respiratory support (mCPAP and/or mPPV) were analysed. Manoeuvres to improve respiratory support, i.e. mask or head repositioning, oropharyngeal suctioning, change between one- and two-hand mask hold, change of ventilation mask, and change of staff delivering respiratory support, were assessed by video analysis. Vital parameters were measured using pulse oximetry, near-infrared spectroscopy and respiratory function monitoring and stored in a polygraphic data management system. Data were analysed anonymously.

**Results:** Between September 1<sup>st</sup> 2009 and January 31<sup>st</sup> 2015, 653 videos were available for analysis. Of these, respiratory support was required in 143/653 term and preterm neonates (21.9%). Nine videos (6.3%) had to be excluded from analysis due to insufficient quality of recording.

The 134 videos included 58 term and 76 preterm neonates, showing manoeuvres to improve respiratory support in 105 videos (78.4%) for a median of two manoeuvres (0-22). Of the total number of 427 manoeuvres, mask repositioning occurred in 56.9% (n=243), oropharyngeal suctioning in 26.0% (n=111), change between one- and two-hand mask hold in 7.7% (n=33), change of staff delivering respiratory support in 6.1% (n=26), change of ventilation mask in 2.3% (n=10), and head repositioning in 0.9% (n=4).

287 (67.2%) of the total of 427 manoeuvres were performed in preterm neonates compared to 140 (32.8%) in term neonates. Manoeuvres to improve respiratory

were performed significantly more often in preterm neonates compared to term neonates ( $p=0.006$ ).

There were no significant differences in heart rate, oxygen saturation and mask leak before and after the first manoeuvre. Regional cerebral tissue oxygenation was  $37.3 \pm 22.0\%$  before and  $45.4 \pm 21.5\%$  after the first manoeuvre ( $p=0.001$ ).

**Conclusion:** Manoeuvres to improve respiratory support are commonly required during neonatal resuscitation, yet heterogeneous. In this study, there were differences in frequency of manoeuvres performed in preterm and term neonates. The first respiratory support optimizing manoeuvre was associated with improvement of cerebral tissue oxygenation.

# Inhaltsverzeichnis

Danksagungen .....	ii
Zusammenfassung .....	iii
Abstract .....	v
Inhaltsverzeichnis .....	vii
Glossar und Abkürzungen .....	ix
Abbildungsverzeichnis .....	xi
1 Einleitung .....	13
1.1 Physiologie des Fetus .....	13
1.1.1 Wachstum und Entwicklung .....	13
1.1.2 Das fetale kardiopulmonale System .....	13
1.2 Übergang vom intra- zum extrauterinen Leben .....	14
1.3 Postnatale Adaptation .....	14
1.3.1 Kardiopulmonale Funktionen .....	14
1.3.2 Temperaturregulation .....	15
1.4 Krankheiten der Atmungsorgane .....	16
1.4.1 Atemnotsyndrom .....	16
1.5 Versorgung des Neugeborenen .....	20
1.5.1 Postnatale Bestimmung des Reifezustandes .....	20
1.5.2 Apgar-Score .....	20
1.5.3 Nabelarterien-pH .....	21
1.6 Erstversorgung und Reanimation des Neugeborenen gemäß European Resuscitation Council (ERC) - Guidelines 2015 .....	22
1.6.1 Initiale Beurteilung .....	23
1.6.2 Durchführung der Reanimationsmaßnahmen .....	24
1.7 Beatmung und Atmungsunterstützung .....	27
1.7.1 Anatomische Unterschiede .....	27
1.7.2 Statische Lungenvolumina .....	28
1.7.3 Beatmungsparameter .....	29
1.7.4 Beatmungsformen .....	32
1.7.5 Spezielle Beatmungsformen .....	33
1.7.6 Monitoring .....	34
1.7.7 Respiratory function monitoring .....	36
1.7.8 Technik der Beatmung .....	39
1.7.9 Qualität der Beatmung .....	43
2 Material und Methoden .....	45
2.1 PatientInnenkollektiv .....	45
2.2 Durchführung .....	46
2.2.1 Auswahl der PatientInnen .....	46
2.2.2 Videoqualität .....	46
2.2.3 Videoanalyse .....	46
2.3 Datenerhebung und Datenanalyse .....	48
2.3.1 Maßnahmen zur Optimierung der Beatmungssituation .....	49
2.3.2 Statistische Auswertung .....	49
3 Ergebnisse .....	51
3.1 Neugeborene mit nichtinvasiver Beatmung bzw. Atmungsunterstützung .....	52
3.1.1 Demographische Daten .....	52
3.1.2 Narkoseführung .....	53
3.1.3 Beatmung und Atmungsunterstützung .....	54
3.2 Vitalparameter und Beatmungsmaskenleckage .....	59

3.3	Neugeborene mit nichtinvasiver Beatmung bzw. Atmungsunterstützung: Unterschiede zwischen Früh- und Reifgeborenen .....	60
3.3.1	Initiales oropharyngeales Absaugen .....	61
3.3.2	Beatmungsformen und -zeiten .....	62
3.3.3	Maßnahmen zur Optimierung der Beatmungssituation .....	63
4	Diskussion .....	67
4.1	Studienergebnisse .....	69
4.2	Limitationen .....	71
5	Schlussfolgerungen .....	71
6	Literaturverzeichnis .....	73

## Glossar und Abkürzungen

AZV	Atemzugsvolumen
BE	Basenexzess
cm	Zentimeter
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
CPAP	continuous positive airway pressure
CPPV	continuous positive pressure ventilation
CrP	C-reaktives Protein
CTG	Kardiotokographie
EKG	Elektrokardiogramm
ERV	Expiratorisches Reservevolumen
EtCO <sub>2</sub>	Endexpiratorisches Kohlendioxid
FG	Frühgeborene
FiO <sub>2</sub>	fraction of inspired oxygen
FRC	Funktionelle Residualkapazität
g	Gramm
GA	Gestationsalter
h	Stunde
kg	Kilogramm
l	Liter
LBW	low birth weight infant
IPPV	intermittent positiv pressure ventilation
IRV	Inspiratorisches Reservevolumen
MAP	Mittlerer Atemwegsdruck
mbar	Millibar
ml	Milliliter
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
MVe	Expiratorisches Minutenvolumen
MVi	Inspiratorisches Minutenvolumen
µg	Mikrogramm
NapH	Nabelarterien-pH-Wert
NvpH	Nabelvenen-pH-Wert
NIPPV	nasal intermittent positive pressure ventilation
NIRS	Nahinfrarotspektroskopie
nm	Nanometer
O <sub>2</sub>	Sauerstoff
PaO <sub>2</sub>	Arterieller Sauerstoff-Partialdruck
pCO <sub>2</sub>	Kohlendioxid-Partialdruck
PEEP	positive endexpiratory pressure
PFC	Persistierende fetale Zirkulation
pH	potentia hydrogenii
Pinsp	Inspirationsdruck
PIP	Inspirationsdruck
Pmax	Spitzendruck
PPV	positive pressure ventilation
PSV	pressure support ventilation
RDS	respiratory distress syndrome
RG	Reifgeborene
RV	Residualvolumen

SaO <sub>2</sub>	Sauerstoffsättigung
SGA	small for gestational age
SIMV	synchronized intermittent mandatory ventilation
SIPPV	synchronized intermittent positive pressure ventilation
SpO <sub>2</sub>	Sauerstoffsättigung
te	Expirationszeit
TI	Inspirationsdauer
ti	Inspirationszeit
TLC	Totale Lungkapazität
VC	Vitalkapazität
VLBW	very low birth weight infant
VT	Tidalvolumen
VTi	Inspiratorisches Tidalvolumen
VTe	Expiratorisches Tidalvolumen

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Umstellung des Blutkreislaufs bei der Geburt (1) .....	15
Abbildung 2: Neugeborenenreanimations-Algorithmus (13).....	22
Abbildung 3: Statische Lungenvolumina (24) .....	28
Abbildung 4: Spontanatmung und Beatmung (24).....	29
Abbildung 5: Druck-Zeit-Diagramme bei Beatmung (24).....	31
Abbildung 6: Druck-Zeit-Diagramm bei druckkontrollierter Beatmung (24) .....	32
Abbildung 7: Druck-Zeit-Diagramm bei volumenkontrollierter Beatmung (24).....	33
Abbildung 8: Überdruckbeatmung mit T-Stück-Beatmungssystem und Beatmungsbeutel (38) .....	37
Abbildung 9: Leckage während Überdruckbeatmung (38) .....	38
Abbildung 10: Effekt der Korrektur der Maskenposition auf Leckage (38).....	39
Abbildung 11: Aufrolltechnik der Maske (40).....	41
Abbildung 12: Maskenhalteteknik (39) .....	42
Abbildung 13: Maskenhalteteknik 1 Person / 2 Personen (41).....	43
Abbildung 14: Alpha-Trace-Programm .....	47
Abbildung 15: Handschriftliche Aufzeichnung .....	47
Abbildung 16: Übersicht PatientInnenfluss .....	51
Abbildung 17: Geschlechtsverteilung der inkludierten Neugeborenen .....	53
Abbildung 18: Narkoseführung der inkludierten Neugeborenen .....	53
Abbildung 19: Absaugmanöver vor der initialen Beatmung bzw. Atmungsunterstützung .....	54
Abbildung 20: Beatmungsformen .....	55
Abbildung 21: Beatmungszeiten .....	55
Abbildung 22: Wechsel der Beatmungsform .....	56
Abbildung 23: Initiale Beatmungsmaskenführung .....	56
Abbildung 24: Maßnahmen zur Optimierung der Beatmungssituation .....	57
Abbildung 25: Anzahl der Maßnahmen zur Optimierung der Beatmungssituation .....	57
Abbildung 26: Art der Maßnahmen zur Optimierung der Beatmungssituation .....	58
Abbildung 27: Zerebrale Gewebsoxygenierung vor und nach der ersten beatmungsoptimierenden Maßnahme .....	59
Abbildung 28: Verteilung Früh- und Reifgeborene .....	60
Abbildung 29: Absaugmanöver vor der initialen Beatmung bzw. Atmungsunterstützung bei Reifgeborenen .....	61
Abbildung 30: Absaugmanöver vor der initialen Beatmung bzw. Atmungsunterstützung bei Frühgeborenen .....	61
Abbildung 31: Beatmungsformen Reifgeborene .....	62
Abbildung 32: Beatmungsformen Frühgeborene .....	62
Abbildung 33: Beatmungszeiten und -formen bei Früh- und Reifgeborenen .....	63
Abbildung 34: Maßnahmen zur Optimierung der Beatmungssituation bei Früh- und Reifgeborenen .....	63
Abbildung 35: Maßnahmen zur Optimierung der Beatmungssituation bei Reifgeborenen .....	64
Abbildung 36: Maßnahmen zur Optimierung der Beatmungssituation bei Frühgeborenen .....	64
Abbildung 37: Anzahl der Maßnahmen zur Optimierung der Beatmungssituation bei Früh- und Reifgeborenen .....	65
Abbildung 38: Art der Maßnahmen zur Optimierung der Beatmungssituation bei Reifgeborenen .....	66
Abbildung 39: Art der Maßnahmen zur Optimierung der Beatmungssituation bei Frühgeborenen .....	66

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Radiologische Stadieneinteilung des RDS (9) .....	17
Tabelle 2: Definitionen der Neonatalmedizin (1).....	20
Tabelle 3: Apgar-Score (6, 17) .....	21
Tabelle 4: Bewertung des Nabelarterien-pH (1) .....	21
Tabelle 5: MR SOPA (43).....	44
Tabelle 6: Demographische Daten der inkludierten Neugeborenen .....	52
Tabelle 7: Demografische Daten Früh- und Reifgeborene .....	60

# 1 Einleitung

Für Neugeborene ist die Sicherstellung einer suffizienten Atemsituation in den ersten Lebensminuten von entscheidender Bedeutung. Daher ist es erforderlich, die manuelle Überdruckbeatmung von apnoeischen und ateminsuffizienten Neugeborenen im Rahmen der postnatalen Erstversorgung so effektiv wie möglich durchzuführen. Zur Optimierung der Beatmung und vor allem zur Reduktion der Leckage der Beatmungsmaske stehen verschiedene Maßnahmen zur Verfügung, die gesetzt werden können, um die Beatmungssituation zu verbessern.

## 1.1 *Physiologie des Fetus*

Die Zeit von der Konzeption bis zur Geburt wird als Pränatalperiode bezeichnet und dauert durchschnittlich 280 Tage bzw. 40 Wochen. Durch sein Alter, seine Größe oder durch die Angabe eines definierten Entwicklungsstadiums kann ein Embryo charakterisiert werden.

Die Stadien der Entwicklung können etwa ab der 4. Schwangerschaftswoche mittels Ultraschalluntersuchungen beurteilt werden. Dabei wird die Scheitel-Steiß-Länge bestimmt, indem man die Länge von der Oberkante der Kopfanlage zum entstehenden Steiß misst. (2, 3)

### 1.1.1 **Wachstum und Entwicklung**

Als Embryonalperiode werden die ersten acht Wochen der Entwicklung definiert. Sie steht im Zeichen der Organogenese, wobei die Organsysteme ab der vierten Schwangerschaftswoche angelegt werden. Ab dem dritten Schwangerschaftsmonat wird von der Fetalperiode gesprochen. Dies ist der längste Abschnitt der Pränatalperiode, während der es zu einem weiteren Größenwachstum der Organe und des Fetus im Allgemeinen kommt. (2–4)

### 1.1.2 **Das fetale kardiopulmonale System**

Bei der Versorgung des Feten in utero fließt das unvollständig mit Sauerstoff gesättigte Blut aus der Plazenta über die Vena umbilicalis in die Vena cava inferior. Das Mischblut der Vena cava inferior strömt mit einer Sauerstoffsättigung von 60 - 65% in das rechte Herz, dass circa 90% des Blutes über das offene

Foramen ovale und den Ductus arteriosus Botalli in den linksseitigen Anteil des Kreislaufes befördert (siehe Abbildung 1).

In utero besteht somit ein physiologischer Rechts-Links-Shunt und die beiden Ventrikel sind weitgehend parallel geschaltet. Nur circa 10% des gesamten Blutvolumens fließt durch die flüssigkeitsgefüllte Lunge. Bedingt ist dies durch einen hohen intrapulmonalen Druck, der in erster Linie durch eine Vasokonstriktion der Pulmonalarteriolen zustande kommt. (5, 6)

## ***1.2 Übergang vom intra- zum extrauterinen Leben***

Während der Geburt werden beim Neugeborenen komplexe Umstellungsprozesse initiiert, die der Anpassung an das extrauterine Leben dienen. Die Passage durch den Geburtskanal ist besonders entscheidend für den Beginn der Lungenatmung, da hierbei der kindliche Thorax einem hohen Druck ausgesetzt ist. Zusätzlich kommt es nach dem Durchtritt durch den Geburtskanal zu einer passiven Ausdehnung des Thorax, wodurch Luft in die Atemwege gelangt. Zu weiteren Anpassungen kommt es durch die ersten Atemzüge nach der Geburt und das Abklemmen der Nabelschnur. (7, 8)

## ***1.3 Postnatale Adaptation***

Die Anpassung des Neugeborenen an das extrauterine Leben ist durch zahlreiche Umstellungsvorgänge gekennzeichnet. In weiterer Folge werden diese besprochen.

### ***1.3.1 Kardiorespiratorische Funktionen***

Bei unauffälliger Adaptation wird die intrapulmonale Flüssigkeit unmittelbar nach der Geburt durch die Mechanik der ersten Atemzüge über Lymph- und Blutgefäße abtransportiert. Exogene Faktoren wie Kälte, Schmerz, Licht, Lärm und die Stimulation von Lungendehnungsrezeptoren regen den Beginn der Spontanatmung 15 bis 30 Sekunden nach der Geburt an. Der pulmonale Gefäßwiderstand sinkt, da mit Beginn der Atmung der arterielle Sauerstoffgehalt steigt. Dadurch kommt es zu einer zunehmenden Lungendurchblutung, die zu einer Steigerung der Füllung und des Druckes im linken Vorhof und Ventrikel führt. Es kommt zum Verschluss des Foramen ovale. Diese Veränderungen lösen auch den funktionellen Verschluss des Ductus arteriosus Botalli aus.

Durch die Summe dieser Anpassungsprozesse stellt ab diesem Zeitpunkt die Pumpfunktion des linken Ventrikels die systemische Zirkulation sicher, wodurch die Kreislagsituation dem postnatalen Leben angepasst ist (siehe Abbildung 1). Die Atemfrequenz eines gesunden Neugeborenen liegt zwischen 40 - 60 Atemzügen pro Minute und die Herzfrequenz zwischen 120 - 160 Schlägen pro Minute. (5, 6, 8, 9)

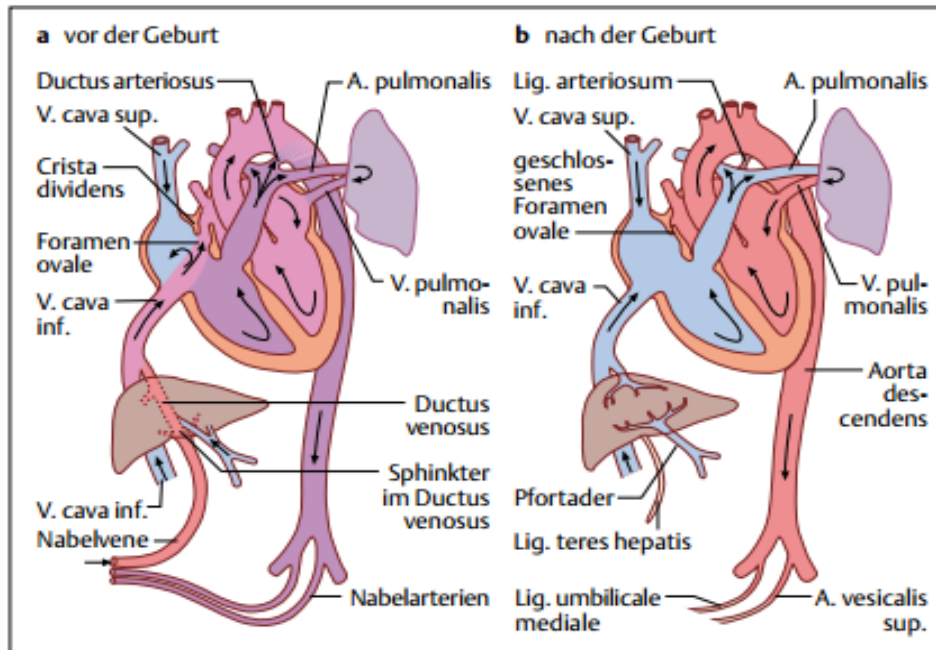


Abbildung 1: Umstellung des Blutkreislaufs bei der Geburt (1)

### 1.3.2 Temperaturregulation

Das Neugeborene muss nach der Geburt selbst Wärme produzieren, indem es Fettsäuren im braunen Fettgewebe oxidiert. Da dieser Prozess sauerstoffabhängig ist, können insbesondere hypoxämische und dystrophe Neugeborene sowie Frühgeborene die Körpertemperatur nicht adäquat aufrechterhalten. Zusätzlich entsteht ein bedeutender Wärmeverlust durch die Verdunstungskälte, weshalb es besonders wichtig ist, diese Kinder nach der Geburt abzutrocknen. (5)

Der Ort des größten Wärmeverlustes ist bei Neugeborenen der Kopf. Die Folge einer Hypothermie ist eine metabolische Azidose, des Weiteren geht eine Hypo- bzw. Hyperthermie mit einer erhöhten Mortalität und Morbidität einher. (10)

## **1.4 Erkrankungen der Atmungsorgane**

Störungen der respiratorischen Adaptation gehören zu den häufigsten Erkrankungen in der Neugeborenenperiode und können durch zahlreiche Faktoren wie organische Unreife, Asphyxie, Hypoxie, Aspiration und Infektion hervorgerufen werden. Eingeteilt werden können die Störungen in jene mit Beeinträchtigung der Lungenventilation, Diffusionsstörungen, Perfusionsstörungen und Störungen des Sauerstofftransports. (9)

### **1.4.1 Atemnotsyndrom**

Das neonatale Atemnotsyndrom ist ein Überbegriff für verschiedene Erkrankungen, die mit dem Leitsymptom Atemnot einhergehen. Wichtig sind eine frühzeitige Diagnosestellung und das rasche Einleiten therapeutischer Maßnahmen, da sie über den Verlauf der mitunter lebensbedrohlichen Erkrankungen entscheiden.

Die Klinik des Atemnotsyndroms umfasst Tachypnoe, juguläre, intercostale oder sternale Einziehungen, expiratorisches Stöhnen, Nasenflügeln, Einsatz der Atemhilfsmuskulatur und Zyanose.

Seltenere Ursachen für ein Atemnotsyndrom können unter anderem sein: Kongenitales lobäres Emphysem, Lungenhypoplasie, Zwerchfellhernie, Chylothorax, pulmonale oder vaskuläre Malformationen. (6, 9)

#### **1.4.1.1 Transitorische Tachypnoe / Wet lung disease**

Die transitorische Tachypnoe ist eine relativ häufige Atemstörung, deren Ursache auf eine verzögerte Resorption des Fruchtwassers in der kindlichen Lunge zurückzuführen ist. Besonders nach einer Entbindung per Sectio caesarea, aber auch bei rascher (Spontan-)Geburt oder Frühgeburtlichkeit kann vermehrt Flüssigkeit in den Alveolen verbleiben. Die Diagnose wird mittels Thorax-Röntgen gestellt, indem man eine vermehrte perihiläre Streifenzeichnung, einen akzentuierten Interlobärspalt oder Pleuraergüsse erkennen kann.

In der Mehrheit der Fälle bilden sich die klinischen Symptome und die damit einhergehenden radiologischen Veränderungen spontan zurück. (6, 9)

### 1.4.1.2 Surfactantmangel-Syndrom / Respiratory distress syndrom (RDS)

Dieses Krankheitsbild betrifft vor allem unreife Frühgeborene vor der 32. Schwangerschaftswoche, kann aber auch durch Hemmung der Surfactant-Produktion oder einen vermehrten Surfactant-Verbrauch infolge Hypoxie, Azidose, Hypothermie und Infektion entstehen. Das von Pneumozyten Typ II gebildete Surfactant setzt die Oberflächenspannung herab, wodurch die Entfaltung der Alveolen erleichtert und der Gasaustausch ermöglicht wird. Es wird aber erst ab der 35. Schwangerschaftswoche in ausreichender Menge produziert. Bei Fehlen von Surfactant kommt es zu einem Kollaps der Alveolen in der Expiration mit herabgesetzter pulmonaler Compliance, Mikroatektasen und verminderter Ventilation sowie Perfusion.

Die Diagnose wird anhand von Anamnese, klinischer Symptomatik, Blutgasanalyse und vor allem radiologischen Kriterien (siehe Tabelle 1) gestellt.

<b>Radiologische Stadieneinteilung des RDS</b>	
Stadium	Radiologisches Korrelat
I	Feingranuläre Lungenzeichnung
II	Wie bei I, außerdem über die Herzkonturen reichendes Luftbronchogramm
III	Wie bei II, außerdem Unschärfe oder partielle Auslöschung der Herz- und Zwerchfellkonturen
IV	„Weiße Lunge“ (komplette Dys- bzw. Atelektase)

**Tabelle 1: Radiologische Stadieneinteilung des RDS (9)**

Als Therapie stehen die Überdruckbeatmung und die endotracheale Verabreichung von Surfactant zur Verfügung, wofür es zwei verschiedene Methoden gibt. Zum einen kann Surfactant im Rahmen eines sogenannten InSurE-Manövers (INtubate - SURfactant - Extubate) verabreicht werden, wobei Neugeborene hierfür kurzfristig intubiert und nach Surfactant-Applikation rasch wieder extubiert werden. (11)

Haben Neugeborene einen ausreichenden Atemantrieb, kann das LISA-Verfahren (Less Invasive Surfactant Application) angewandt werden. Dabei erhält das Neugeborene eine Atmungsunterstützung mittels continuous positive airway pressure (CPAP; siehe 1.7.5.3 CPAP) und wird mit einer dünnen Sonde endotracheal intubiert. Danach wird Surfactant langsam über zwei bis vier Minuten appliziert und dabei der positiv endexpiratorische Druck (PEEP: engl. positive endexpiratory pressure) und Flow erhöht, um den Rückfluss aus der Trachea zu

reduzieren. Die Sonde wird anschließend wieder entfernt und das Neugeborenen weiter mittels CPAP respiratorisch unterstützt. (12)

Bei gutem Ansprechen führt die Surfactant-Therapie unabhängig vom Applikationsverfahren bereits nach wenigen Minuten zu einer mitunter nachhaltigen Reduktion des Sauerstoffbedarfs. (9)

#### **1.4.1.3 Mekoniumaspirationssyndrom**

Durch eine intrauterine bzw. perinatale Minderversorgung des Feten kann es im Sinne einer Stressreaktion zu einem Mekoniumabgang in utero kommen. Von dieser Problematik besonders betroffen sind reife und übertragene Neugeborene. Aspiriertes Mekonium führt zur mechanischen Verlegung der Atemwege. Dadurch entstehen Atelektasen und/oder überblähte Lungenbezirke, wodurch es neben einer Lungengewebsschädigung zu einer verminderten Ventilation und Perfusion kommt. In weiterer Folge kann daraus eine aseptische chemische Pneumonitis entstehen, aufgrund der veränderten pulmonalen Belüftungs- und Perfusionsverhältnisse können sich zudem intrapulmonale Shunts ausbilden.

An das Absaugen von Mekonium sollte im Rahmen der postnatalen Erstversorgung gedacht werden, wenn es sich um sehr zähflüssiges Mekonium handelt und damit eine Behinderung der Atmung einhergeht. Die Intubation von avitalen Neugeborenen wird bei missfärbigem Fruchtwasser nicht mehr routinemäßig empfohlen und sollte nur bei einer suspizierten Atemwegsverlegung erwogen werden. (6, 9, 13)

#### **1.4.1.4 Pneumonie**

Vorzeitiger Blasensprung und ein mütterliches Amnioninfektionssyndrom sind Risikofaktoren für eine neonatale Pneumonie. Die häufigsten Erreger sind hierbei Streptokokken der Gruppe B und gramnegative Erreger, bei einem längeren stationären Aufenthalt muss auch an Hospitalkeime gedacht werden.

Die neonatale Pneumonie wird auf hämatogenem oder transplazentarem Weg bzw. durch Aspiration von infiziertem Material hervorgerufen und mittels Anamnese, Klinik, Laborchemie und Thorax-Röntgen diagnostiziert. Die Klinik entspricht der eines Atemnotsyndroms mit Tachypnoe, Einziehungen und Zyanose. Im Blutbild finden sich häufig eine Leukozytose und eine Linksverschiebung mit unreifen Vorstufen. Früh im Plasma nachweisbar sind

Interleukine, sie haben deshalb die höchste Sensitivität zu Beginn einer Infektion. Wichtige laborchemische Marker sind außerdem das C-reaktive Protein (CrP), das jedoch erst 12-24 Stunden nach Beginn einer Infektion im Plasma ansteigt. Ein erhöhtes Procalcitonin ist als Akute-Phase-Protein wie das CrP Ausdruck einer Inflammationsreaktion. Entscheidend ist noch vor Therapiebeginn eine Blutkultur zum Keimnachweis und zur Erstellung eines Antibiogramms abzunehmen, um die antibakterielle Therapie im Verlauf optimal auf die Erreger abstimmen zu können. Im Thorax-Röntgen finden sich bei der neonatalen Pneumonie fleckig-streifige Veränderungen im Sinne von pulmonalen Infiltraten, bei B-Streptokokken ähnelt das Bild dem bei hyalinen Membranen.

Neugeborene mit einer neonatalen Pneumonie bedürfen einer möglichst zielgerichteten antiinfektiösen Therapie und bei respiratorischer Instabilität einer (nicht-)invasiven Atmungsunterstützung bzw. Sauerstofftherapie. (6, 9)

#### **1.4.1.5 Pneumothorax**

Bei allen pulmonalen Erkrankungen, angeborenen Fehlbildungen wie Lungenhypoplasie und auch als Folge unsachgemäß durchgeführter Reanimationsmaßnahmen kann als Komplikation ein Pneumothorax entstehen. Bei einem ausgeprägten Pneumothorax kommt es zu einer plötzlich einsetzenden Atemnot mit Entwicklung von Schocksymptomen, gelegentlich kann auch ein Hautemphysem beobachtet werden. Zur Diagnostik zählen die Auskultation, bei der ein abgeschwächtes oder fehlendes Atemgeräusch auffallend ist, das Thorax-Röntgen und die Diaphanoskopie. Als Notfalltherapie vor allem bei einem Spannungspneumothorax ist eine Punktion potentiell lebensrettend. (9)

#### **1.4.1.6 Persistierende fetale Zirkulation (PFC-Syndrom)**

Hiervon sind überwiegend reife oder übertragene Neugeborene betroffen, bei denen durch Hypoxie und/oder Azidose die in der Regel unmittelbar nach der Geburt einsetzende Dilatation der Lungenarterien ausbleibt. Durch den pulmonalen Hypertonus kommt es zur Ausbildung eines Rechts-Links-Shunts über das Foramen ovale, den Ductus arteriosus Botalli und intrapulmonale Shunts. Dadurch entsteht eine zunehmende Sauerstoffuntersättigung des arteriellen Blutes und damit der systemischen Zirkulation. (6)

Diagnostiziert wird dieses Krankheitsbild durch eine prä- und postduktale Sauerstoffsättigungsdifferenz und eine Echokardiographie. (6) Erkennt man in der Echokardiographie eine Druckerhöhung im rechten Herzen und einen Rechts-Links-Shunt über das Foramen ovale bzw. den Ductus arteriosus, ist das Hinweis auf das Vorliegen eines PFC-Syndroms. (14)

Eine suffiziente maschinelle Beatmung zur Sicherstellung einer ausreichenden Oxygenierung ist der entscheidende therapeutische Ansatz. Bei einem ausgeprägten pulmonalen Hypertonus kann eine Beatmung mit Stickstoffmonoxid erforderlich sein. Sind diese Maßnahmen nicht ausreichend, stellt die extrakorporale Membranoxygenierung eine therapeutische Option dar. (6)

## 1.5 Versorgung des Neugeborenen

### 1.5.1 Postnatale Bestimmung des Reifezustandes

Definitionen der Neonatalmedizin	
GA: Gestationsalter	Schwangerschaftsdauer vom 1. Tag der letzten normalen Regelblutung bis zur Geburt des Kindes
Frühgeborenes	< 37. vollendeten Schwangerschaftswoche
Reifes Neugeborenes	Vollendete 37. bis Ende 41. Schwangerschaftswoche
Übertragenes Neugeborenes	> 42 Schwangerschaftswochen
SGA: small for gestational age	Geburtsgewicht < 10. Perzentile
LBW: low birth weight infant	Geburtsgewicht < 2500 g
VLBW: very low birth weight infant	Geburtsgewicht < 1500 g
ELBW: extremely low birth weight infant	Geburtsgewicht < 1000 g

**Tabelle 2: Definitionen der Neonatalmedizin (1)**

Auch bestimmte somatische Zeichen lassen Rückschlüsse auf die Reife des Neugeborenen zu: Körperbehaarung, Ohrmuschelknorpel, Durchmesser der Brustdrüsen, Fingernägel, Testes bzw. Labien und Fußsohlenfalten. Zur Beurteilung der Reife eines Neugeborenen kann der Petrusa-Index verwendet werden. Hierbei erhält ein Neugeborenes für jedes genannte Kriterium maximal zwei Punkte, was der Reife der 40. Schwangerschaftswoche entspricht. (6, 15)

### 1.5.2 Apgar-Score

Das von Virginia Apgar 1952 erarbeitete Schema (16) hat sich zur klinischen Beurteilung des reifen Neugeborenen etabliert. Dabei werden Hautfarbe, Atmung, Herzaktion, Muskeltonus und die Reflexe beim Absaugen jeweils 1, 5 und 10

Minuten nach der Geburt mit einer Punktezahl von null bis zwei Punkten beurteilt. Die maximale Punktezahl beträgt somit 10 Punkte. Der Apgar-Score dient zur Beurteilung der postnatalen Adaptation, jedoch nicht zur Entscheidung über die Notwendigkeit von Reanimationsmaßnahmen.

<b>Apgar-Score</b>			
Kriterium	0	1	2
Hautfarbe	Blau oder weiß	Akrozyanose	Rosig
Atmung	Keine	Langsam, unregelmäßig	Suffizient
Herzaktion	Keine	<100/Minute	>100/Minute
Muskeltonus	Schlaff	Träge Flexion	Aktive Bewegung
Reflexe beim Absaugen	Keine	Grimassieren	Schreien

**Tabelle 3: Apgar-Score (6, 17)**

### 1.5.3 Nabelarterien-pH

Die Bestimmung des Säure-Basen-Status liefert in Ergänzung zum Apgar-Score einen objektiven Befund über den aktuellen Zustand des Neugeborenen. In der Regel werden postnatal der pH-Wert, arterielle Partialdrücke von Sauerstoff (PaO<sub>2</sub>) und Kohlenstoffdioxid, Standardbikarbonat und Basenexzess bestimmt. Durch diese Werte lassen sich Rückschlüsse auf die Sauerstoffversorgung des Neugeborenen ziehen. (1)

<b>Bestimmung des Nabelarterien-pH</b>	
pH-Wert des Nabelarterienblutes	Bewertung
7,30	Normaler pH-Wert
7,20–7,29	Leichte Azidose
7,10–7,19	Mittelgradige Azidose
7,00–7,09	Fortgeschrittene Azidose
< 7,00	Schwere Azidose

**Tabelle 4: Bewertung des Nabelarterien-pH (1)**

## 1.6 Erstversorgung und Reanimation des Neugeborenen gemäß European Resuscitation Council (ERC) - Guidelines 2015

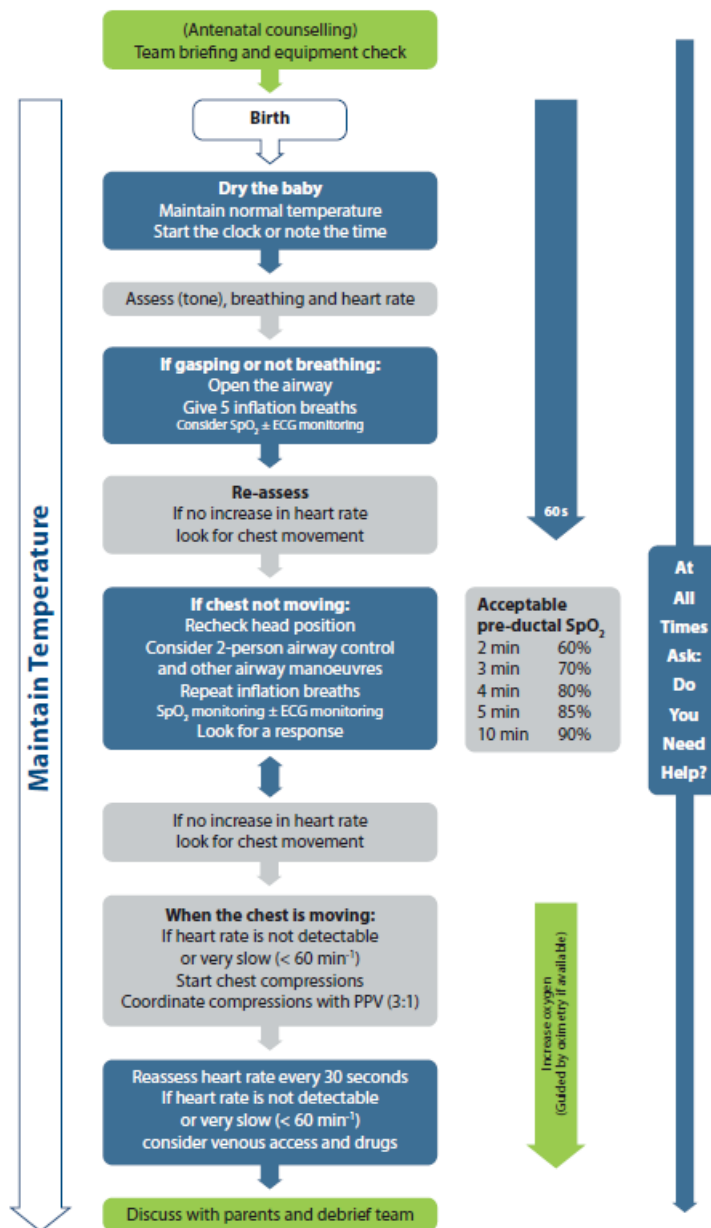


Abbildung 2: Neugeborenenreanimations-Algorithmus (13)

Nur circa 1% aller Neugeborenen benötigen nach der Geburt Reanimationsmaßnahmen. Sind Interventionen erforderlich, bestehen diese zu einem Großteil in der temporären assistierten Belüftung der Lungen mittels nichtinvasiver manueller Überdruckbeatmung. Bei Neugeborenen mit geringem Risiko (problemlose Entbindung nach der 32. Schwangerschaftswoche) waren lediglich in 2 von 1000 Neugeborenen (0,2%) Reanimationsmaßnahmen notwendig. (18)

Bei einem prä- bzw. peripartalen Verdacht bzw. Hinweis auf eine schwerwiegende Beeinträchtigung des Fetus, wie zum Beispiel bei Frühgeborenen vor der 35. Schwangerschaftswoche, Neugeborenen nach Zangengeburt oder bei Mehrlingen, sollte man einen Spezialisten zur Geburt hinzurufen und auf eine Reanimation eingestellt sein. (13, 19, 20)

Die Körpertemperatur von Neugeborenen ohne Asphyxie sollte nach der Geburt zwischen 36,5 und 37,5 Grad Celsius gehalten werden. Bei Frühgeborenen unter der 32. Schwangerschaftswoche können dazu aktive Maßnahmen wie die Verwendung erwärmter Atemgase, erhöhte Raumtemperatur, das Einwickeln des gesamten Körpers in eine Plastikfolie und bzw. oder der Einsatz einer Thermo-Matratze notwendig sein. (13)

### 1.6.1 Initiale Beurteilung

**Atmung:** Zuerst erfolgt die Prüfung, ob das Neugeborene spontan atmet. Danach sollen Atemfrequenz sowie Tiefe und Symmetrie der Atemexkursionen beurteilt werden. Besonders auf Zeichen pathologischer Atemmuster, wie Schnappatmung oder Stöhnen („Knorksen“ / „Raunzen“) sollte geachtet werden.

**Herzfrequenz:** Die beste Methode zur Beurteilung der Herzfrequenz ist die direkte Auskultation über der Herzspitze oder die Verwendung eines Elektrokardiogramms (EKG). Auch das Tasten des Pulses an der Nabelschnur stellt eine – jedoch weniger zuverlässige – Methode zur Beurteilung der Herzfrequenz dar. Des Weiteren kann ein Pulsoxymeter verwendet werden um die Pulsfrequenz anzuzeigen. (21) Studien haben jedoch gezeigt, dass die Werte durch das EKG schneller als durch das Pulsoxymeter angezeigt werden und vor allem in den ersten zwei Minuten zuverlässiger sind. (22)

**Hautkolorit:** Das Hautkolorit ist ein ungeeigneter Parameter, um die Oxygenierung eines Neugeborenen zu beurteilen. Wenn möglich sollte diese mittels Pulsoxymetrie bestimmt werden. Gesunde Neugeborene sind unmittelbar nach der Geburt in der Regel zyanotisch und werden bei effektiver Spontanatmung innerhalb von wenigen Minuten rosig. Eine periphere Zyanose

bzw. Akrozyanose ist generell in den ersten Lebensminuten häufig und selten Zeichen einer Hypoxämie. (13)

**Muskeltonus:** Ein deutlich hypotones („schlaffes“) Neugeborenes ist zumeist auch bewusstlos und benötigt eine Sicherung der Atemwege und respiratorische Unterstützung. (13)

### 1.6.2 Durchführung der Reanimationsmaßnahmen

Nach der ersten klinischen Beurteilung können Neugeborene in drei Gruppen eingeteilt werden:

1. Kräftiges Schreien / suffiziente Atmung, guter Muskeltonus, Herzfrequenz über 100/Minute:

Diese Neugeborenen benötigen keine weiteren Maßnahmen.

2. Insuffiziente Spontanatmung oder Apnoe, normaler bis reduzierter Muskeltonus, Herzfrequenz unter 100/Minute:

Diese Neugeborenen sollen abgetrocknet und in trockene Tücher eingewickelt werden. Danach ist meist eine kurze nichtinvasive manuelle Überdruckbeatmung ausreichend. Kommt es trotz Überdruckbeatmung nicht zu einem adäquaten Anstieg der Herzfrequenz, sind weiterführende Maßnahmen notwendig.

3. Insuffiziente Spontanatmung oder Apnoe, schlaffer Muskeltonus („floppy“), Bradykardie oder nicht nachweisbare Herzfrequenz, oft mit ausgeprägter Blässe als Zeichen einer schlechten Perfusion:

Auch diese Neugeborene sollen zuerst abgetrocknet und in warme Tücher gewickelt werden. Danach müssen die Atemwege unverzüglich geöffnet werden. Die Lungen müssen belüftet und das Neugeborene beatmet werden. Danach können zusätzlich noch Thoraxkompressionen und Medikamentengabe notwendig sein. (13, 19)

**Taktile Stimulation:** Im Allgemeinen ist die Abtrocknung des Neugeborenen eine ausreichende Stimulation zur Anregung einer effektiven Spontanatmung. (13)

**Atemwege:** Das Neugeborene soll in Rückenlage mit dem Kopf in Neutralposition gelagert werden. Bei der Neutralposition ist der Nacken des Neugeborenen weder gebeugt noch überstreckt, das Gesicht blickt direkt nach oben. (23) Zur optimalen Lagerung kann ein zusammengelegtes Tuch unter den Schultern platziert werden. Um die Atemwege eines Neugeborenen mit schlaffem Muskeltonus zu öffnen, kann die Anwendung des Esmarch-Handgriffs oder die Verwendung eines oropharyngealen Tubus (Guedel-Tubus) nützlich sein. Es sollte nur dann oropharyngeal abgesaugt werden, wenn die Atemwege verlegt sind, wie zum Beispiel beim Vorhandensein von zähflüssigem Mekonium. (13)

**Atmung:** Für die Beatmung von Neugeborenen stehen in der postnatalen Erstversorgung generell drei Systeme zur Verfügung: Selbstbefüllende Beatmungsbeutel, luftflussabhängige Anästhesiebeutel und T-Stück-Beatmungssysteme. (13)

Bei reifen Neugeborenen soll die Beatmung mit Raumluft begonnen werden. Auch bei Frühgeborenen sollte möglichst eine Beatmung mit Raumluft angestrebt werden, gegebenenfalls kann aber auch die Beatmung mit einer höheren Sauerstoffkonzentration, je nach klinischem Zustand und der pulsoxymetrisch gemessenen Sauerstoffsättigung, erforderlich sein.

Bei den ersten fünf Beatmungen soll der Inspirationsdruck über jeweils zwei bis drei Sekunden zur Etablierung der funktionellen Residualkapazität aufrechterhalten werden. Für Reifgeborene soll ein maximaler Inspirationsdruck von 30cmH<sub>2</sub>O verwendet werden, für Frühgeborene maximal 20-25cmH<sub>2</sub>O, um pulmonale Barotraumen zu vermeiden.

Das wichtigste Kriterium zur Beurteilung der adäquaten Lungenentfaltung und -belüftung ist ein rascher Anstieg der Herzfrequenz. Wenn es zu keinem Herzfrequenzanstieg kommt sollte überprüft werden, ob sich der Thorax adäquat hebt und senkt. Es kann notwendig sein den Atemweg oder die Beatmungsmaske neu zu positionieren oder den Inspirationsdruck zu erhöhen (siehe 1.7.9 Qualität der Beatmung).

Kommt es unter Überdruckbeatmung trotz eines Anstiegs der Herzfrequenz auf über 100 Schläge pro Minute nicht unmittelbar zum Einsetzen einer suffizienten Spontanatmung, sollte mit einer Frequenz von 30 Beatmungen pro Minute bis zum Einsetzen einer suffizienten Spontanatmung weiter beatmet werden. Die Inspirationszeit soll in diesem Fall bei einer Sekunde liegen.

Die initiale Atmungsunterstützung bei spontan atmenden Frühgeborenen sollte mittels Applikation von CPAP (siehe 1.7.5.3 CPAP) erfolgen und erst in weiterer Folge in Abhängigkeit vom klinischen Zustandsbild und der geplanten weiteren Therapie an eine endotracheale Intubation gedacht werden. (13)

**Herz-Kreislauf-Unterstützung:** Mit Thoraxkompressionen soll begonnen werden, wenn trotz adäquater Ventilation die Herzfrequenz unter 60 Schlägen pro Minute liegt. Bevor mit Thoraxkompressionen begonnen werden darf, muss eine effektive Ventilation der Lungen sichergestellt sein.

Für die optimale Technik sollen zwei Daumen nebeneinander über dem unteren Drittel des Brustbeins platziert und mit den anderen Fingern nach Möglichkeit der gesamte Brustkorb umgriffen werden. Das Brustbein soll um ein Drittel des anterior-posterioren Thoraxdurchmessers komprimiert werden. Thoraxkompressionen und Beatmungen sollen in einem Verhältnis von 3:1 durchgeführt werden. Die Herzfrequenz soll alle 30 Sekunden überprüft werden. Die Thoraxkompressionen sind bis zum Anstieg der Herzfrequenz über 60 Schläge pro Minute fortzuführen. (13)

**Medikamente:** Die Gabe von Medikamenten ist im Rahmen der Reanimation von Neugeborenen selten erforderlich und erfolgt idealerweise über einen Nabelvenenkatheter. Die intraossäre Punktion und Medikamentenapplikation wird von den Reanimationsrichtlinien nicht erwähnt, jedoch gibt es Berichte in der Literatur über die Anwendung als notfallmäßigen Gefäßzugang.

- Adrenalin: Die empfohlene intravenöse Dosierung beträgt initial 10µg/kg Körpergewicht und soll im Falle einer persistierenden Bradykardie trotz 30 Sekunden kardiopulmonaler Reanimation inklusive Thoraxkompressionen verabreicht werden.
- Natriumbikarbonat: Im Rahmen einer kurzen Reanimationsphase ist die Gabe von Natriumbikarbonat nicht empfohlen. Bei einem prolongierten Atem-Kreislauf-Stillstand unter Reanimationsmaßnahmen kann die Gabe von Natriumbikarbonat erwogen werden. Die intravenöse Dosierung beträgt 1-2mmol/kg Körpergewicht. (13)

**Flüssigkeit:** Eine Flüssigkeitsgabe sollte erwogen werden, wenn der Verdacht auf einen Blutverlust besteht, das Neugeborene Zeichen eines Schocks wie Blässe

oder arteriellen Hypotonus aufweist bzw. auf adäquate Reanimationsmaßnahmen nicht anspricht. Es sollen pro Kilogramm Körpergewicht 10ml einer kristalloiden Lösung bzw. Erythrozytenkonzentrat als Bolus verabreicht werden. (13, 19)

## **1.7 Beatmung und Atmungsunterstützung**

Kinder haben eine geringere respiratorische Reserve als Erwachsene und leisten generell eine höhere Atemarbeit aufgrund ihrer engen Atemwege. Eine respiratorische Insuffizienz entwickelt sich daher bei Neugeborenen besonders rasch und es kommt im Rahmen dieser zu einem schnellen Abfall der Sauerstoffsättigung. (7)

### **1.7.1 Anatomische Unterschiede**

Aufgrund der anatomischen Unterschiede zwischen Erwachsenen, Kindern und Neugeborenen können nicht alle Atemwegs- und Beatnungsmaßnahmen in derselben Weise durchgeführt werden.

Der Kopf eines Neugeborenen ist durch ein prominentes Hinterhaupt gekennzeichnet. Dadurch ist der Kopf in einer leichten Flexionsstellung, wenn das Neugeborene flach auf dem Rücken liegt. Die Zunge ist vergleichsweise dick und die Epiglottis lang und dünn. (23)

Der Kehlkopf liegt etwa einen Wirbelkörper höher als beim Erwachsenen und die engste Stelle der Atemwege sind nicht die Stimmritzen, sondern liegt subglottisch im Bereich des Ringknorpels. Die Trachea ist kurz und hat bei einem Neugeborenen eine Länge von etwa vier Zentimetern und einen Durchmesser von vier bis sechs Millimetern. Die Abgänge der Hauptbronchien sind etwa gleichwinklig, weshalb es bei zu tiefer Tubuslage sowohl zu rechts- als auch linksseitiger endobronchialer Intubation kommen kann.

Der Hauptatemmuskel ist das Zwerchfell. Bei Neugeborenen und Säuglingen verlaufen die Rippen horizontal und die Interkostalmuskulatur ist nicht so stark entwickelt, weshalb sie kaum zur Atemexkursion des Thorax beiträgt. Da der knöcherne Thorax sehr elastisch ist gibt er bei forcierten Atemzügen leicht nach. Deshalb kommt es bei Neugeborenen und Kindern mit Atemnot rasch zu paradoxen Atembewegungen (interkostale Einziehungen, „Schaukelatmung“). (24)

## 1.7.2 Statische Lungenvolumina

Atemzugvolumen (AZV): Volumen, dass bei ruhiger Atmung ein- und ausgeatmet wird.

Inspiratorisches Reservevolumen (IRV): Differenz zwischen normaler und maximaler Einatmung, also das Volumen, das man nach normaler Inspiration noch zusätzlich einatmen kann.

Expiratorisches Reservevolumen (ERV): Differenz zwischen normaler und maximaler Expiration, also das Volumen, das man nach normaler Ausatmung noch zusätzlich ausatmen kann.

Vitalkapazität (VC): Dieses Volumen kann nach einer maximalen Einatmung ausgeatmet werden. Es beschreibt somit die größtmögliche Atemexkursion. ( $VC = AZV + IRV + ERV$ )

Residualvolumen (RV): Nicht-mobilisierbares Lungenvolumen, das auch bei maximaler Ausatmung in der Lunge verbleibt.

Funktionelle Residualkapazität (FRC): Dieses Volumen verbleibt bei Atemruhelage in der Lunge.

Totale Lungenkapazität (TLC): Errechnet sich aus Vitalkapazität und dem Residualvolumen und beschreibt das maximale Luftfassungsvermögen der Lunge.

(24)

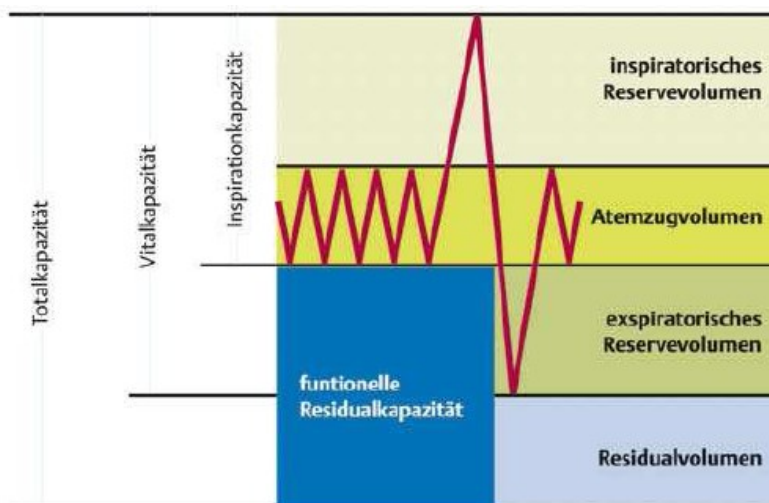


Abbildung 3: Statische Lungenvolumina (24)

### 1.7.3 Beatmungsparameter

Durch Anlegen eines Überdrucks an den Luftwegen wird eine maschinelle Beatmung erreicht (Überdruckbeatmung = PPV: engl. positive pressure ventilation), indem ein Druckgefälle in Richtung Alveolen entsteht. Durch Anlage eines PEEP kann die FRC erhöht werden. Bei der maschinellen Beatmung entstehen somit unphysiologische Druckverhältnisse. Die Expiration ist auch bei maschineller Beatmung ein passiver Vorgang. (24)

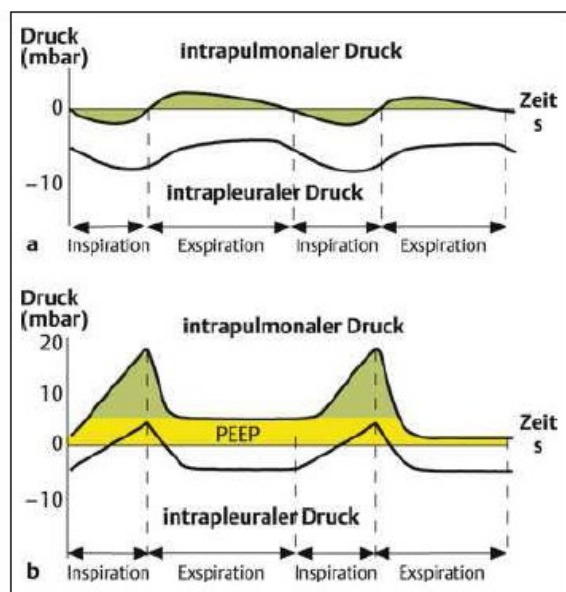


Abbildung 4: Spontanatmung und Beatmung (24)

#### 1.7.3.1 Maschinelle Parameter

Die maschinelle Beatmung des Neugeborenen hat sich an den speziellen physiologischen Besonderheiten zu orientieren.

##### Atemhubvolumen:

Bei druckbegrenzten Beatmungen ist das applizierte Atemhub- oder Tidalvolumen ( $V_T$ ) vom Inspirationsdruck ( $P_{insp}$ ), vom PEEP, von der Inspirationsdauer ( $T_I$ ) und vom Flow sowie von den atemmechanischen Größen Compliance und Resistance abhängig. Unter Resistance versteht man den Atemwegwiderstand, die Dehnbarkeit des respiratorischen Systems wird als Compliance bezeichnet. Bei einer sich verschlechternden Atemmechanik benötigt man einen höheren Inspirationsdruck um das gleiche Atemhubvolumen applizieren zu können.

Sofern die Druckbegrenzung nicht erreicht wird, können aus der Inspirationszeit und dem inspiratorischen Flow das verabreichte Tidalvolumen (unberücksichtigt

dem Leckagevolumen) berechnet werden. Das Tidalvolumen ist allerdings kleiner als errechnet sobald die Drucklimitierung erreicht wird, da Atemgas über die Membran des Expirationsventils entweicht.

Das effektive Atemhubvolumen beträgt beim Neugeborenen etwa 5-7ml/kg Körpergewicht. (24)

### **Inspirationsdruck (P<sub>insp</sub>):**

Die Druckbegrenzung ist bei Neugeborenen besonders wichtig, da die Gefahr der Überdehnung von Alveolarkompartimenten und das Auftreten eines Barotraumas gegeben ist. Der P<sub>insp</sub> (engl. peak inspiratory pressure: PIP) sollte daher bei der maschinellen Beatmung reifer Neugeborener nach Möglichkeit 25mbar nicht überschreiten. Die Einstellung erfolgt anhand klinischer Zeichen wie Thoraxexkursionen, Auskultationsbefund der Lunge, Blutgasanalyse und radiologischer Lungenbelüftung (Transparenz des Lungenparenchyms, Rippen- und Zwerchfellstand). (24)

### **Positiv endexpiratorischer Druck (PEEP):**

Durch einen angelegten PEEP soll verhindert werden, dass die Alveolen am Ende der Expiration kollabieren. Dies führt zusätzlich zu einer Erhöhung der FRC, einer Stabilisierung von Surfactant, einer Abnahme des intrapulmonalen Rechts-Links-Shunts sowie zu einer Erhöhung der Compliance und dadurch zu einer Verbesserung der Oxygenierungssituation. Bei Neugeborenen kommen Werte zwischen 3 und 6mbar zur Anwendung, müssen bei Beatmungsschwierigkeiten mitunter aber bis auf 10 mbar gesteigert werden. (24)

### **Mittlerer Atemwegsdruck (MAP):**

Der MAP kann durch verschiedene Beatmungsparameter bestimmt werden und stellt den gemittelten Druck dar, der auf die Lungen während eines Atemzyklus einwirkt. Angepasst werden kann er durch Veränderung von P<sub>insp</sub>, PEEP, Flow und dem Atemzeitverhältnis. Am effektivsten lässt er sich durch Veränderung des PEEP-Niveaus verbessern.

Erhöht man den MAP kommt es zwar zu einer besseren Ventilation und Oxygenierung, es nehmen aber auch die hämodynamischen Nebenwirkungen zu. Dazu zählen die Erhöhung des intrathorakalen Druckes und damit eine

Verminderung des venösen Rückstroms zum Herzen und die Zunahme des pulmonalen Gefäßwiderstandes. (24)

### Atemgasfluss (Flow):

Der Flow wird in Liter pro Minute angegeben und ist ein Maß für die Strömungsgeschwindigkeit des Atemgases. Bei einem reifen Neugeborenen beträgt der inspiratorische Flow bei Spontanatmung etwa 2-2,5 Liter/Minute. Bei druckkontrollierter Beatmung bestimmt der Flow die Steilheit des Druckanstieges bis zum vorgegebenen Inspirationsdruck. (24)

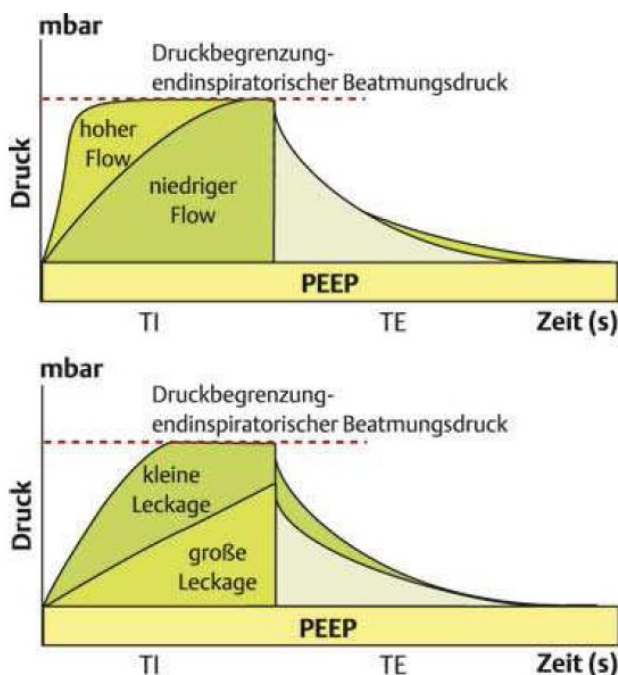


Abbildung 5: Druck-Zeit-Diagramme bei Beatmung (24)

### Inspiratorische Sauerstoffkonzentration (FiO<sub>2</sub>):

Der PaO<sub>2</sub> soll beim Neugeborenen zwischen 60 und 80mmHg liegen. Daher soll auch die FiO<sub>2</sub> so gewählt werden, dass diese Werte zwar erreicht werden, aber nicht zu viel Sauerstoff über längere Zeit verabreicht wird, da er insbesondere bei Frühgeborenen gewebstoxisch wirken kann. Bei Frühgeborenen reichen PaO<sub>2</sub>-Werte von 50-70mmHg aus. Die Sauerstofftoxizität lässt sich durch die Bildung von Sauerstoffradikalen erklären, die bei Früh- und Neugeborenen noch nicht effektiv abgebaut werden können. Diese Radikale wirken sich besonders negativ auf die Gefäßendothelzellen der Retina und die Alveolarzellen Typ 1 der Lunge

aus. Eine „retrolentale Fibroplasie“ kann bei Frühgeborenen insbesondere bei  $\text{PaO}_2$ -Werten, die 100mmHg überschreiten, entstehen. (24)

In den ERC-Guidelines 2015 werden folgende Werte als akzeptable präduktale Sauerstoffsättigungs-Werte ( $\text{SpO}_2$ ) während der Erstversorgung angegeben: 2 Minuten:  $\text{SpO}_2$  60%, 3 Minuten:  $\text{SpO}_2$  70%, 4 Minuten:  $\text{SpO}_2$  80%, 5 Minuten:  $\text{SpO}_2$  85% und 10 Minuten:  $\text{SpO}_2$  90%. (13)

#### 1.7.4 Beatmungsformen

In der konventionellen Beatmung können druck- und volumenkontrollierte Beatmung unterschieden werden.

##### 1.7.4.1 Druckkontrollierte Beatmung

Dabei wird am Respirator ein bestimmter P<sub>insp</sub> eingestellt. In Abbildung 6 zeigt sich, dass der Druck vom unteren Druckniveau (PEEP) rasch ansteigt und auf dem Wert des oberen Druckniveaus über die eingestellte Inspirationszeit hinweg konstant bleibt. Die abhängigen Variablen sind Volumen und Flow. (24, 25)

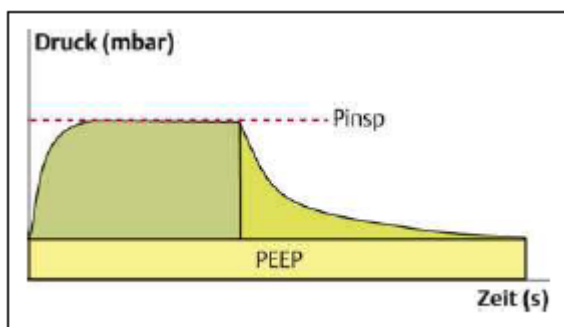


Abbildung 6: Druck-Zeit-Diagramm bei druckkontrollierter Beatmung (24)

##### 1.7.4.2 Volumenkontrollierte Beatmung

Bei vorgegebenen Volumina sind die Höhe und der Verlauf des Atemwegsdrucks in der Inspirationsphase von den atemmechanischen Eigenschaften der Lunge (Resistance und Compliance) abhängig. Bei einem niedrigen Inspirationsflow oder bei kleiner Compliance bzw. hoher Resistance erhält man einen geringeren Druckanstieg. Abhängig ist der Spitzendruck (P<sub>max</sub>) also von vier Faktoren: Compliance, Resistance, Inspirationsflow und Atemhubvolumen. (24, 25)

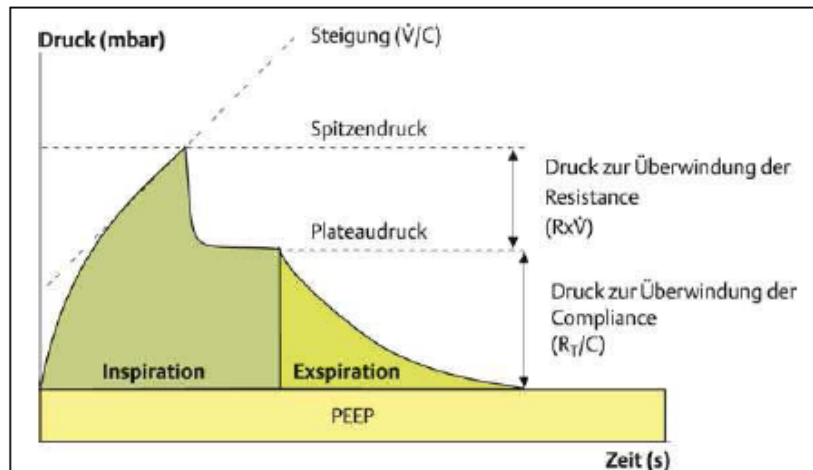


Abbildung 7: Druck-Zeit-Diagramm bei volumenkontrollierter Beatmung (24)

### 1.7.5 Spezielle Beatmungsformen

Es gibt eine Vielzahl von Beatmungsformen, die in der Langzeitbeatmung von intensivpflichtigen Neugeborenen eine wichtige Rolle spielen. Dazu zählen in erster Linie synchronized intermittent mandatory ventilation (SIMV) und pressure support ventilation (PSV). Diese Beatmungsmodi unterscheiden sich darin, dass bei der SIMV-Beatmung ein Erwartungsfenster eingestellt wird, in dem das Neugeborene selbstständig atmen kann – tut es das nicht, wird der Atemhub mit den voreingestellten Parametern durch die Beatmungsmaschine ausgelöst. Bei PSV muss das Neugeborene den Atemhub selbstständig auslösen, jeder Atemhub wird jedoch mit einem voreingestellten Druck unterstützt. SIMV- und PSV-Beatmung können auch miteinander kombiniert werden.

In der postnatalen Erstversorgung kommen hauptsächlich intermittently positive pressure ventilation (IPPV) und CPAP zur Anwendung.

#### 1.7.5.1 IPPV (Intermittent positive pressure ventilation)

Diese unsynchronisierte Beatmungsform ist unabhängig von der Eigenatmung des Patienten bzw. der Patientin und wird über die Spontanatemfrequenz eingestellt. Wird zusätzlich ein PEEP angewandt, sollte man von continuous positive pressure ventilation (CPPV) sprechen. Bei jeder IPPV-Beatmung müssen Beatmungsfrequenz, Inspirationszeit, P<sub>insp</sub> und Inspirationsflow eingestellt werden. (24)

Die manuelle Beatmung mittels Beatmungsbeutel bzw. T-Stück-Beatmungssystem stellt eine nichtinvasive Form der IPPV dar.

### **1.7.5.2 NIPPV (Nasal intermittent positive pressure ventilation)**

Die nasale intermittierende positive Druckbeatmung ist eine einfache und effektive Methode zur Atmungsunterstützung. NIPPV erweitert den kontinuierlichen positiven Atemwegsdruck (CPAP) mit überlagerten Beatmungshüben gemäß einer vordefinierten Frequenz bis zu einem eingestellten Spitzendruck. NIPPV kann mittels einer nasalen Maske oder einer Nasenbrille, wobei die Zinken unterschiedlich lange und in ein oder beide Nasenlöcher reichen können, verabreicht werden. (26)

### **1.7.5.3 CPAP (Continuous positive airway pressure)**

Während der CPAP-Atmungsunterstützung atmet der Patient bzw. die Patientin spontan mit einem kontinuierlichen positiven Atemwegsdruck. CPAP ist also eine Spontanatmung mit additivem PEEP. Für diese Beatmungsform ist es nicht notwendig den Patienten bzw. die Patientin zu intubieren. Vor allem in der Neonatologie werden häufig nasale CPAP-Applikatoren wie Masken oder Prongs-Systeme verwendet. (24, 25)

## **1.7.6 Monitoring**

### **1.7.6.1 Sauerstoffsättigung**

Die Oxymetrie ist ein nichtinvasives, kontinuierliches Messverfahren, das in der Neonatologie als Standardmonitoring verwendet wird. Die arterielle Sauerstoffsättigung gibt Auskunft darüber, wie viel Prozent des vorhandenen Hämoglobins mit Sauerstoff gesättigt ist. Pulsoxymeter messen die Absorption von Licht während Diastole und Systole und errechnen eine Differenz. Sie ist abhängig vom  $\text{PaO}_2$  und beträgt bei lungengesunden Personen 95-100%. Von einer Hypoxämie spricht man, wenn der  $\text{PaO}_2$  vermindert ist.

Postnatal ist es wichtig, den  $\text{SpO}_2$ -Sensor präduktal an der rechten Hand des Neugeborenen anzubringen. Die  $\text{SpO}_2$ -Werte steigen bei unauffälliger postnataler Adaptation in den ersten zehn Lebensminuten auf über 90% an (siehe 1.7.3.1 Maschinelle Parameter – Inspiratorische Sauerstoffkonzentration). Neugeborene, die mittels Sectio caesarea oder vor der 37. Schwangerschaftswoche entbunden werden, haben initial häufiger niedrigere Sauerstoffsättigungswerte und brauchen länger, um altersentsprechende Normwerte zu erreichen. (8, 24, 27, 28)

### **1.7.6.2 Herzfrequenz**

Die kontinuierliche Überwachung der Herzfrequenz gehört in der postnatalen Erstversorgung zum Standardmonitoring. Bestimmt werden kann die Herzfrequenz mittels kardialer Auskultation und spezieller neonataler EKG-Elektroden. Ein Pulsoxymeter zeigt bei guter peripherer Perfusion die Pulsfrequenz an.

Im Rahmen der postnatalen Erstversorgung sollte die Herzfrequenz nicht unter 100 Schlägen pro Minute liegen, da man hierbei von einer Bradykardie spricht. Als allgemeine Normwerte gelten für Neugeborene Werte zwischen 120-160 Schlägen pro Minute. Ein schneller Anstieg der Herzfrequenz direkt nach der Geburt ist der wichtigste Parameter für eine adäquate Adaptation des Neugeborenen. (6, 8, 27, 29)

### **1.7.6.3 Blutdruck**

Der Blutdruck wird durch die Herzfunktion und den systemischen Gefäßwiderstand bestimmt und ist ein wichtiger Indikator für eine ausreichende Zirkulation. Die Messung des Blutdrucks kann nichtinvasiv oder invasiv erfolgen, wobei in der postnatalen Erstversorgung die nichtinvasive oszillatorische Methode schneller und leichter anzuwenden ist.

Zielwerte des mittleren arteriellen Blutdrucks werden bei Frühgeborenen häufig als dem Gestationsalter in Wochen entsprechend und bei reifen Neugeborenen über 40mmHg angegeben. (6, 8, 27, 29, 30)

### **1.7.6.4 Kapnometrie**

Die Kapnometrie ist eine endexpiratorische Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) - Bestimmung, bei der die CO<sub>2</sub>-Messung mittels Infrarotspektroskopie oder kolorimetrischer Methoden erfolgt. Eine Methode ist die Farbindikator-Methode, bei der Lackmuspapier zwischen Tubus und Beatmungsschlauch konnektiert wird und je nach CO<sub>2</sub>-Konzentration eine bestimmte Farbe annimmt. (31)

Mit der Kapnometrie können Ventilation und Hämodynamik gleichzeitig erfasst werden. Des Weiteren kann es als zusätzliche Hilfestellung bei der Beurteilung dienen, ob der Tubus korrekt in der Luftröhre und nicht etwa im Ösophagus platziert wurde. Mittels Kapnometrie kann allerdings nicht zwischen einem inadäquaten VT, einer Atemwegobstruktion oder einem Kreislaufproblem unterschieden werden. Grundsätzlich ist das endtidale CO<sub>2</sub> (etCO<sub>2</sub>) bei

Neugeborenen ähnlich dem  $\text{PaCO}_2$ , man kann dies jedoch nicht restlos auf die postnatale Erstversorgung umlegen, da zu diesem Zeitpunkt die Lungen noch teilweise mit Flüssigkeit gefüllt sind. (8, 23, 24)

#### **1.7.6.4.1 Transkutane $\text{CO}_2$ -Messung**

Die Elektrodentemperatur liegt bei 39-42 Grad Celsius, weshalb diese Elektroden drei- bis vierstündlich gewechselt werden müssen. Ein Korrekturfaktor wird automatisch berücksichtigt, da bei dieser Temperatur der Hautoberflächen- $\text{pCO}_2$  1,37-fach über dem arteriellen  $\text{paCO}_2$  liegt. Der Wert kann bei ausgeprägten Schockzuständen und metabolischer Azidose falsch hoch sein. (32)

#### **1.7.6.5 Nahinfrarotspektroskopie (NIRS)**

Bei der Nahinfrarotspektroskopie handelt es sich um eine nichtinvasive, optische Methode, mit der kontinuierlich die regionale Gewebsoxygenierung und Hämodynamik überwacht werden können. Orte für die Ableitung können zum Beispiel Gehirn- und Muskelgewebe sein. (8, 33) Zur Messung wird kurzwelliges Infrarotlicht verwendet, welches in einem Wellenbereich von 700-1000nm liegt. (34)

Es stellt eine sehr gute Methode dar, um die zerebrale Gewebsoxygenierung von Reif- als auch Frühgeborenen zu untersuchen, da die Anwendung nichtinvasiv und schmerzlos ist. NIRS kann sowohl in der Langzeitmessung als auch in der postnatalen Erstversorgung eingesetzt werden und ermöglicht neben der Quantifizierung der Oxygenierung auch Rückschlüsse auf Blutfluss und Blutvolumen. (35, 36)

In Studien von Pichler et al. (37, 38) konnte die Anwendung von zerebraler NIRS im Rahmen der postnatalen Adaptation bei Früh- und Reifgeborenen gezeigt werden.

#### **1.7.7 Respiratory function monitoring**

Mittels Atemfunktionsmonitoren können Beatmungsparameter gemessen und in Echtzeit wiedergegeben werden. Normalerweise wird der dazu erforderliche Flowsensor zwischen Beatmungsmaske und Beatmungsgerät positioniert. Eine „airway pressure line“ muss angeschlossen werden, um P<sub>insp</sub> und PEEP

anzuzeigen. Die inspiratorischen und expiratorischen Tidalvolumina ( $V_{Ti}$  und  $V_{Te}$ ), die durch den Sensor laufen, werden automatisch errechnet, indem das Flow-Signal miteinbezogen wird.

Atemfunktionsmonitore wie der in dieser Arbeit verwendete Florian (Acutronic Medical Systems, Zug, Schweiz) messen und zeigen laufend folgende Werte an: Flow, VT, P<sub>insp</sub>, PEEP,  $V_{Ti}$ ,  $V_{Te}$ , Beatmungsfrequenz, expiratorisches Minutenvolumen (MVe), Inspirations- und Expirationszeit ( $t_i$ ,  $t_e$ ). (39)

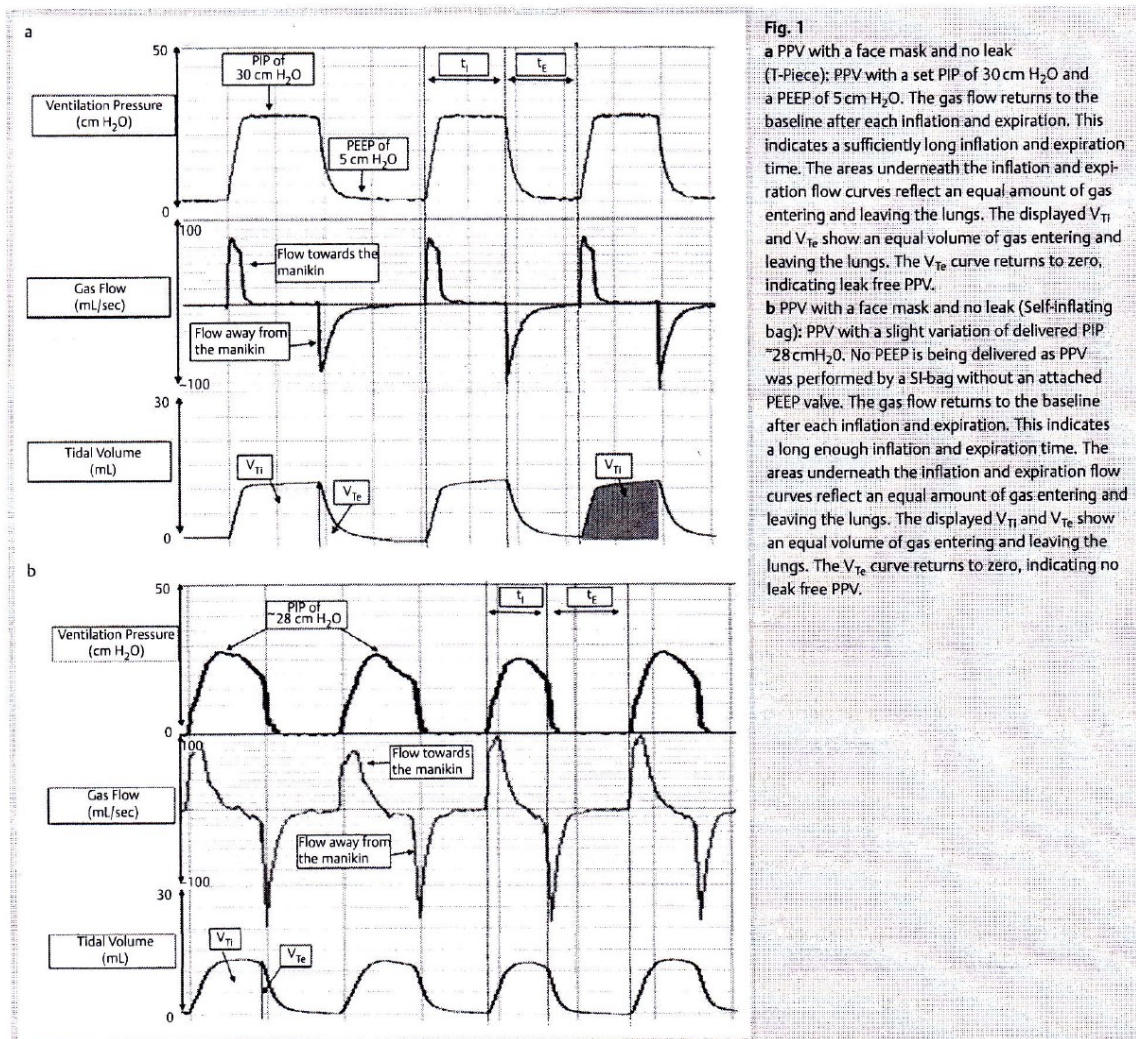
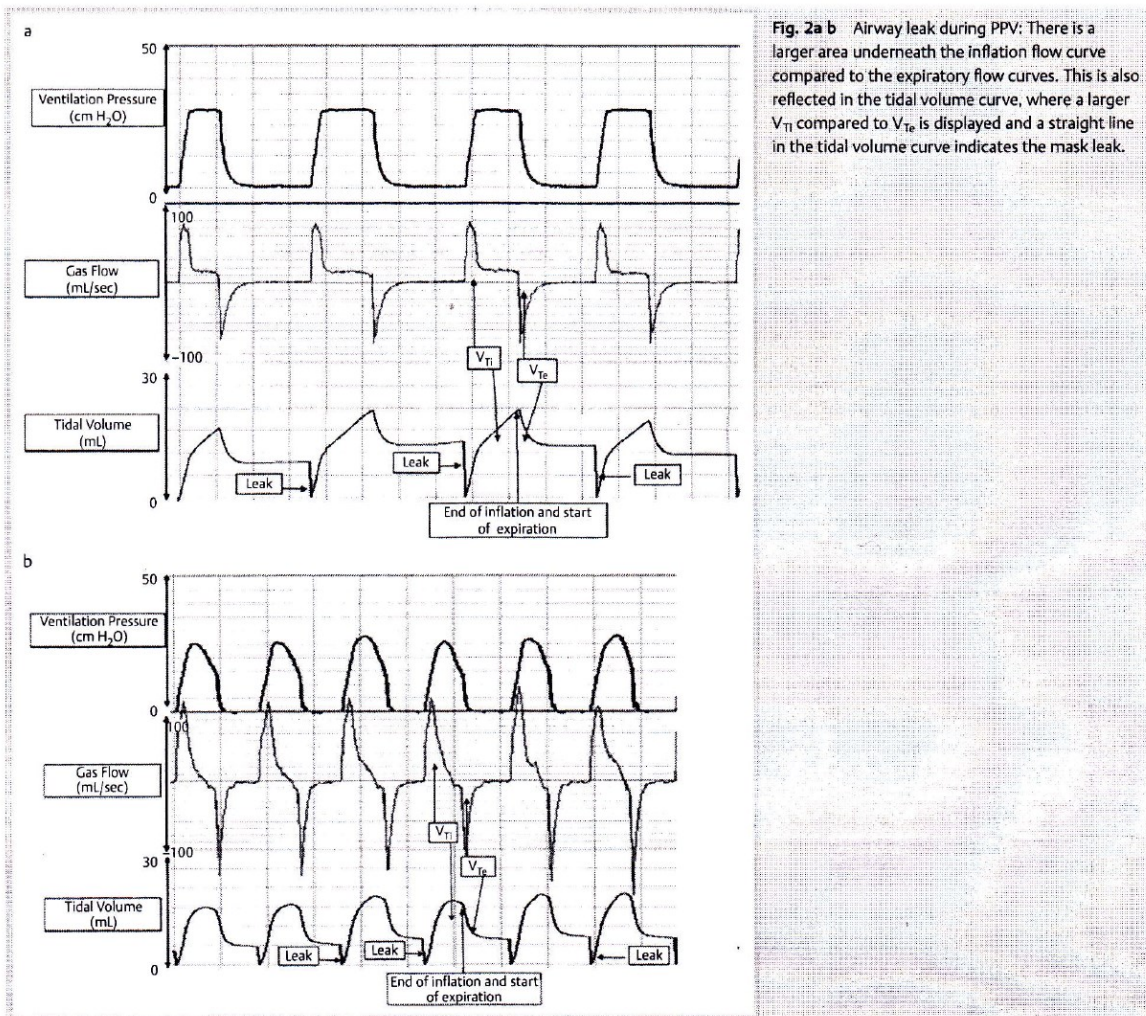


Abbildung 8: Überdruckbeatmung mit T-Stück-Beatmungssystem und Beatmungsbeutel (38)



**Abbildung 9: Leckage während Überdruckbeatmung (38)**

### 1.7.7.1 Leckage

Der Respirator oder Atemfunktionsmonitor misst über einen Flowsensor das inspiratorische und expiratorische Minutenvolumen ( $MVi$  und  $MVe$ ). Die Leckage wird dann als Prozentwert der Differenz der beiden Minutenvolumina angezeigt.

Die Formel dafür lautet:  $[(V_{Ti} - V_{Te})/V_{Ti}] \times 100$ . (24, 39)

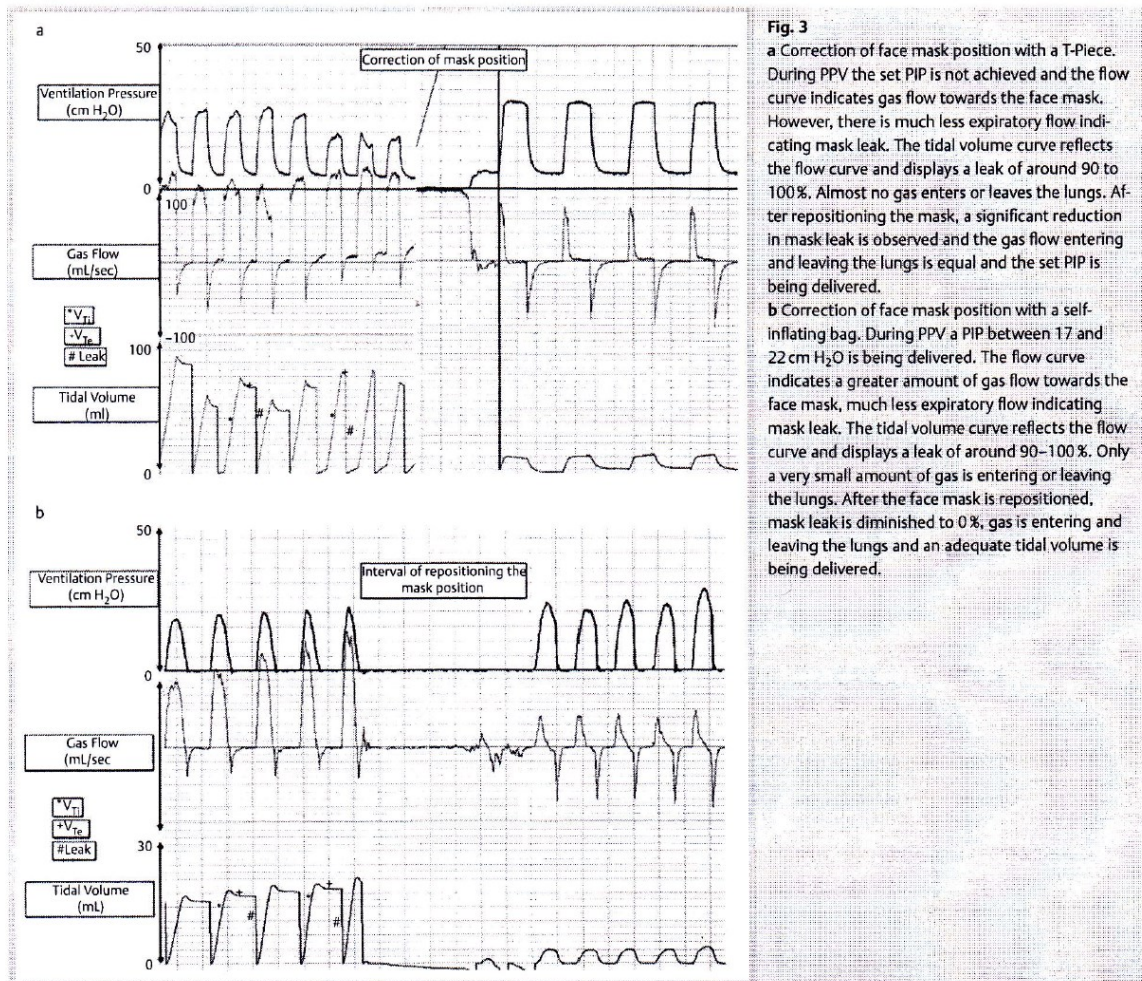


Abbildung 10: Effekt der Korrektur der Maskenposition auf Leckage (38)

## 1.7.8 Technik der Beatmung

### 1.7.8.1 Kopfposition und Atemwege

**Schnüffelposition:** Sie ist definiert als eine Kopfneigung mit Streckung der oberen Anteile der Halswirbelsäule. Um den Kopf eines Neugeborenen in die Schnüffelposition zu bringen kann eine Rolle unter dem Nacken platziert werden, um das große Hinterhaupt zu kompensieren. (14)

**Neutralposition:** Der Nacken ist weder in Flexion noch in Extension, der Blick ist direkt nach oben gerichtet. (23)

**Chin lift:** Dies ist eine der am weitest verbreiteten Möglichkeiten um den Atemweg manuell zu öffnen. Durch das Nachvorneziehen des Kinns kann eine Dorsalverlagerung der Epiglottis gemäß der Schwerkraft verhindert werden.

Während des Manövers wird das Kinn am Unterrand der Mandibula angehoben, bis die untere und obere Zahnreihe in engem Kontakt sind. Dies bedingt eine Erweiterung des Pharynx. (23)

**Jaw thrust (Esmarch-Handgriff):** Bei diesem Handgriff wird der knöcherne Unterkiefer mit ein bis zwei Fingern beider Hände an den Unterkieferwinkeln nach vorne und oben gedrückt. Die Vorteile dieses Manövers sind:

- a) Anheben von Zungengrund und Epiglottis
- b) Aktives Öffnen des Pharynx
- c) Größerer Zug von Zunge und Zungenbeinmuskeln, womit konsekutiv das Zungenbein nach ventral an die Zungenwurzel gezogen wird. (23)

### **1.7.8.2 Beatmungsmaskenarten**

Am weitesten verbreitet sind runde und anatomische, dreiecksförmige Beatmungsmasken. Eine korrekt sitzende Maske soll Nase und Mund bedecken, ohne über das Kinn hinauszureichen und auf die Augen zu drücken. Wird zu viel Druck ausgeübt, kann es zu Quetschungen der Gesichtsteile kommen. (40)

### **1.7.8.3 Positionierung der Beatmungsmaske**

Die Beatmungsmaske kann entweder direkt auf das Gesicht aufgelegt oder vom Kinn aus auf das Gesicht gerollt werden (siehe Abbildung 11). Bei letzterer Methode kommt es zu einer besseren Positionierung der Beatmungsmaske und damit zu einem dichteren Maskenabschluss am Orbitarand. (40, 41)



**Abbildung 11: Aufrolltechnik der Maske (40)**

#### **1.7.8.4 Haltetechnik der Beatmungsmaske**

In der Literatur werden drei verschiedene Methoden beschrieben (siehe Abbildung 12):

1. „Stem hold“: Der Beatmungsmaskenstamm wird dabei zwischen Zeigefinger und Daumen gehalten.
2. „Two-point top hold“: Daumen und Zeigefinger üben einen ausgeglichenen Druck auf die obere Fläche der Beatmungsmaske, dort wo das Silikon am stärksten ist, aus. Der Stamm wird nicht gehalten und die restlichen Finger sollten nicht auf der Beatmungsmaske aufliegen.
3. „OK rim hold“: Daumen und Zeigefinger ergreifen die Beatmungsmaske C-förmig am oberen, flachen Teil. Dies ermöglicht eine gleichmäßige Verteilung des angewandten Druckes auf den äußeren Rand, ohne dabei den Ring zu verformen.

Alle diese Methoden können gemeinsam mit dem Esmarch-Handgriff angewandt werden. (40)



The stem hold



The two-point top hold



The OK rim hold

**Abbildung 12: Maskenhaltetechnik (39)**

### **„Ein-Personen-Maskenbeatmung“:**

Diese Form der Maskenbeatmung ist schwierig, da sie mehrere Manöver gleichzeitig erfordert. Mit einer Hand soll das Kinn angehoben, der Esmarch-Handgriff ausgeführt und die Beatmungsmaske auf das Gesicht gedrückt werden, während mit der zweiten Hand die Beatmung durchgeführt und Beatmungsparameter eingestellt werden. (23)

### **„Zwei-Personen-Maskenbeatmung“:**

Hierbei hält eine Person die Beatmungsmaske am oberen Rahmen an vier gleich weit voneinander entfernten Punkten und übt dabei einen gleichmäßigen Druck aus, während die verbleibenden Finger unter die Mandibula greifen um einen Esmarch-Handgriff durchzuführen (siehe Abbildung 13). Die zweite Person steht an der Seite und führt die Beatmung aus. (42)



Figure 1 Two-handed four-finger rim mask hold caudal view.



Figure 2 Two-handed four-finger rim mask hold side view.

### Abbildung 13: Maskenhaltetechnik 1 Person / 2 Personen (41)

#### 1.7.9 Qualität der Beatmung

Die wichtigste Maßnahme für eine erfolgreiche Neugeborenenreanimation ist eine adäquate nichtinvasive manuelle Überdruckbeatmung. Damit die Beatmung gut und sicher durchgeführt werden kann ist es entscheidend die Beatmungsmaske dicht aufzubringen um ausreichende Tidalvolumina applizieren zu können. (23)

Zahlreiche Faktoren können eine Überdruckbeatmung negativ beeinflussen. Zu diesen zählen durch Sekret, Fremdkörper oder anatomische Strukturen verlegte Atemwege, inadäquate zu einer Leckage oder Atemwegsverlegung führende Beatmungsmaskenposition, spontane oder iatrogen herbeigeführte Bewegungen des Neugeborenen und Bewegungen oder andere Ablenkungen der erstversorgenden Person. (23)

Die Leckage der Beatmungsmaske variiert stark und ist abhängig von der Maskenart, der Technik der Maskenapplikation und der Erfahrung der beatmenden Person. Die durchschnittliche Maskenleckage betrug im Rahmen einer Simulationsstudie mehr als 55%, wobei die Beatmungsmaske am häufigsten zwischen Wange, Nasenrücken und dem Orbitarand undicht war. (40)

Eine Technik um die nichtinvasive manuelle Überdruckbeatmung zu verbessern wird „MR SOPA“ genannt (siehe Tabelle 5). Zuerst sollten dabei die ersten beiden Schritte (M + R) angewandt werden und danach die nächsten zwei Maßnahmen (S + O). Zuletzt sollten die Schritte P und A zur Anwendung gelangen. (43)

Verbesserungsmöglichkeiten		Handlungen
<b>M</b>	Mask adjustment	Dichten Sitz der Beatmungsmaske sicherstellen
<b>R</b>	Reposition airway	Kopf in Schnüffelposition
<b>S</b>	Suction mouth and nose	Kontrolle der Atemwege, Absaugen bei Sekretverlegung
<b>O</b>	Open mouth	Beatmung bei leicht geöffnetem Mund und nach vorne gezogenem Kinn
<b>P</b>	Pressure increase	Erhöhung des Beatmungsdrucks nach einigen Beatmungshüben bis zum Erreichen seitengleicher Thoraxhebung
<b>A</b>	Airway alternative	Endotracheale Intubation oder alternativen Atemweg in Erwägung ziehen

**Tabelle 5: MR SOPA (43)**

### **1.7.9.1 Klinische Beurteilung**

Die zentrale Beurteilung der Effektivität der nichtinvasiven manuellen Überdruckbeatmung erfolgt mittels klinischer Einschätzung. Das entscheidendste Kriterium ist dabei der Anstieg der Herzfrequenz. Auch Thoraxbewegungen und ein Rosigwerden des Hautkolorits sind wichtige klinische Hinweise für eine ausreichende Ventilation der Lungen.

Das Problem hierbei ist, dass die Aussagekraft dieser Parameter erfahrungsabhängig, subjektiv und damit limitiert ist. Es wird daher empfohlen, zur sicheren Beurteilung der Effektivität der manuellen Überdruckbeatmung zusätzlich objektive technische Hilfsmittel wie Pulsoxymeter, EKG, Kapnometrie und Atemfunktionsmonitor zu verwenden. (28, 39, 44)

### **1.7.9.2 Beurteilung mittels Atemfunktionsmonitor**

Ein Atemfunktionsmonitor erlaubt die Unterscheidung, ob es sich um eine undichte Beatmungsmaske oder eine Atemwegsobstruktion handelt. (23)

Ein Atemfunktionsmonitor kann eingesetzt werden:

- a) um die Beatmungsmaskenposition zu optimieren,
- b) um kontinuierlich P<sub>insp</sub> und PEEP zu überwachen,
- c) um den Beatmungsdruck so anzupassen, dass ein ausreichendes VT erreicht wird. (39)

## 2 Material und Methoden

Diese retrospektive Datenanalyse wurde an der Klinischen Abteilung für Neonatologie der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendheilkunde Graz durchgeführt. Der Beobachtungszeitraum reichte von September 2009 bis Jänner 2015. Analysiert wurden Videos von Neugeborenen, die im Rahmen von prospektiven Beobachtungsstudien (EK 25-342 ex 12/13 und EK 23-403 ex 10/11) aufgezeichnet wurden. Zusätzlich zu den Videos wurden Vitalparameter und Beatmungsdaten der eingeschlossenen Neugeborenen mittels Pulsoxymetrie (IntelliVue MP30 Monitor, Philips, Niederlande), NIRS-Monitoring (NIRO 200-NX, Hamamatsu Photonics, Japan bzw. Invos 5100, Somanetics, Vereinigte Staaten von Amerika) und Atemfunktionsmonitor (Florian, Acutronic Medical Systems, Schweiz) aufgezeichnet und in einem polygraphischen System (Alpha-Trace digital MM, BEST Medical Systems, Österreich) gespeichert. Die Daten wurden in anonymisierter Form ausgewertet.

### 2.1 PatientInnenkollektiv

Es handelt sich bei den inkludierten Patienten und Patientinnen um männliche und weibliche Früh- und Reifgeborene, die mittels Sectio caesarea entbunden und anschließend an der Station für Früh- und Neugeborene der Klinischen Abteilung für Neonatologie Graz erstversorgt wurden. Die Eltern stimmten der Teilnahme an einer der prospektiven Beobachtungsstudien nach erfolgter präpartaler Aufklärung mittels einer schriftlichen Einverständniserklärung zu.

Analysiert wurden ausschließlich Neugeborene, die nach der Geburt eine nichtinvasive manuelle Überdruckbeatmung oder Atmungsunterstützung (IPPV / CPAP) benötigten. Alle Neugeborenen wurden mittels T-Stück-Beatmungssystem (Neopuff™ Infant Resuscitator, Fisher & Paykel Healthcare, Auckland, Neuseeland) mit einer runden Silikonmaske (Laerdal, Stavanger, Norwegen) beatmet.

Neugeborene, bei denen eine endotracheale Intubation notwendig war, wurden nicht in die Auswertung miteinbezogen. Ausgeschlossen wurden außerdem alle Neugeborenen, die eine kardiorespiratorische Fehlbildung aufwiesen, und jene mit unzureichender Qualität der Erstversorgungsvideos.

## **2.2 Durchführung**

### **2.2.1 Auswahl der PatientInnen**

Die Identifikation der Patienten und Patientinnen erfolgte durch Durchsicht der Reanimationsdatenbank, in welcher alle an klinischen Studien teilgenommenen Neugeborenen der Klinischen Abteilung für Neonatologie Graz in Form einer Microsoft Excel-Tabelle anonymisiert hinterlegt sind. Über die Rubrik „Beatmung ja/nein“ wurden die für diese Arbeit in Frage kommenden Neugeborenen identifiziert und in der Folge die relevanten Rohdaten und Videos ausgewählt. Die dabei erstellte PatientInnenliste diente als Vorlage für die weitere Evaluierung mittels Videoanalyse.

### **2.2.2 Videoqualität**

Zur adäquaten Videoanalyse bedarf es einer ausreichenden Bildqualität. Deshalb wurden alle Neugeborenen von der Analyse ausgeschlossen, bei denen der kindliche Kopf durch das medizinische Personal verdeckt war oder die Kameraeinstellung nur den Körper zeigte. Zusätzlich wurden unscharf aufgenommene Videos exkludiert.

### **2.2.3 Videoanalyse**

Die Auswertung der Videos erfolgte unter Nutzung von Alpha-Trace auf einem externen offline-Studiencomputer (siehe Abbildung 14). Es wurden jeweils die ersten 15 Minuten der postnatalen Erstversorgung in die Auswertung miteinbezogen.

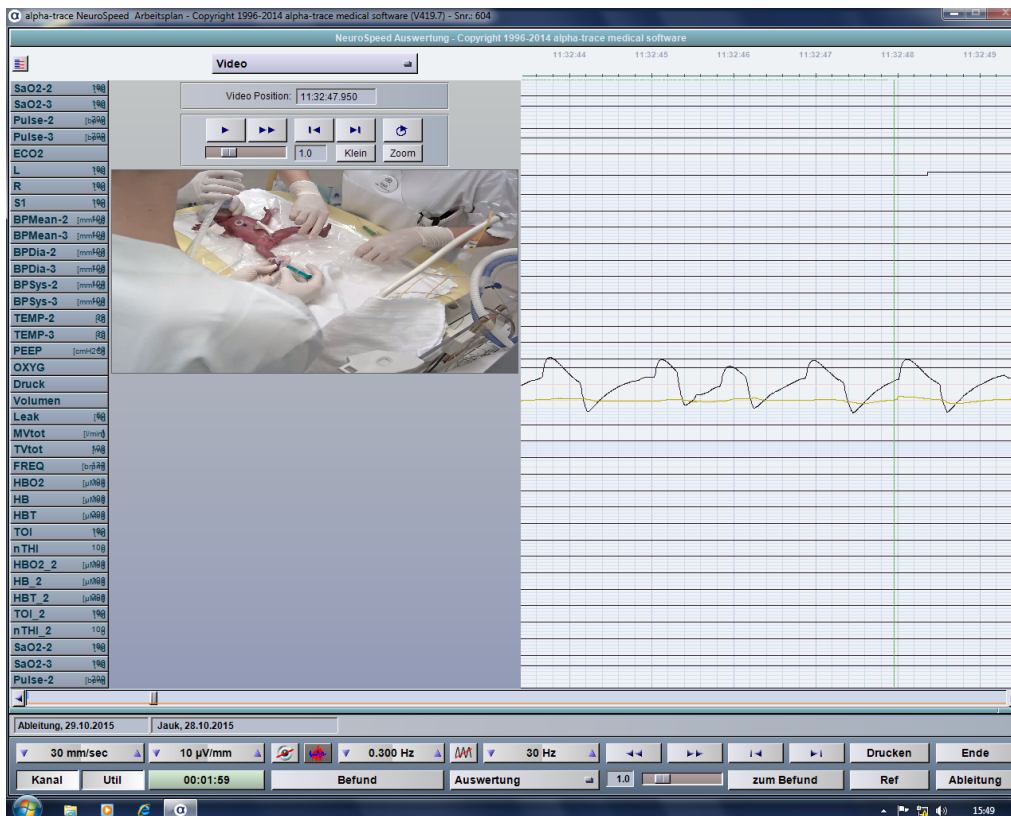


Abbildung 14: Alpha-Trace-Programm

Es wurde unter Verwendung der jeweiligen Zeitstempel handschriftlich mitdokumentiert, welche Maßnahmen im Rahmen der Videos getroffen wurden (siehe Abbildung 15). Es wurde dokumentiert, welche Form der Beatmung bzw. Atmungsunterstützung (IPPV und/oder CPAP) am Neugeborenen angewandt und wie lange diese jeweils ausgeführt wurde. Ein besonderes Augenmerk wurde auf jene Maßnahmen, die der Verbesserung der Beatmungssituation dienen, gelegt.

Rea 464:

4,04 CPAP	4,41 Absaugen
5,48 IPPV	6,10 CPAP
6,25 IPPV	6,30 CPAP
6,40 Absaugen	7,00 IPPV
8,08 Repos	8,30 Repos
8,40 Absaugen	8,45 CPAP →

Abbildung 15: Handschriftliche Aufzeichnung

Weiters wurden die in Alpha-Trace integriert in den ersten 15 Lebensminuten aufgezeichneten Vitalparameter und die Leckage der Beatmungsmaske (siehe 2.3 Datenerhebung und Datenanalyse) bei einer Subgruppe der inkludierten Patienten und Patientinnen erhoben und analysiert. Miteingeschlossen wurde dabei Früh-

und Reifgeborene, bei denen vor und nach der ersten Maßnahme zur Beatmungsoptimierung Vitalparameter- und Leckage-Aufzeichnungen vollständig über jeweils 60 Sekunden als Mittelwert vorhanden waren. Es wurden dabei alle Arten von Maßnahmen zur Optimierung der Beatmungssituation miteinbezogen.

### **2.3 Datenerhebung und Datenanalyse**

Die handschriftlich gesammelten Daten wurden in Microsoft Excel erfasst und um demographische bzw. klinische Daten ergänzt.

Zu diesen Daten gehörten:

- Präpartale Parameter:
  - Schwangerschaftsrisiken / Anamnese der Mutter
  - Gestationsalter in Wochen
  - Geburtsmodus / Anästhesiemodus
- Postnatale Parameter:
  - Geschlecht
  - Gewicht / Länge / Kopfumfang
- Klinische Parameter:
  - Apgar 1/5/10
  - NapH
  - NvpH

Die Daten wurden aus dem Patientenverwaltungsprogramm MEDOCS und aus den vorliegenden geburtshilflichen Protokollen erhoben.

Folgende Daten wurden aus den analysierten Videos erhoben:

- Beatmung bzw. Atmungsunterstützung
  - IPPV / CPAP erforderlich [ja/nein]
  - Gesamtzeit IPPV/CPAP [Minuten]
  - Anzahl der Wechsel zwischen IPPV/CPAP [n]
  - Initiale Beatmungsmaskenführung [eine Hand vs. zwei Hände]
- Maßnahmen
  - Maßnahme(-n) zur Optimierung der Beatmungssituation durchgeführt [ja/nein]

- Anzahl der Maßnahmen [n]
- Art der Maßnahmen: Beatmungsmaskenrepositionierung / Absaugen / 1 Hand - 2 Hände-Wechsel / Beatmung durch zweite Person / Beatmungsmaskenwechsel / Änderung der Kopfposition
- Oropharyngeales Absaugen vor der initialen Beatmung bzw. Atmungsunterstützung
- Vitalparameter und Beatmungsmaskenleckage
  - Sauerstoffsättigung (SpO<sub>2</sub>) [%]
  - Herzfrequenz [Schläge/Minute]
  - Zerebrale Oxygenierung (zerebraler Gewebsoxygenierungsindex bzw. regionale zerebrale Oxygenierung) [%]
  - Leckage der Beatmungsmaske [%]

### **2.3.1 Maßnahmen zur Optimierung der Beatmungssituation**

Eine Maßnahme wurde als erfolgt gewertet sofern:

- Beatmungsmaskenrepositionierung: die Maske komplett vom Kopf des Neugeborenen abgehoben wurde.
- Absaugen: ein oropharyngeales Absaugmanöver durchgeführt wurde.
- 1 Hand – 2 Hände-Wechsel: Von einer einhändigen Haltetechnik auf eine Haltetechnik mit zwei Händen gewechselt wurde oder umgekehrt.
- Zweite Person: Die Beatmung an eine andere Person übergeben wurde.
- Beatmungsmaskenwechsel: Auf eine andere Beatmungsmaskengröße oder -art gewechselt wurde.
- Kopfposition: Die Kopfposition eindeutig und gewollt verändert wurde.

### **2.3.2 Statistische Auswertung**

Die statistische Auswertung wurde mit Microsoft Excel und IBM SPSS Statistics Version 20 (Armonk, New York, Vereinigte Staaten von Amerika) durchgeführt. Die Daten wurden mittels Shapiro-Wilk-Test auf ihre Normalverteilung überprüft. Alle nicht normalverteilten Daten wurden als Median (Range) angegeben, alle normalverteilten Daten sind als Mittelwert ± eine Standardabweichung angeführt. Für alle statistischen Verfahren wurde eine statistische Signifikanz bei einem  $p < 0.05$  angenommen. Unterschiedsberechnungen zwischen Gruppen wurden in

Abhängigkeit von der Verteilung der Daten unter Verwendung von t-Test und Wilcoxon-Rangsummentest durchgeführt.

### 3 Ergebnisse

An der Universitätsklinik für Gynäkologie und Geburtshilfe Graz wurden im Zeitraum von 1. September 2009 bis 31. Jänner 2015 16706 Kinder geboren. Insgesamt standen für diesen Zeitraum in der Datenbank der Klinischen Abteilung für Neonatologie Graz 653 Videos zur Verfügung, wobei bei 143/653 Früh- und Reifgeborenen (21,9%) eine Beatmung bzw. Atmungsunterstützung notwendig wurde. Aufgrund mangelhafter Bildqualität konnten neun/143 Videos (6,3%) nicht in die Auswertung miteinbezogen werden. In 105/143 Videos (73,4%) wurden Maßnahmen zur Optimierung der Beatmungssituation gesetzt.

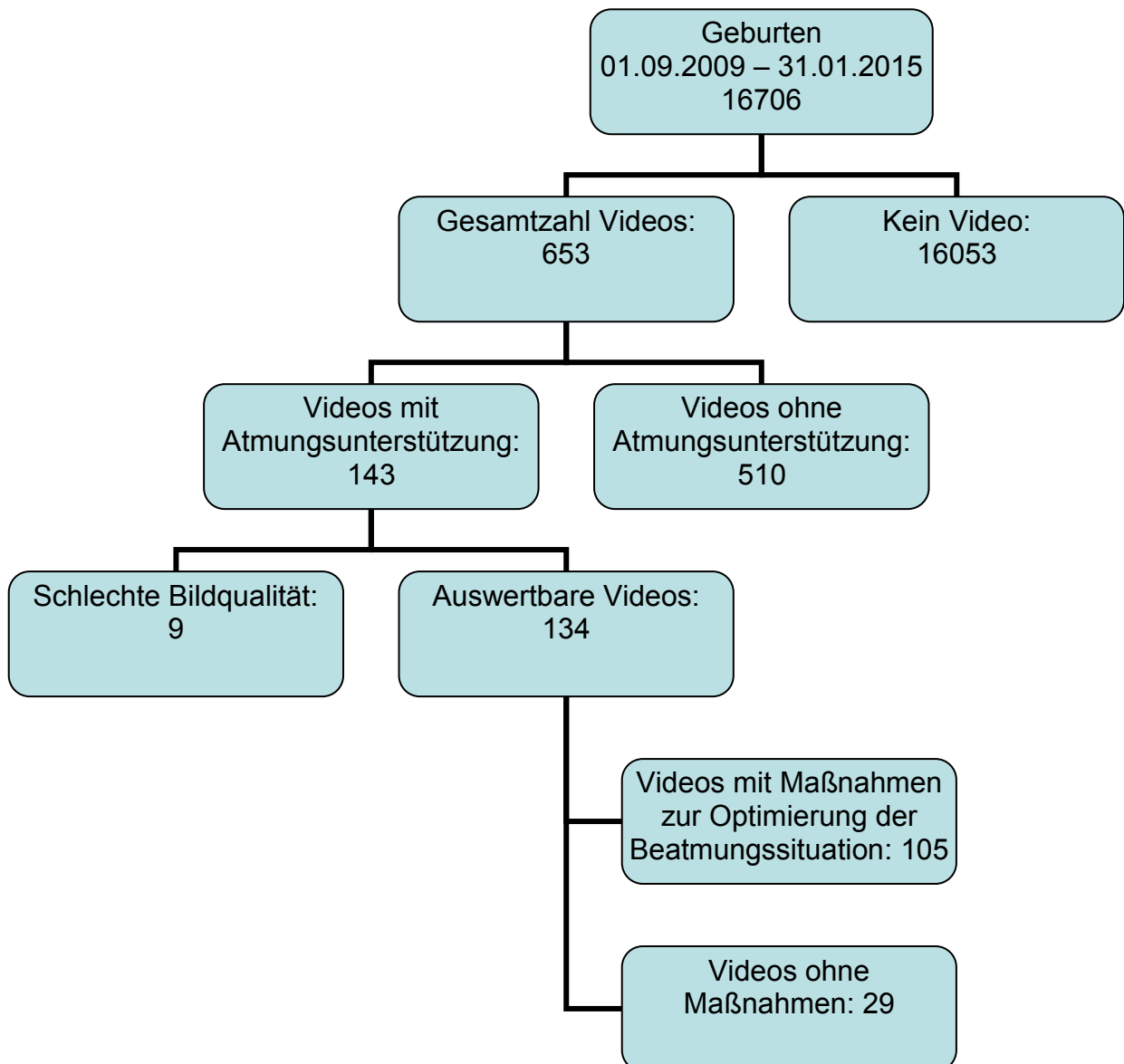


Abbildung 16: Übersicht PatientInnenfluss

### **3.1 Neugeborene mit nichtinvasiver Beatmung bzw. Atmungsunterstützung**

#### **3.1.1 Demographische Daten**

In Tabelle 6 sind die demographischen Daten jener 134 Früh- und Reifgeborenen, deren Videos auswertbar waren, zusammengefasst.

	Median	Minimum	Maximum
Gestationsalter	35,7	28,8	40,6
Geburtsgewicht	2580	466	4670
Länge	48	29	56
Kopfumfang	33,5	22,5	38,5
Apgar 1	8	4	9
Apgar 5	9	6	10
Apgar 10	9	8	10
Nabelschnur-pH arteriell	7,3	7,08	7,40
Nabelschnur-pH venös	7,34	7,18	7,49

**Tabelle 6: Demographische Daten der inkludierten Neugeborenen**

Der Median des Gestationsalters lag bei 35,7 Schwangerschaftswochen, wobei das jüngste Neugeborene mit einem Gestationsalter von 28,8 und das älteste mit einem Gestationsalter von 40,6 Schwangerschaftswochen zur Welt kam.

Das Geburtsgewicht reichte von 466 bis 4670 Gramm bei einem Median von 2580 Gramm.

Die medianen Apgar-Werte in den Minuten 1, 5 und 10 betragen 8 (4-9), 9 (6-10) und 9 (8-10).

Die arteriellen und venösen Nabelschnur-pH-Werte betragen im Median 7,3 (7,08-7,40) und 7,34 (7,18-7,49).

Unter den 134 in die Auswertung inkludierten Neugeborenen befanden sich 74 weibliche (55,2%) und 60 männliche (44,8%) Neugeborene (siehe Abbildung 17).

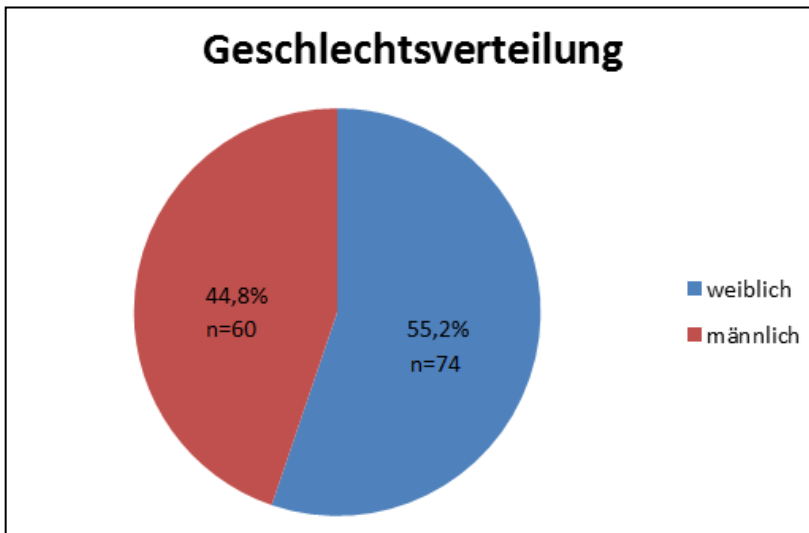


Abbildung 17: Geschlechtsverteilung der inkludierten Neugeborenen

### 3.1.2 Narkoseführung

Die Entbindung aller eingeschlossenen Neugeborenen erfolgte mittels Sectio caesarea an der Universitätsklinik für Gynäkologie und Geburtshilfe Graz. In 85,1% der Fälle (n=114/134) wurden diese mittels Spinalanästhesie und in 14,9% (n=20/134) in Allgemeinnarkose durchgeführt (siehe Abbildung 18).

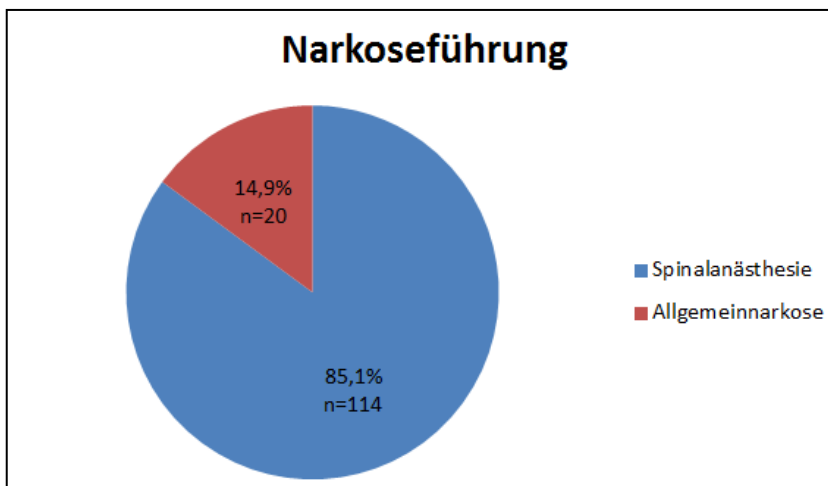


Abbildung 18: Narkoseführung der inkludierten Neugeborenen

### 3.1.3 Beatmung und Atmungsunterstützung

Insgesamt standen 653 Videos zur Auswertung zur Verfügung. Bei 21,9% aller Neugeborenen (n=143/653) waren eine Überdruckbeatmung und/oder atmungsunterstützende Maßnahmen in der postnatalen Erstversorgung erforderlich.

#### 3.1.3.1 Initiales oropharyngeales Absaugen

Bei 27/134 Neugeborenen (20,1%) wurde vor dem Beginn der Überdruckbeatmung bzw. der CPAP-Atmungsunterstützung ein oropharyngeales Absaugmanöver durchgeführt (siehe Abbildung 19).

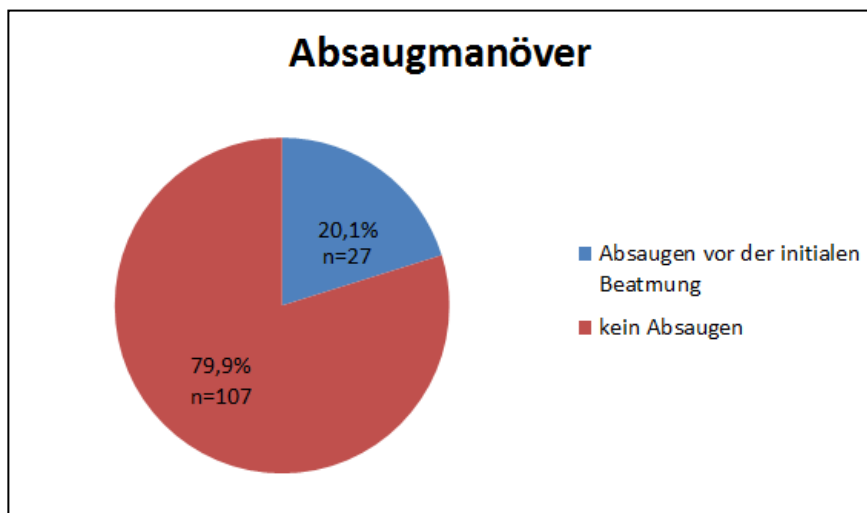


Abbildung 19: Absaugmanöver vor der initialen Beatmung bzw. Atmungsunterstützung

#### 3.1.3.2 Beatmungsformen

Im Rahmen der 134 analysierten Videos wurde in 46,3% der Fälle (n=62/134) eine nichtinvasive manuelle Überdruckbeatmung durchgeführt (siehe Abbildung 20). Bei 53,7% der Neugeborenen (n=72/134) wurde eine reine CPAP-Atmungsunterstützung appliziert.

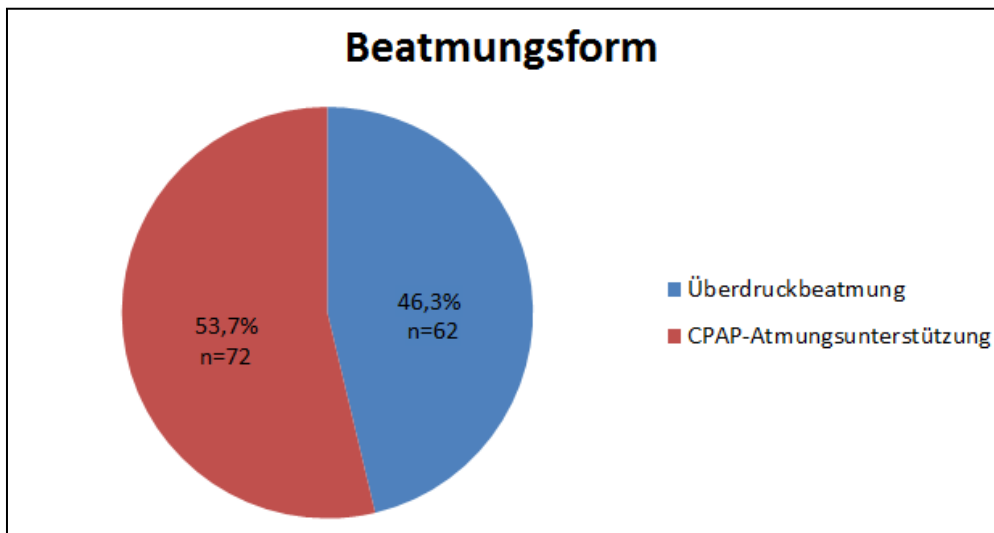


Abbildung 20: Beatmungsformen

### 3.1.3.3 Beatmungszeiten

Zur Auswertung wurden insgesamt 134\*15 Minuten = 2010 Minuten an Videomaterial herangezogen. Davon wurden über eine Gesamtdauer von 1028,5 Minuten (51,2%) eine Überdruckbeatmung oder Atmungsunterstützung ausgeführt, wobei 87,2% dieser Zeit (896,6 Minuten) auf CPAP-Atmungsunterstützung und 12,8% (131,9 Minuten) auf Überdruckbeatmung entfielen (siehe Abbildung 21).

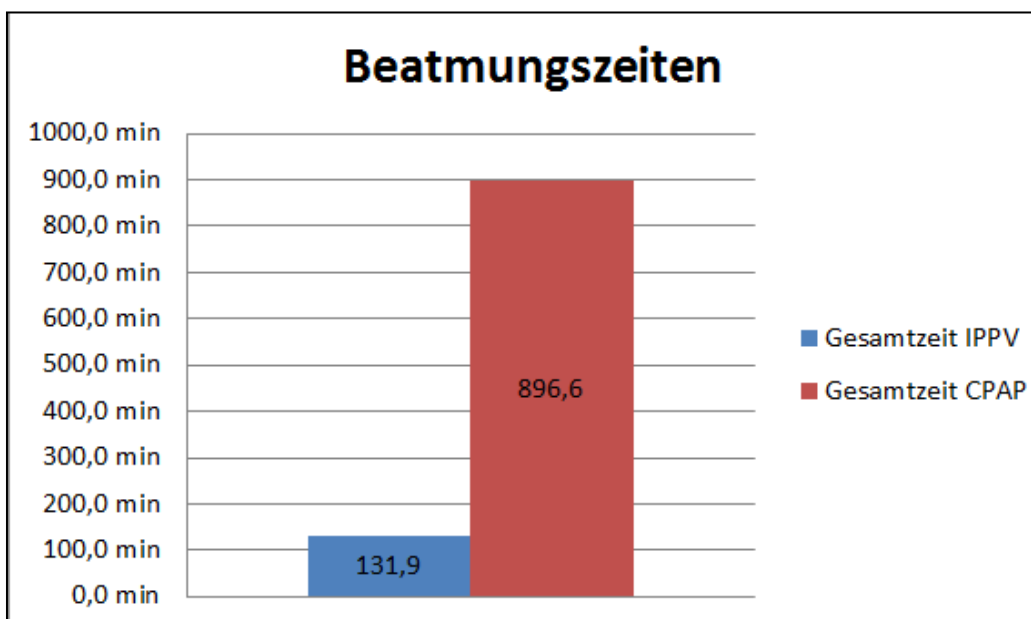


Abbildung 21: Beatmungszeiten

### 3.1.3.4 Wechsel der Beatmungsform

Bei 52,2% der Neugeborenen (n=70/134) wurde die primär gewählte Beatmungsform während der gesamten Versorgung beibehalten. In den weiteren 64/134 Fällen (47,8%) wurden im Median null Wechsel (0-11) zwischen Überdruckbeatmung und CPAP-Atmungsunterstützung vorgenommen (siehe Abbildung 22).

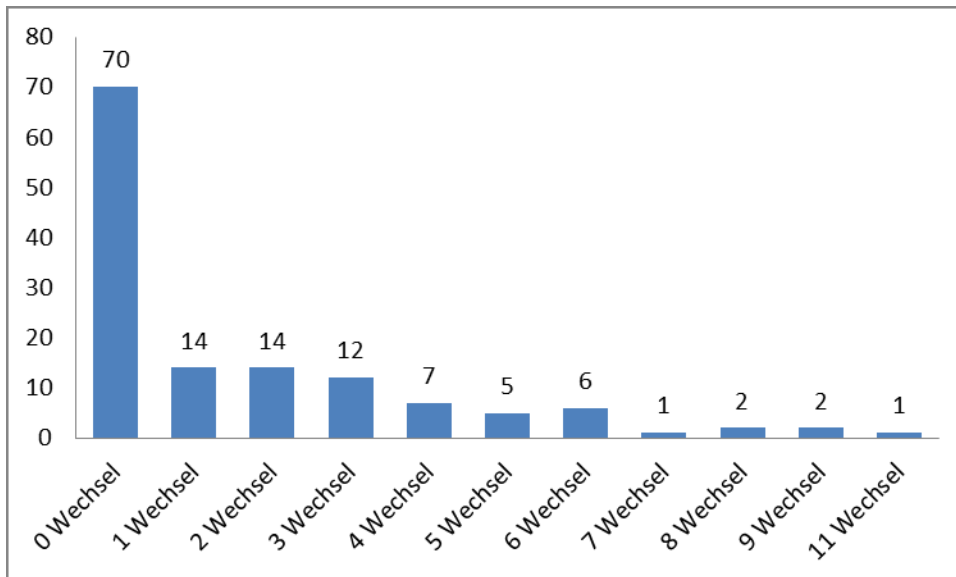


Abbildung 22: Wechsel der Beatmungsform

### 3.1.3.5 Initiale Beatmungsmaskenführung

Bei 74/134 Erstversorgungen (55,2%) wurde die Beatmungsmaske primär mit einer Hand gehalten, während in 44,8% (n=60/134) initial eine Beatmungsmaskenführung mit zwei Händen bevorzugt wurde (siehe Abbildung 23).

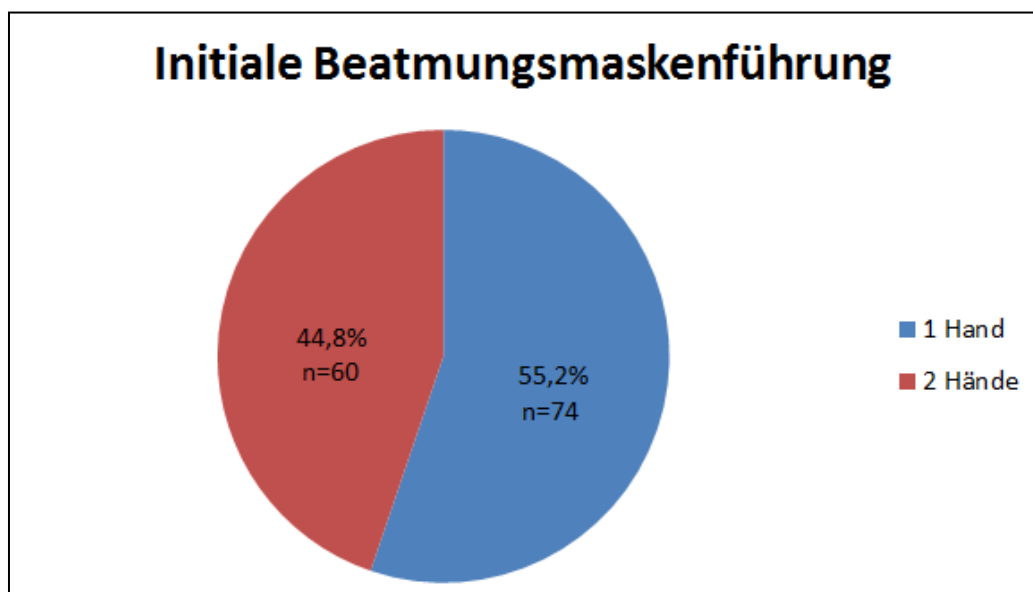


Abbildung 23: Initiale Beatmungsmaskenführung

### 3.1.3.6 Maßnahmen zur Optimierung der Beatmungssituation

Im Rahmen der 134 analysierten Videos wurde bei 105/134 Neugeborenen (78,4%) zumindest eine Maßnahme zur Optimierung der Beatmungssituation gesetzt. Bei 29/134 Neugeborenen (21,6%) wurde keine Maßnahme zur Verbesserung der Beatmungssituation durchgeführt (siehe Abbildung 24).

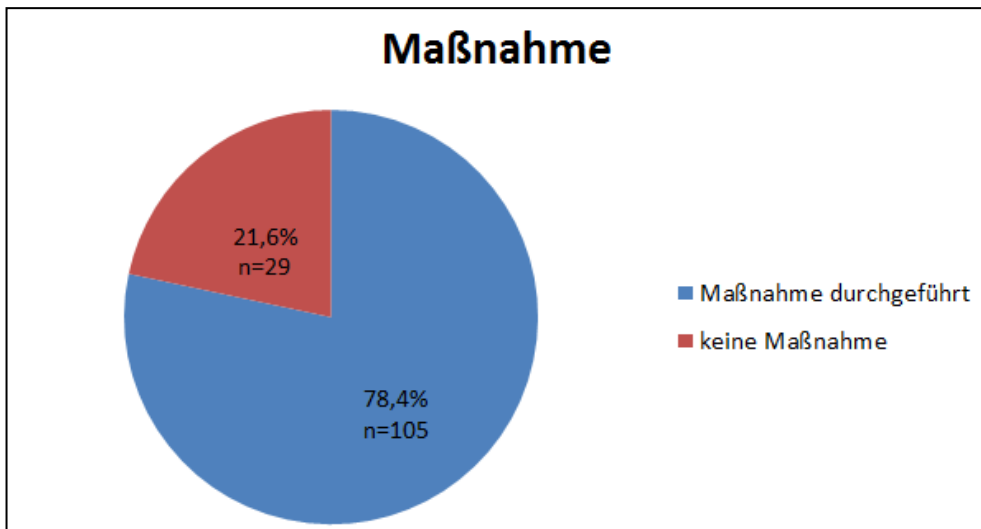


Abbildung 24: Maßnahmen zur Optimierung der Beatmungssituation

#### 3.1.3.6.1 Anzahl der Maßnahmen

Bei den 134 Neugeborenen wurden im Median zwei Maßnahmen (0-22) zur Optimierung der Beatmungssituation gesetzt (siehe Abbildung 25).

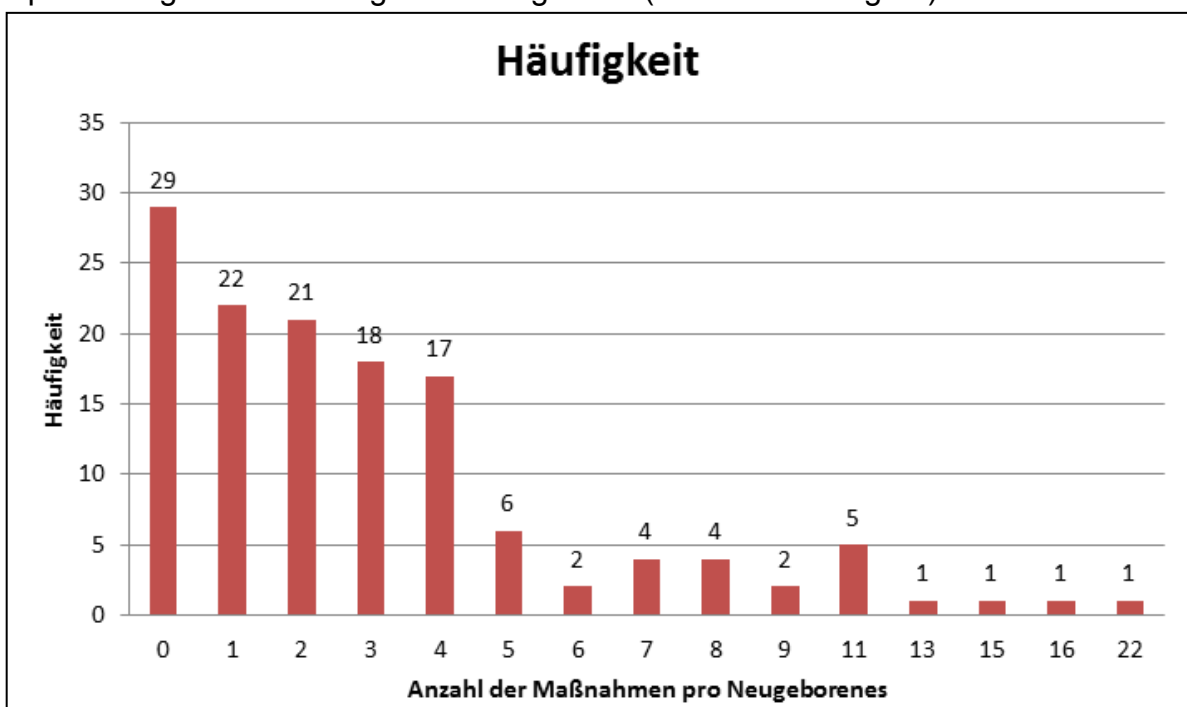


Abbildung 25: Anzahl der Maßnahmen zur Optimierung der Beatmungssituation

### 3.1.3.6.2 Art der Maßnahmen

Bei 105 Neugeborenen wurden insgesamt 427 Maßnahmen zur Optimierung der Beatmungssituation getätigt. Sechs verschiedene Maßnahmen kamen im Rahmen der postnatalen Erstversorgung zum Einsatz (siehe Abbildung 26). Am häufigsten angewandt wurden die Maskenrepositionierung (n=243/427, 56,9%), gefolgt vom oropharyngealen Absaugen (n=111/427, 26,0%), dem Wechsel zwischen ein- und beidhändiger Beatmungsmaskenführung (n=33/427, 7,7%) und der Übernahme der Beatmung bzw. Atmungsunterstützung durch eine zweite Person (n=26/427, 6,1%). In zehn Fällen (2,3%) wurde eine andere Maske eingesetzt und in vier Fällen (0,9%) die Kopfposition eindeutig verändert.

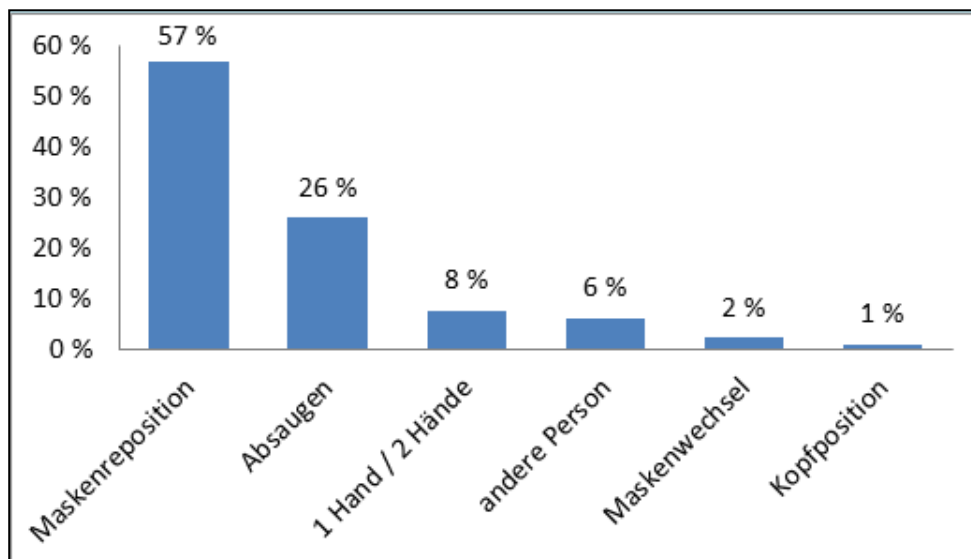


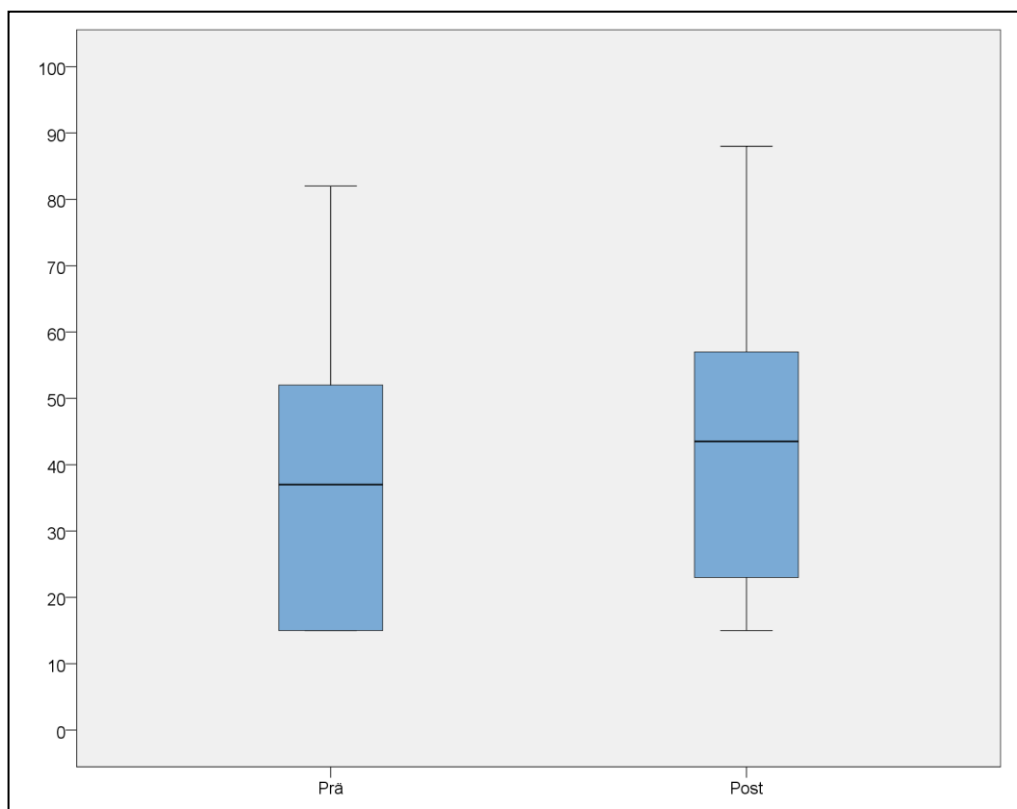
Abbildung 26: Art der Maßnahmen zur Optimierung der Beatmungssituation

### 3.2 Vitalparameter und Beatmungsmaskenleckage

Vollständige Daten von Herzfrequenz und SpO<sub>2</sub> vor und nach der ersten gesetzten Maßnahme zur Optimierung der Beatmungssituation lagen von 43 bzw. 37 Neugeborenen vor. Die durchschnittliche Herzfrequenz betrug vor der ersten Maßnahme  $133,5 \pm 34,9$  und danach  $139,5 \pm 21,6$  Schläge pro Minute ( $p=0,279$ ). Die SpO<sub>2</sub> betrug durchschnittlich  $72,0 \pm 16,2\%$  vor und  $74,3 \pm 16,0\%$  nach der ersten durchgeführten Maßnahme ( $p=0,156$ ).

Daten zur zerebralen Gewebsoxygenierung lagen von 30 Neugeborenen vor, wovon 13 Früh- und 17 Reifgeborene waren. Bei der zerebralen Gewebsoxygenierung zeigte sich zwischen den Werten vor und nach der ersten Maßnahme eine statistische signifikante Zunahme ( $37,3 \pm 22,0\%$  versus  $45,4 \pm 21,5\%$ ;  $p=0,001$ ; siehe Abbildung 27).

Bei den 25 vollständigen Datensätzen zur durchschnittlichen Leckage der Beatmungsmaske (23 Früh- und 2 Reifgeborene) betrug diese im Mittel vor der ersten Maßnahme  $45,2 \pm 36,1\%$  und danach  $36,7 \pm 26,2\%$  ( $p=0,267$ ).



**Abbildung 27: Zerebrale Gewebsoxygenierung vor und nach der ersten beatmungsoptimierenden Maßnahme**

### 3.3 Neugeborene mit nichtinvasiver Beatmung bzw. Atmungsunterstützung: Unterschiede zwischen Früh- und Reifgeborenen

Von den 134 Neugeborenen waren 76 Frühgeborene (56,7%) und 58 Reifgeborene (43,3%; siehe Abbildung 28). Demographische Daten der inkludierten Früh- und Reifgeborenen sind in Tabelle 7 zusammengefasst.

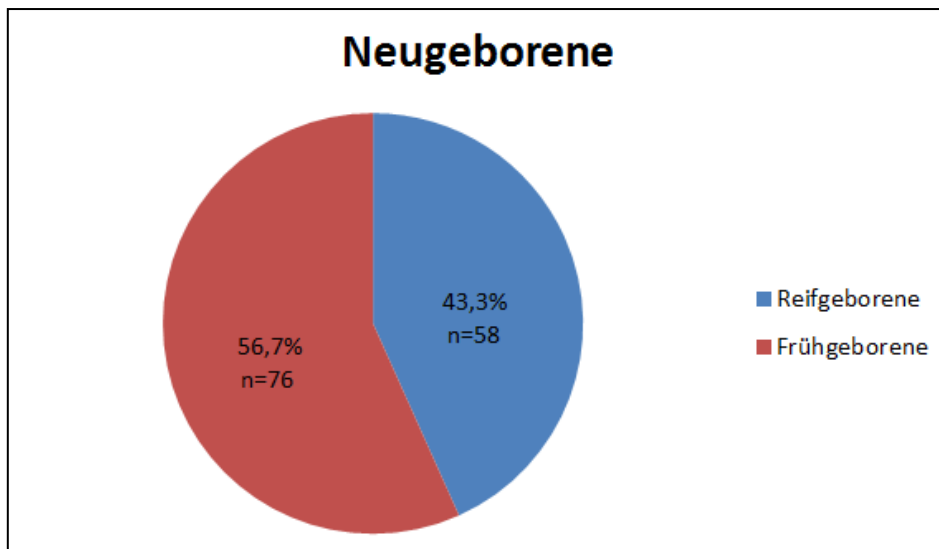


Abbildung 28: Verteilung Früh- und Reifgeborene

	<b>Reifgeborene</b> Median (Minimum-Maximum)	<b>Frühgeborene</b> Median (Minimum-Maximum)
Gestationsalter	39 (37-40,6)	33 (28,6-36,8)
Geburtsgewicht [g]	3330 (2524-4670)	1810 (466-3970)
Länge [cm]	50 (47-56)	43 (29-54)
Kopfumfang	35 (33-38,5)	30,5 (23-36)
Apgar 1	9 (5-9)	8 (4-9)
Apgar 5	9 (6-10)	9 (7-10)
Apgar 10	10 (8-10)	9 (8-10)
Nabelschnur pH arteriell	7,28 (7,08-7,39)	7,30 (7,22-7,40)
Nabelschnur pH venös	7,35 (7,18-7,46)	7,34 (7,26-7,49)

Tabelle 7: Demografische Daten Früh- und Reifgeborene: Median (Minimum bis Maximum)

### 3.3.1 Initiales oropharyngeales Absaugen

Bei Reifgeborenen wurde in 12,1% der Fälle (n=7/58) und bei Frühgeborenen in 26,3% der Fälle (n=20/76) ein oropharyngeales Absaugmanöver vor der ersten Beatmung bzw. Atmungsunterstützung durchgeführt (siehe Abbildungen 29 und 30).

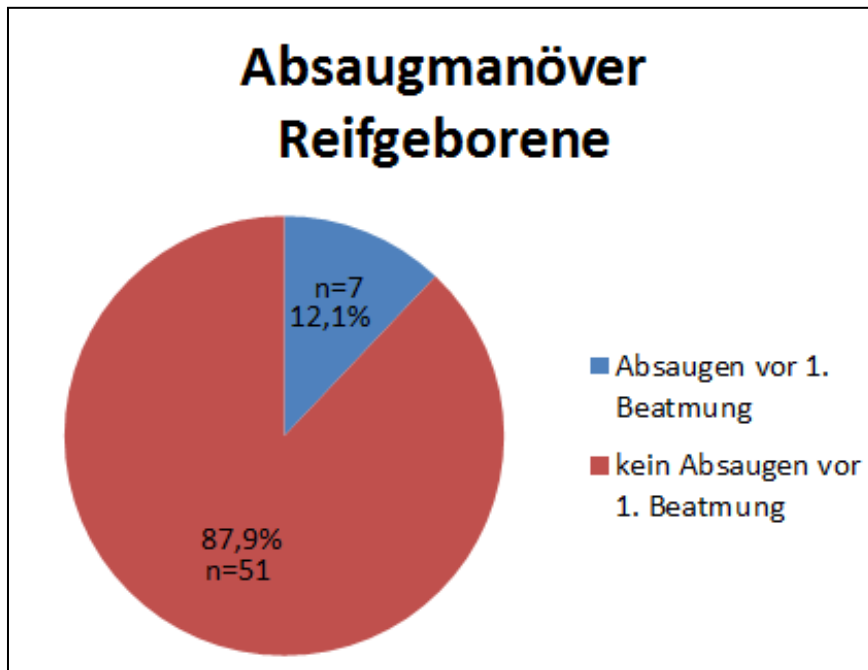


Abbildung 29: Absaugmanöver vor der initialen Beatmung bzw. Atmungsunterstützung bei Reifgeborenen

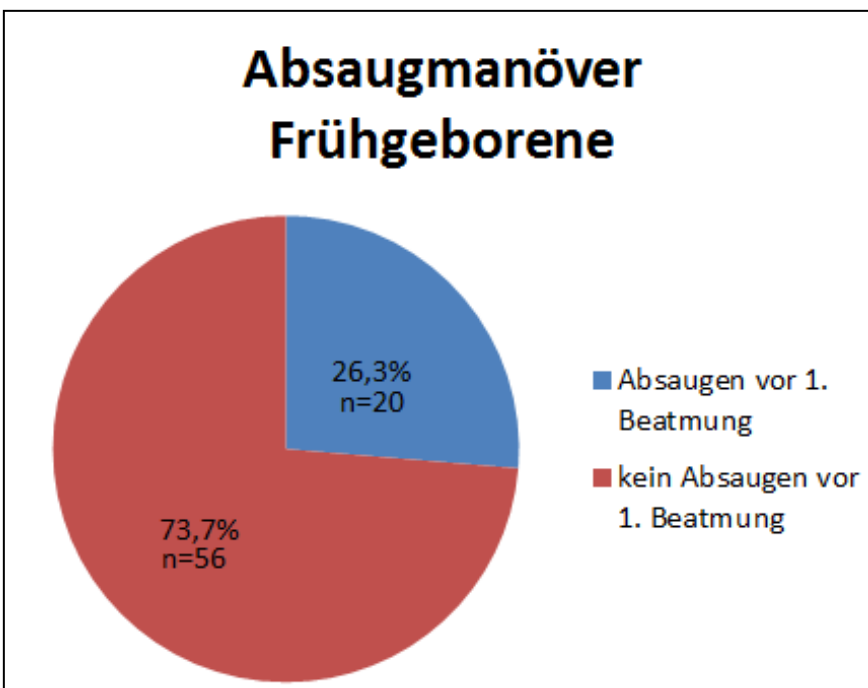


Abbildung 30: Absaugmanöver vor der initialen Beatmung bzw. Atmungsunterstützung bei Frühgeborenen

### 3.3.2 Beatmungsformen und -zeiten

Reifgeborene erhielten 16,4% der Zeit eine manuelle Überdruckbeatmung, dies entspricht 46,2 Minuten. Eine CPAP-Atmungsunterstützung wurde für 235,6 Minuten (83,6%) verabreicht (siehe Abbildungen 31 und 33).

Frühgeborene wurden für insgesamt 85,7 Minuten (11,5%) mittels manueller Überdruckbeatmung und für 661,1 Minuten (88,5%) mit CPAP-Atmungsunterstützung behandelt (siehe Abbildungen 32 und 33).

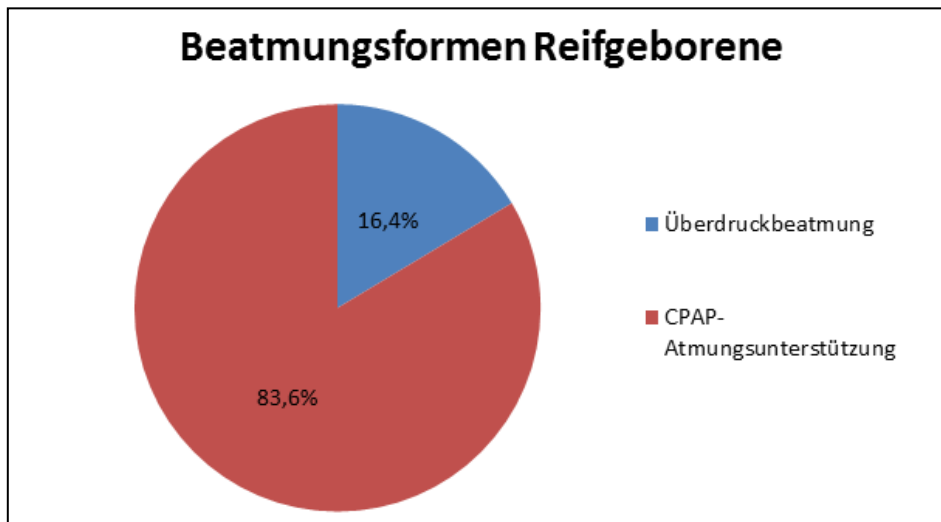


Abbildung 31: Beatmungsformen Reifgeborene

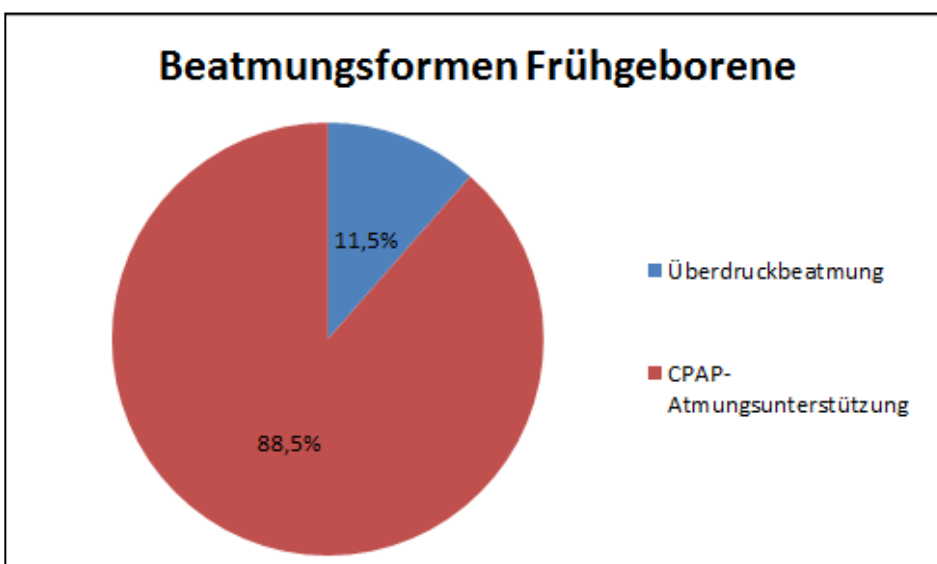


Abbildung 32: Beatmungsformen Frühgeborene

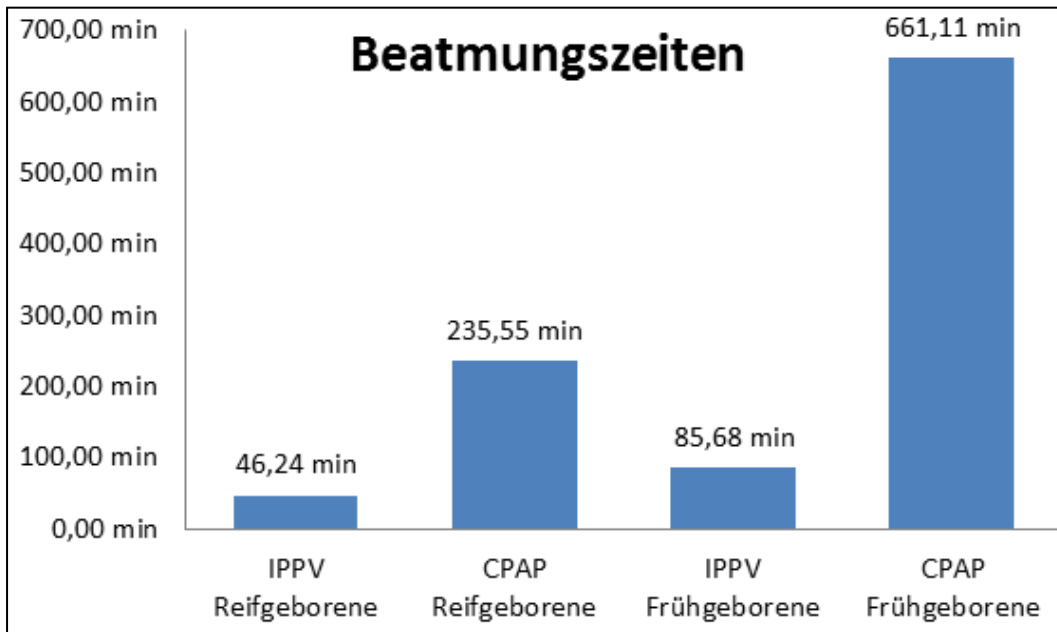


Abbildung 33: Beatmungszeiten und -formen bei Früh- und Reifgeborenen

### 3.3.3 Maßnahmen zur Optimierung der Beatmungssituation

Insgesamt wurden 427 Maßnahmen zur Verbesserung der Beatmungssituation durchgeführt, wobei 287 Maßnahmen (67,2%) bei Frühgeborenen und 140 Maßnahmen (32,8%) bei reifen Neugeborenen gesetzt wurden (siehe Abbildung 34).

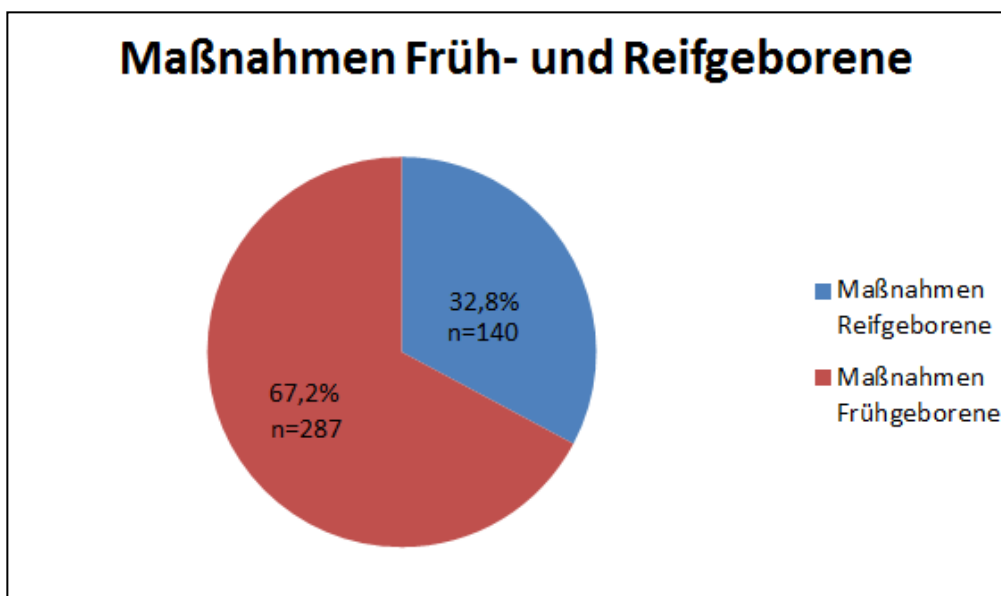


Abbildung 34: Maßnahmen zur Optimierung der Beatmungssituation bei Früh- und Reifgeborenen

Mindestens eine Maßnahme wurde bei 69,0% der Reifgeborenen (n=40/58) und bei 85,5% der Frühgeborenen (n=65/76) durchgeführt (siehe Abbildungen 35 und 36). Maßnahmen zur Optimierung der Beatmungssituation wurden bei Frühgeborenen signifikant häufiger als bei Reifgeborenen gesetzt (p=0,006).

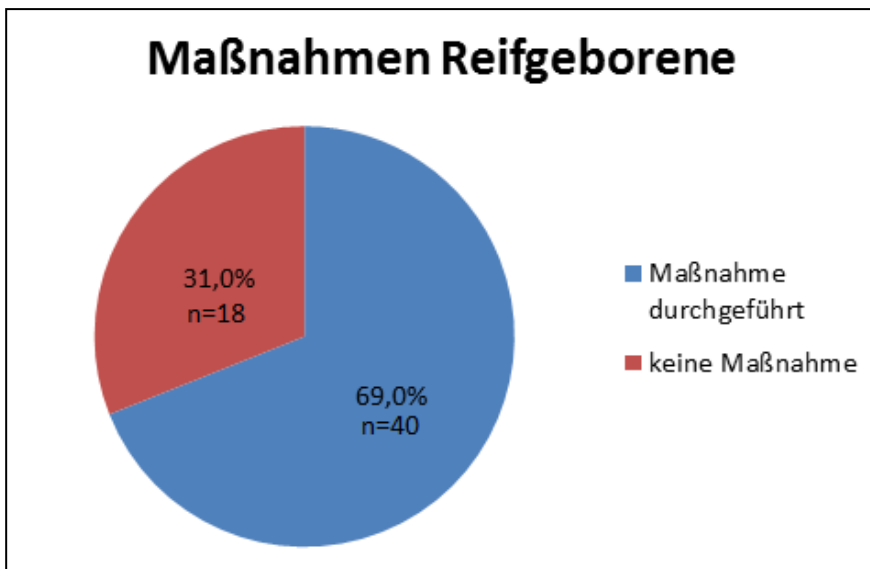


Abbildung 35: Maßnahmen zur Optimierung der Beatmungssituation bei Reifgeborenen

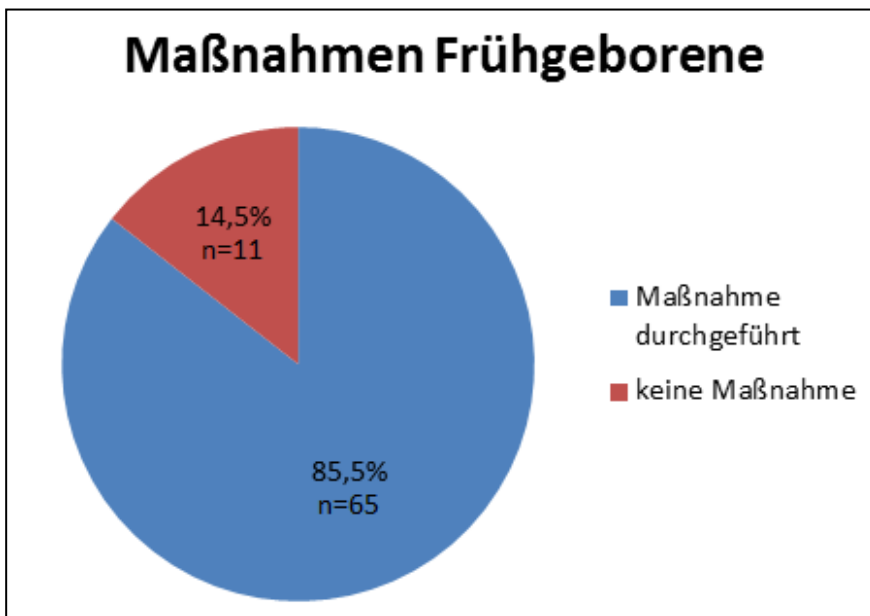
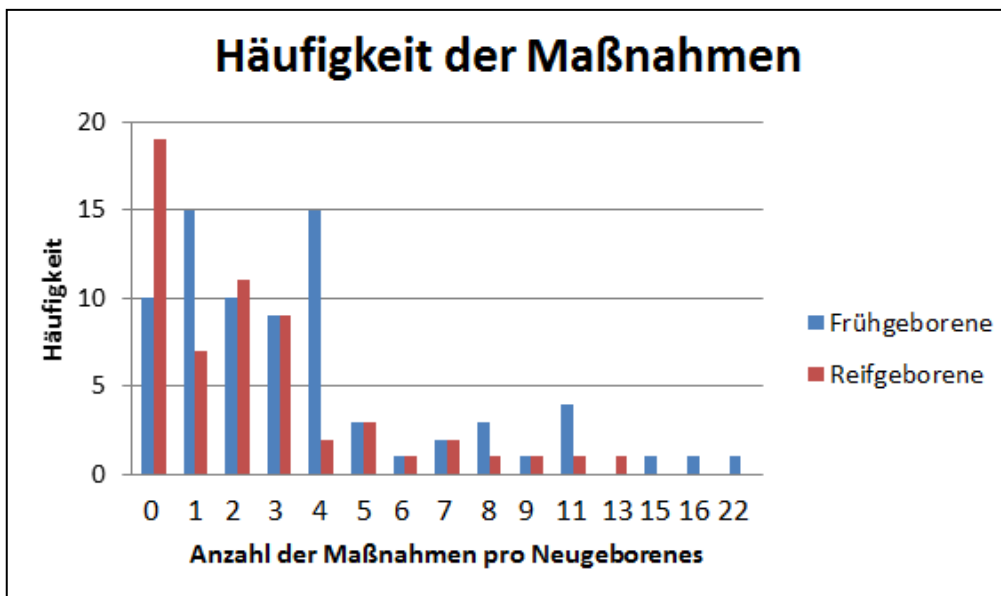


Abbildung 36: Maßnahmen zur Optimierung der Beatmungssituation bei Frühgeborenen

Bei Reifgeborenen wurden im Median zwei Maßnahmen (0-13) zur Optimierung der Beatmungssituation angewandt, verglichen mit im Median drei beatmungsoptimierenden Maßnahmen (0-22) bei Frühgeborenen (siehe Abbildung 37). Bei Frühgeborenen wurden signifikant mehr Maßnahmen zur Optimierung der Beatmungssituation gesetzt ( $p=0,013$ ).

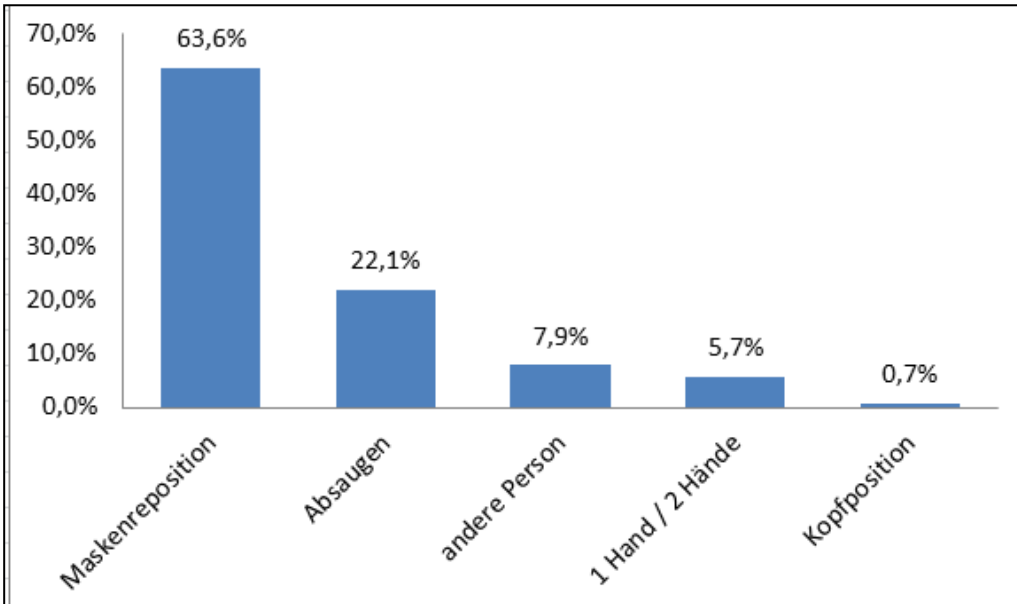


**Abbildung 37: Anzahl der Maßnahmen zur Optimierung der Beatmungssituation bei Früh- und Reifgeborenen**

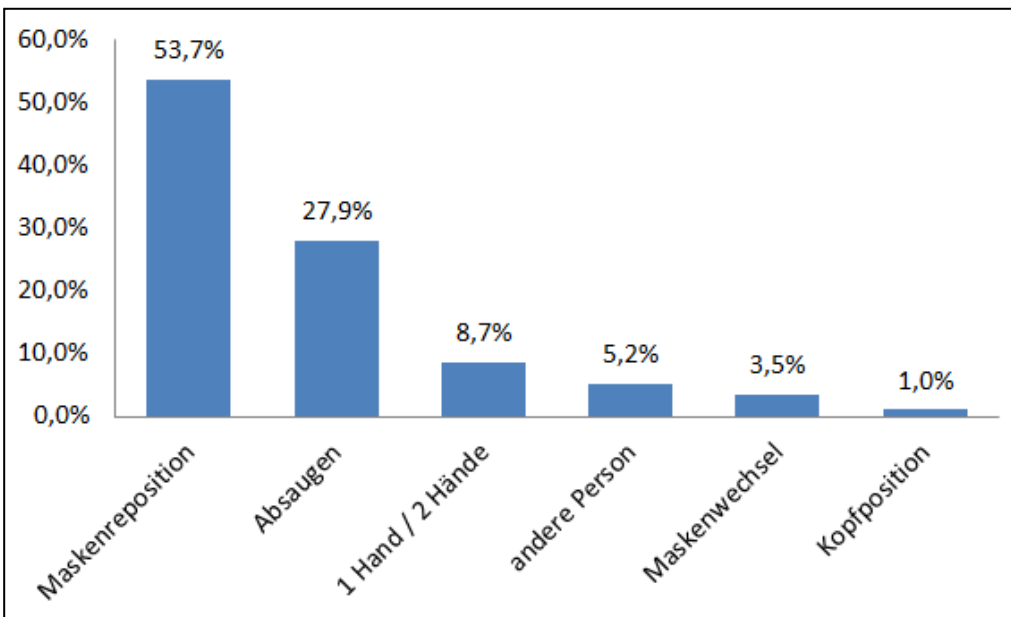
Mit 53,7% ( $n=154/287$ ) und 63,6% ( $n=89/140$ ) war bei Früh- und Reifgeborenen die Maskenrepositionierung die häufigste Intervention, gefolgt vom oropharyngealen Absaugmanöver (27,9% /  $n=80/287$  versus 22,1% /  $n=31/140$ ).

Bei Reifgeborenen wurde die Beatmung in 7,9% der Fälle ( $n=11/140$ ) durch eine zweite Person übernommen. In 5,7% ( $n=8/140$ ) wurde von ein- auf beidhändige Beatmungsmaskenführung oder umgekehrt gewechselt, während eine Veränderung der Kopfposition nur in einem Fall (0,7%) erfolgte (siehe Abbildung 38).

Bei Frühgeborenen wurde in 8,7% der Fälle ( $n=25/287$ ) von einer Hand auf zwei Hände oder umgekehrt gewechselt. Die Übernahme der Beatmung durch eine zweite Person erfolgte bei Frühgeborenen in 5,2% der Fälle ( $n=15/287$ ), während ein Wechsel der Beatmungsmaske in 3,5% ( $n=10/287$ ) durchgeführt wurde. In drei Fällen (1,0%) wurde bei Frühgeborenen die Kopfposition signifikant geändert (siehe Abbildung 39).



**Abbildung 38: Art der Maßnahmen zur Optimierung der Beatmungssituation bei Reifgeborenen**



**Abbildung 39: Art der Maßnahmen zur Optimierung der Beatmungssituation bei Frühgeborenen**

## 4 Diskussion

Freimachen bzw. Offenhalten der Atemwege und Belüftung der Lungen mittels manueller Überdruckbeatmung sind die wichtigsten Maßnahmen im Rahmen der Neugeborenenreanimation. Internationale Konsensuspapiere und nationale Guidelines empfehlen die positive Druckbeatmung bei Neugeborenen, die unmittelbar nach der Geburt keine oder eine insuffiziente Spontanatmung aufweisen. (13, 20, 23, 45, 46) Die Überdruckbeatmung dient dazu ein Tidalvolumen zu verabreichen, um eine ausreichende funktionelle Residualkapazität zu etablieren und damit den Gasaustausch zu verbessern. (23, 44)

Die korrekte Positionierung des kindlichen Kopfes und Nackens mittels Atemwegsmanövern (wie z.B. Jaw thrust oder Chin lift) sind entscheidende Schritte während der manuellen Überdruckbeatmung. (23, 47) Sowohl in Simulations- als auch klinischen Studien konnte jedoch gezeigt werden, dass auch bei der Durchführung der manuellen Überdruckbeatmung durch erfahrenes medizinisches Personal signifikante Beatmungsmaskenleckagen zu beobachten sind. Die Werte reichten hierbei von 24% bis 59%. (20, 44, 48, 49) In einer Studie von Schmörlzer et al. (44) wurde außerdem gezeigt, dass die Leckage der Beatmungsmaske sehr schwer selbst eingeschätzt werden kann. Diese wurde von den Studienteilnehmern sowohl unter- als auch überschätzt oder konnte generell nicht abgeschätzt werden.

Weitere potentielle Schwierigkeiten in der Überdruckbeatmung von Neugeborenen können durch Atemwegsverlegungen entstehen. Finer et al. (50) untersuchten die Atemwegsverlegung mittels eines CO<sub>2</sub>-Detektors während der manuellen Überdruckbeatmung am Erstversorgungstisch und fanden heraus, dass bei 75% der Neugeborenen eine relevante Atemwegsverlegung vorlag. Eine andere Beobachtungsstudie konnte zeigen, dass bei 25% der Neugeborenenenerstversorgungen bzw. -reanimationen eine Atemwegsverlegung vorlag. (51) Atemwegsverlegungen können durch manuelle Kompression der Weichteile von Hals, Zunge und somit auch der Trachea oder durch eine Hyperextension oder -flexion des Kopfes zustande kommen. Ein zu festes Aufdrücken der Beatmungsmaske zur Verhinderung einer Maskenleckage kann ebenfalls zu einer Obstruktion von Mund und Nase führen. (23, 41, 45)

Solange keine CO<sub>2</sub>-Detektoren oder Atemfunktionsmonitore angeschlossen sind bleiben diese Probleme häufig unerkannt, da die klinische Einschätzung der Effektivität der Beatmung anhand von Herzfrequenz oder Exkursionen des Thorax unsicher ist. (20, 23, 50, 51)

Durch die Verwendung von Atemfunktionsmonitoren ist es möglich die korrekte Beatmungsmaskenpositionierung zu identifizieren, verabreichte Beatmungsdrücke (Pinsp und PEEP) zu quantifizieren und den Pinsp so anzupassen, dass das erwünschte Tidalvolumen verabreicht wird. Es können spontane Atembewegungen des Neugeborenen angezeigt werden und es kann außerdem dazu dienen, die Leistung eines Auszubildenden objektiv und reproduzierbar zu messen. (20, 39) Trotz der objektiven Vorteile durch die Nutzung von Atemfunktionsmonitoren existiert bislang nur wenig Evidenz über deren Gebrauch im Rahmen der Erstversorgung und Reanimation von Neugeborenen. (39)

In Studien an Neugeborenenensimulatoren konnte gezeigt werden, dass ein Atemfunktionsmonitor eine Verbesserung der Maskenposition ermöglicht und damit die Beatmungsmaskenleckage um mehr als die Hälfte verkleinert werden kann. Außerdem ermöglicht ein Atemfunktionsmonitoring es, die verabreichten Beatmungshübe mit jenen des Neugeborenen zu synchronisieren und das angestrebte Tidalvolumen zu verabreichen. (20, 44, 52)

Manuell-technische Fähigkeiten bzw. Fertigkeiten sind abhängig von Häufigkeit und Qualität des Trainings sowie von der Frequenz der praktischen Tätigkeit im Rahmen der Erstversorgung und Reanimation von Neugeborenen. (41)

In einer Simulationsstudie konnte demonstriert werden, dass durch Training die Beatmungsmaskenleckage von 71% auf 10% gesenkt werden kann. (41) In der Studie von Wood et al. (40) konnte die Leckage der Beatmungsmaske im Rahmen einer simulierten Neugeborenenreanimation durch eine schriftliche Einschulung um 8,8%, durch eine praktische Demonstration um 15,3% und durch eine Kombination von schriftlicher Erklärung und praktischer Vorführung um 24,1% gesenkt werden.

Die Verwendung von Atemfunktionsmonitoren im Rahmen des Simulatortrainings kann zusätzlich helfen, die individuelle Mitarbeiterkompetenz zu steigern. (39, 53, 54, 54, 55) Eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung von Ausbildung und Training stellen Videoaufzeichnungen von realen Erstversorgungs- bzw.

Reanimationssituationen dar, um Maßnahmen zu evaluieren und Optimierungspotentiale aufzuzeigen. (56–58)

#### **4.1 Studienergebnisse**

In dieser Studie waren die Maßnahmen zur Optimierung der nichtinvasiven manuellen Überdruckbeatmung bzw. CPAP-Atmungsunterstützung im Rahmen der postnatalen Erstversorgung mit mehr als vier Maßnahmen pro Neugeborenes häufig, wobei bei 78,4% der inkludierten Neugeborenen zumindest eine Maßnahme gesetzt wurde. Daraus lässt sich schließen, dass die Verabreichung von IPPV bzw. CPAP-Atmungsunterstützung auch für erfahrene Anwender herausfordernd sein kann. Dieses Erkenntnis wird durch mehrere Studien im Rahmen der Neugeborenenenerstversorgung und -reanimation unterstützt. (20, 23, 29, 51, 59, 60)

Das European Resuscitation Council empfiehlt das oropharyngeale Absaugen vor Beginn einer Atmungsunterstützung bzw. manuellen Überdruckbeatmung nur für apnoeische und ateminsuffiziente Neugeborene, deren Atemwege offensichtlich verlegt sind. (13) In unserem Studienkollektiv wurde ein oropharyngeales Absaugmanöver vor Beginn einer Atmungsunterstützung bzw. manuellen Überdruckbeatmung lediglich bei 12,1% der Reifgeborenen und 26,3% der Frühgeborenen durchgeführt. Daraus lässt sich die Annahme ableiten, dass Verlegungen der Atemwege durch Flüssigkeiten bzw. Sekrete in der postnatalen Adaptationsphase insbesondere bei Reifgeborenen ein untergeordnetes Problem darstellen. Die häufigere Notwendigkeit des oropharyngealen Absaugens vor der initialen Atmungsunterstützung bzw. manuellen Überdruckbeatmung bei Frühgeborenen kann möglicherweise mit der durch den kleineren Atemwegsdurchmesser vermehrten Sekretproblematik erklärt werden.

Die in der gegenständlichen Studie identifizierten Maßnahmen zur Optimierung der Beatmungssituation waren heterogen. Mögliche Gründe hierfür können unterschiedliche medizinische Problemstellungen oder ein uneinheitlicher Erfahrungsstand der erstversorgenden Personen sein. Entsprechend dem „M“ im Akronym „MR SOPA“ war die am häufigsten zur Optimierung der

Beatmungssituation gesetzte Maßnahme die Maskenrepositionierung in 56,9% der Fälle, gefolgt vom oropharyngealen Absaugen („S“ in „MR SOPA“). Im Gegensatz dazu fanden Gelbart et al. (61) in ihrer Studie zur Qualität der Neugeborenenenerstversorgung und -reanimation an einem Perinatalzentrum „einen Mangel an adäquatem oropharyngealen Absaugen bei inadäquater Thoraxexkursion während technisch korrekt durchgeführter Maskenbeatmung“ im Rahmen der ausgewerteten Videoaufzeichnungen.

Die Veränderung der Kopfposition ist ein wesentlicher Punkt für die Optimierung der Beatmung, obgleich diese Maßnahme in dieser Studie jedoch deutlich unterrepräsentiert ist. Eine mögliche Erklärung dafür könnte sein, dass dieses Manöver bei der Videoauswertung nicht deutlich genug sichtbar war bzw. gemeinsam mit einer Maskenrepositionierung ausgeführt wurde und daher nicht separat gewertet werden konnte.

Basierend auf den mit Frühgeburtlichkeit einhergehenden, in erster Linie respiratorischen Herausforderungen stellen die längeren Zeiten von manueller Überdruckbeatmung und CPAP-Atmungsunterstützung im Vergleich zu den Reifgeborenen ein erwartbares Ergebnis dar. Mehr als zwei Drittel der im Rahmen der gegenständlichen Studie identifizierten Maßnahmen zur Optimierung der Beatmungssituation wurde bei Frühgeborenen gesetzt, womit bei Frühgeborenen signifikant mehr Maßnahmen im Vergleich zum Kollektiv der Reifgeborenen beobachtet wurden. Dieser Umstand mag mit erschwerten anatomischen, physiologischen und pathophysiologischen Voraussetzungen bei Frühgeborenen wie kleineren Atemwegen, höherem Atemwegswiderstand, vermehrter Sekretproblematik und RDS zu erklären sein. Während es zwischen Früh- und Reifgeborenen signifikante Unterschiede in der Anzahl der beatmungsoptimierenden Maßnahmen gab, waren für beide Kollektive die Repositionierung der Beatmungsmaske und das Freimachen der Atemwege durch Absaugen die häufigsten gesetzten Maßnahmen.

Für Herzfrequenz und Sauerstoffsättigung waren vor und nach der ersten gesetzten Maßnahme zur Optimierung der Beatmungssituation keine Unterschiede feststellbar. Im Vergleich dazu zeigte sich ein statistisch signifikanter

Unterschied in der zerebralen Gewebsoxygenierung nach Durchführung der ersten Maßnahme. Wenngleich von dieser Beobachtung keine Kausalität abgeleitet werden kann, zeigt sich damit jedoch ein statistischer Zusammenhang zwischen Effektivität der Überdruckbeatmung bzw. Atmungsunterstützung und der zerebralen Sauerstoffgewebsversorgung.

Obgleich die gemessene Leckage der Beatmungsmaske nach Durchführung der ersten Maßnahme zur Verbesserung der Beatmungssituation um durchschnittlich 8,5% abnahm, konnte dafür kein statistisch signifikanter Unterschied nachgewiesen werden.

## **4.2 Limitationen**

Eine Limitation dieser Studie ist das retrospektive Design. Da die Videos in einem Zeitraum von sechs Jahren aufgenommen wurden, änderte sich in diesem Zeitraum nicht nur das medizinische Vorgehen basierend auf den internationalen Reanimationsrichtlinien, sondern möglicherweise auch die individuelle und kollektive Erfahrung der für die Durchführung der Erstversorgungen verantwortlichen Personen und Teams.

Eine weitere Limitation dieser Studie ist die Qualität der Videoaufzeichnungen, da aus logistischen Gründen keine standardisierte Kameraposition über den Untersuchungszeitraum hinweg möglich war. Aufgrund von vereinzelt ungenügender Bildqualität kann nicht ausgeschlossen werden, dass einzelne Beatmungsmanöver nicht oder inkorrekt gewertet wurden.

Da die Videoauswertung von lediglich einer Person vorgenommen wurde kann eine nicht gänzlich zu vermeidende Subjektivität in der Einschätzung nicht ausgeschlossen werden, obgleich die Erhebung nach vorab definierten Kriterien erfolgte.

## **5 Schlussfolgerungen**

Maßnahmen zur Optimierung der nichtinvasiven manuellen Überdruckbeatmung bzw. CPAP-Atmungsunterstützung im Rahmen der postnatalen Erstversorgung von Früh- und Reifgeborenen sind häufig und heterogen, die Verabreichung von

IPPV bzw. CPAP-Atmungsunterstützung ist somit offenkundig herausfordernd. Die in dieser Studie identifizierten Maßnahmen unterschieden sich in erster Linie quantitativ, aber im Detail auch qualitativ zwischen Früh- und Reifgeborenen. Es zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied in der zerebralen Gewebsoxygenierung nach Durchführung der ersten beatmungsoptimierenden Maßnahme, was die Bedeutung einer optimierten Überdruckbeatmung bzw. Atmungsunterstützung im Rahmen der Neugeborenenenerstversorgung und -reanimation unterstreicht.

Methoden zur Optimierung von IPPV bzw. CPAP-Atmungsunterstützung im Rahmen der postnatalen Erstversorgung von Früh- und Reifgeborenen umfassen strukturiertes Vorgehen (z.B. „MR SOPA“), standardisiertes Monitoring, die Verwendung von Atemfunktionsmonitoren und regelmäßiges simulationsbasiertes Training. Weitere Studien zur Differenzierung der individuellen Effektivität einzelner beatmungsoptimierender Maßnahmen sind erforderlich.

## 6 Literaturverzeichnis

1. Stauber M, Weyerstahl T. Duale Reihe - Gynäkologie: Georg Thieme Verlag KG; 2007.
2. Elsberger S, Moore K, Persaud T, Torchia MG, Viebahn C. Embryologie: Entwicklungsstadien - Frühentwicklung - Organogenese - Klinik: Elsevier Health Sciences Germany; 2013. Available from: URL: <https://books.google.at/books?id=ORbyAAAAQBAJ>.
3. Drews U. Taschenatlas der Embryologie: Thieme; 2006. Available from: URL: [https://books.google.at/books?id=6RFxahL\\_-\\_QC](https://books.google.at/books?id=6RFxahL_-_QC).
4. Dudenhausen JW. Praktische Geburtshilfe: 21., erweiterte Auflage mit geburtshilflichen Operationen mit Geburtsanimationen online. 21th ed. Berlin: De Gruyter; 2011.
5. Schmidt RF, Lang F, Heckmann M. Physiologie des Menschen: mit Pathophysiologie. 31. Auflage. Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
6. Koletzko B. Kinder- und Jugendmedizin. 14. Auflage. Berlin: Springer-Verlag; 2013.
7. Rathgeber J. Grundlagen der maschinellen Beatmung: Einführung in die Beatmung für Ärzte und Pflegekräfte: Thieme; 2010. Available from: URL: [https://books.google.at/books?id=Kd6MAE2f5\\_wC](https://books.google.at/books?id=Kd6MAE2f5_wC).
8. van Vonderen JJ, Roest AA, Siew ML, Walther FJ, Hooper SB, te Pas AB. Measuring physiological changes during the transition to life after birth. Neonatology 2014; 105(3):230–42.
9. Gortner L, Meyer S, Sitzmann FC. Pädiatrie: 304 Tabellen ; [plus DVD mit Videofilmen]. 4., vollst. überarb. und erw. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2012. (Duale Reihe).
10. Hübler A, Jorch G, Arenz S, Avenarius S, Bachmaier N. Neonatologie: Die Medizin des Früh- und Reifgeborenen: Thieme; 2010. Available from: URL: <https://books.google.at/books?id=ey2VYc5ztnEC>.

11. Wauer RR. Surfactanttherapie: Grundlagen, Diagnostik, Therapie ; 44 Tabellen: Thieme; 2004. Available from: URL: <https://books.google.at/books?id=629R1CJIUbQC>.
12. Genzel-Boroviczény O, Roos R. Checkliste Neonatologie: Thieme; 2015. Available from: URL: <https://books.google.at/books?id=61vrBwAAQBAJ>.
13. Wyllie J, Bruinenberg J, Roehr CC, Rüdiger M, Trevisanuto D, Urlesberger B. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 7. Resuscitation and support of transition of babies at birth. Resuscitation 2015; 95:249–63. Available from: URL: 26477415.
14. Borth-Bruhns T, Eichler A. Pädiatrische Kardiologie: Springer Berlin Heidelberg; 2013. Available from: URL: <https://books.google.at/books?id=KDmcBgAAQBAJ>.
15. Muntau A. Intensivkurs Pädiatrie: mit 130 Tabellen: Elsevier, Urban & Fischer; 2009. Available from: URL: <https://books.google.at/books?id=f-mLti4TXx8C>.
16. Apgar V. A Proposal for a New Method of Evaluation of the Newborn Infant. Originally published in July 1953, volume 32, pages 250-259. Anesthesia and analgesia 2015; 120(5):1056–9.
17. Flake F, Scheinichen F. Kindernotfälle im Rettungsdienst. 3. aktualisierte Aufl. Heidelberg: Springer Medizin Verlag; 2010. Available from: URL: <http%3A/www.worldcat.org/oclc/647853757>.
18. Palme-Kilander C. Methods of resuscitation in low-Apgar-score newborn infants— a national survey. Acta Paediatrica 1992; 81(10):739–44.
19. Richmond S, Wyllie J. Versorgung und Reanimation des Neugeborenen. Notfall Rettungsmed 2010; 13(7):665–78.
20. Kaufman J, Schmolzer GM, Kamlin CO, Davis PG. Mask ventilation of preterm infants in the delivery room. Archives of disease in childhood. Fetal and neonatal edition 2013; 98(5):F405-10.
21. Kamlin CO, Dawson JA, O'Donnell CP, Morley CJ, Donath SM, Sekhon J, Davis PG. Accuracy of pulse oximetry measurement of heart rate of newborn infants in the delivery room. The Journal of pediatrics 2008; 152(6):756–60.

22. Dawson JA, Saraswat A, Simionato L, Thio M, Kamlin CO, Owen LS, Schmölzer GM, Davis PG. Comparison of heart rate and oxygen saturation measurements from Masimo and Nellcor pulse oximeters in newly born term infants. *Acta paediatrica* 2013; 102(10):955–60.
23. Chua C, Schmölzer GM, Davis PG. Airway manoeuvres to achieve upper airway patency during mask ventilation in newborn infants - An historical perspective. *Resuscitation* 2012; 83(4):411–6.
24. Oczenski W. *Atmen- Atemhilfen: Atemphysiologie und Beatmungstechnik*. 9. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG; 2012.
25. Larsen R, Ziegenfuß T. *Beatmung: Grundlagen und Praxis*: Springer; 2009. Available from: URL: <https://books.google.at/books?id=FaYzy3Hfq-QC>.
26. Davis PG, Lemyre B, de Paoli AG. Nasal intermittent positive pressure ventilation (NIPPV) versus nasal continuous positive airway pressure (NCPAP) for preterm neonates after extubation. *The Cochrane database of systematic reviews* 2001; (3):CD003212.
27. *Klinikmanual Anästhesie* [cited 2015 Sep 6].
28. Pilgrim S, Stocker M, Berger T. Erstversorgung Neugeborener. *Pädiatrie up2date* 2009; 4(02):123–40.
29. Baik N, Urlesberger B, Schwabegger B, Freidl T, Schmölzer GM, Pichler G. Cardiocirculatory monitoring during immediate fetal-to-neonatal transition: a systematic qualitative review of the literature. *Neonatology* 2015; 107(2):100–7.
30. Schimpf J, Craß D, Sollmann V. *Kompendium Kinderanästhesie*: Springer; 2012. Available from: URL: <https://books.google.at/books?id=bt9M5ZYHF6EC>.
31. Striebel HW. *Anästhesie bei Kindern: Sicherheit in der klinischen Praxis ; mit 57 Tabellen*: Schattauer; 2012. Available from: URL: [https://books.google.at/books?id=W\\_-E6MxibUEC](https://books.google.at/books?id=W_-E6MxibUEC).
32. Kretz FJ, Becke K. *Anästhesie und Intensivmedizin bei Kindern: 99 Tabellen*: Thieme; 2007. Available from: URL: <https://books.google.at/books?id=IsxlSWD1ywAC>.
33. Jöbsis FF. Noninvasive, infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameter. *Science* 1977; (198):1264–7.

34. Wolfberg AJ, du Plessis AJ. Near-Infrared Spectroscopy in the Fetus and Neonate. *Clin Perinatol* 2006; 33(3):707–28.
35. Greisen G. Is near-infrared spectroscopy livin up to its promises? *Semin Fetal Neonatal Med* 2006; 11(6):498–502.
36. Wolf M, Naulaers G, van Bel F, Kleiser S, Greisen G. Review: A review of near infrared spectroscopy for term and preterm newborns. *J Near Infrared Spectrosc* 2012; 20(1):43–55.
37. Baik N, Urlesberger B, Schwabegger B, Schmölzer GM, Miledler L, Avian A, Pichler G. Reference Ranges for Cerebral Tissue Oxygen Saturation Index in Term Neonates during Immediate Neonatal Transition after Birth. *Neonatology* 2015; 108(4):283–6. Available from: URL: 26330229.
38. Pichler G, Urlesberger B, Baik N, Schwabegger B, Binder-Heschl C, Avian A, Pansy J, Cheung PY, Schmölzer GM. Cerebral Oxygen Saturation to Guide Oxygen Delivery in Preterm Neonates for the Immediate Transition after Birth: A 2-Center Randomized Controlled Pilot Feasibility Trial. *The Journal of pediatrics* 2016; 170:73-8.e1-4. Available from: URL: 26743498.
39. Schmölzer GM, Roehr CC. Use of Respiratory Function Monitors during Simulated Neonatal Resuscitation: Atemfunktionsmonitor während neonatalen Simulationstrainings. *Klin Padiatr* 2011; 223(5):261–6.
40. Wood FE, Morley CJ, Dawson JA, Kamlin CO, Owen LS, Donath S, Davis PG. Improved techniques reduce face mask leak during simulated neonatal resuscitation: study 2. *Archives of disease in childhood. Fetal and neonatal edition* 2008; 93(3):F230-4.
41. Schilleman K, Witlox RS, Lopriore E, Morley CJ, Walther FJ, te Pas AB. Leak and obstruction with mask ventilation during simulated neonatal resuscitation. *Archives of disease in childhood. Fetal and neonatal edition* 2010; 95(6):F398-402.
42. Tracy MB, Klimek J, Coughtrey H, Shingde V, Ponnampalam G, Hinder M, Maheshwari R, Tracy SK. Mask leak in one-person mask ventilation compared to two-person in newborn infant manikin study. *Archives of disease in childhood. Fetal and neonatal edition* 2011; 96(3):F195-200.

43. Zaichkin J, Kattwinkel J, McGowan J. Textbook of neonatal resuscitation. 6th ed. [Elk Grove Village, IL]: American Heart Association; American Academy of Pediatrics; 2011. (NRP).
44. Schmölzer GM, Kamlin OC, O'Donnell CP, Dawson JA, Morley CJ, Davis PG. Assessment of tidal volume and gas leak during mask ventilation of preterm infants in the delivery room. *Archives of disease in childhood. Fetal and neonatal edition* 2010; 95(6):F393-7.
45. Kattwinkel J, Perlman JM, Aziz K, Colby C, Fairchild K, Gallagher J, Hazinski MF, Halamek LP, Kumar P, Little G, McGowan JE, Nightengale B, Ramirez MM, Ringer S, Simon WM, Weiner GM, Wyckoff M, Zaichkin J. Neonatal resuscitation: 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Pediatrics* 2010; 126(5):e1400-13.
46. Richmond S, Wyllie J. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010 Section 7. Resuscitation of babies at birth. *Resuscitation* 2010; 81(10):1389–99.
47. Mathew OP. Maintenance of upper airway patency. *The Journal of pediatrics* 1985; 106(6):863–9.
48. Wood FE, Morley CJ, Dawson JA, Kamlin CO, Owen LS, Donath S, Davis PG. Assessing the effectiveness of two round neonatal resuscitation masks: study 1. *Archives of disease in childhood. Fetal and neonatal edition* 2008; 93(3):F235-7.
49. O'Donnell CP, Davis PG, Lau R, Dargaville PA, Doyle LW, Morley CJ. Neonatal resuscitation 2: an evaluation of manual ventilation devices and face masks. *Archives of disease in childhood. Fetal and neonatal edition* 2005; 90(5):F392-6.
50. Finer NN, Rich W, Wang C, Leone T. Airway obstruction during mask ventilation of very low birth weight infants during neonatal resuscitation. *Pediatrics* 2009; 123(3):865–9.
51. Schmölzer GM, Dawson JA, Kamlin CO, O'Donnell CP, Morley CJ, Davis PG. Airway obstruction and gas leak during mask ventilation of preterm infants in the delivery room. *Archives of disease in childhood. Fetal and neonatal edition* 2011; 96(4):F254-7.

52. Wood FE, Morley CJ, Dawson JA, Davis PG. A respiratory function monitor improves mask ventilation. *Archives of disease in childhood. Fetal and neonatal edition* 2008; 93(5):F380-1.
53. Boehler T, Schaeff B, Hornberg I, Waibel B, Mohrmann M. Zur Umsetzung national vereinbarter Massnahmen zur Qualitätssicherung in der klinischen Versorgung Früh- und Neugeborener in Baden-Württemberg. *Klinische Pädiatrie* 2009; 221(4):256–65.
54. Gortner L. Versorgungsstruktur in der Geburtsmedizin und Neonatologie-- Implikationen für die Behandlungsergebnisse? *Klinische Pädiatrie* 2009; 221(4):217–8.
55. Hoehn T, Hoppenz M. Neonatal and childhood mortality rates in Myanmar. *Klinische Pädiatrie* 2009; 221(4):266–8.
56. O'Donnell CP, Kamlin CO, Davis PG, Carlin JB, Morley CJ. Clinical assessment of infant colour at delivery. *Archives of disease in childhood. Fetal and neonatal edition* 2007; 92(6):F465-7.
57. Schilleman K, Siew ML, Lopriore E, Morley CJ, Walther FJ, te Pas AB. Auditing resuscitation of preterm infants at birth by recording video and physiological parameters. *Resuscitation* 2012; 83(9):1135–9. Available from: URL: 22322286.
58. Brugada M, Schilleman K, Witlox RS, Walther FJ, Vento M, Te Pas AB. Variability in the assessment of 'adequate' chest excursion during simulated neonatal resuscitation. *Neonatology* 2011; 100(1):99–104.
59. Schmölzer GM, Kamlin OC, Dawson JA, te Pas AB, Morley CJ, Davis PG. Respiratory monitoring of neonatal resuscitation. *Archives of disease in childhood. Fetal and neonatal edition* 2010; 95(4):F295-303.
60. Schmölzer GM, Morley CJ, Wong C, Dawson JA, Kamlin CO, Donath SM, Hooper SB, Davis PB. Respiratory function monitor guidance of mask ventilation in the delivery room: a feasibility study. *J. Pediatr.* 2012; 160(3):377-381.e2.
61. Gelbart B, Hiscock R, Barfield C. Assessment of neonatal resuscitation performance using video recording in a perinatal centre. *Journal of paediatrics and child health* 2010; 46(7-8):378–83. Available from: URL: 20546105.