

Diplomarbeit

**Erstellung eines Konzeptes
für ein in situ-Simulationstrainingsprogramm
an der Klinischen Abteilung für Neonatologie Graz
auf Basis einer systematischen Literaturanalyse**

eingereicht von

Leonie Valentina Totschnig

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor(in) der gesamten Heilkunde
(Drⁱⁿ. med. univ.)**

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

**Klinischen Abteilung für Neonatologie
der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendheilkunde Graz**

unter der Anleitung von

Univ.-Ass. FA Dr. med. univ. Lukas Mileder
Priv.-Doz. Dr. med. univ. Dr. scient. med. Bernhard Schwabegger

Graz, am 4. November 2023

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.

Graz, am 4. November 2023

Leonie Valentina Totschnig eh.

Danksagungen

An dieser Stelle möchte ich meine tiefe Dankbarkeit gegenüber all jenen ausdrücken, die mich während meines Studiums und der Verfassung dieser Diplomarbeit unterstützt und begleitet haben.

Zuallererst gilt mein herzlicher Dank meinem Hauptbetreuer, Dr. med. univ. Lukas Miledler, für seine exzellente Begleitung, Expertise und wertvolle Kritik während der Entstehung dieser Arbeit. Ohne die zahlreichen E-Mails, Treffen und anregenden Diskussionen wäre diese Arbeit nicht das geworden, was sie nun ist.

Ebenso möchte ich mich bei Priv.-Doz. Dr. med. univ. Dr. scient. med. Bernhard Schwaberger für die Zweitbetreuung und die konstruktive Kritik bedanken, die der Arbeit den letzten nötigen Schliff verliehen haben.

Ich möchte außerdem all meinen Freund*innen danken, die mich während des gesamten Studiums begleitet, meine Tränen getrocknet und mir stets ein offenes Ohr geschenkt haben. Besonders hervorheben möchte ich meine geschätzte Freundin/Kollegin/Seelsorgerin, Magdalena Kröll, die seit dem ersten Tag des Studiums eine meiner größten Stützen war. Gemeinsam haben wir gelacht, geweint, verzweifelt und schlussendlich wieder und wieder triumphiert. Unsere tiefe Freundschaft hat mich durch das Studium getragen.

Ein besonderer Dank gebührt meinen lieben Eltern, die stets versucht haben, mir alles zu ermöglichen und mich in den schwierigsten Phasen des Studiums getröstet, ermuntert und aufgebaut haben. Die immer mehr an mich geglaubt haben, als ich es je selbst getan habe.

Abschließend möchte ich meinem Partner Martin für seinen unerschütterlichen Optimismus während der Momente des Selbstzweifels, sowie für die Geduld und das Verständnis während der langen Nächte des Lernens danken. Deine bedingungslose Liebe und tatkräftige Unterstützung haben mich selbst die herausforderndsten Phasen des Studiums überstehen lassen. Du bist mein Fels, mein Zuhause und mein Herz.

Zusammenfassung

Hintergrund: 10% aller Neugeborenen werden nach der Geburt an einer neonatologischen Intensivstation aufgenommen. Die häufigsten Komplikationen während des stationären Aufenthalts umfassen nekrotisierende Enterokolitis, Sepsis, intrakranielle Hämorrhagien und bronchopulmonale Dysplasie. In 1% der Fälle ist während des stationären Aufenthalts eine kardiopulmonale Reanimation erforderlich. Das simulationsbasierte Training (SBT) bietet eine sichere und realistische Umgebung, um HALO-Events (high-acuity-low-occurrence events) zu trainieren. Das in situ-Simulationstraining findet dabei in der realen Patient*innenumgebung statt und bietet zusätzlich Vorteile wie eine erhöhte Realitätsnähe und Aufdeckung von (latenten) Sicherheitsrisiken. Ziel dieser systematischen Literaturanalyse war die Identifikation von best practice-Beispielen und randomisiert-kontrollierten Studien für neonatologische in situ-Simulationsprogramme, um auf deren Grundlage ein entsprechendes Trainingsprogramm für die neonatologische Intensivstation der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendheilkunde Graz zu konzipieren.

Methodik: Auf Basis der Kriterien des PRISMA-Statement wurde im Zeitraum von Juni 2022 bis Oktober 2022 eine systematische Literaturanalyse in den Datenbanken PubMed, Embase und CINAHL durchgeführt. Ein standardisierter Erhebungsbogen wurde erstellt, um die Studien hinsichtlich der Aspekte Inhalt, Logistik, Personal und Outcome deskriptiv miteinander zu vergleichen.

Resultate: Die Suche ergab eine Gesamtzahl von 702 Artikeln, wovon 17 inkludiert wurden. Die durchschnittliche Trainingsdauer betrug zwischen 30 und 120 Minuten. Die Wahl der Szenarien orientierte sich an rezenten Notfällen, wobei meist high-fidelity-Simulatoren zum Einsatz kamen. Neben dem multiprofessionellen Training wurde auch zielgruppenspezifisch (z.B.: Assistenzärzt*innen der Pädiatrie) bzw. interdisziplinär (mehrere ärztliche Disziplinen umfassend) trainiert. In der Regel wurde das Training von zwei bis drei speziell geschulten Trainer*innen geleitet, die ihre Qualifikation durch Teilnahme an „Train-the-Trainer“-Kursen erworben hatten. Während keine Studie einen direkten kausalen Zusammenhang zwischen SBT und einer Senkung der neonatalen Mortalität oder Morbidität belegte, konnten zwei Studien zeigen, dass interprofessionelles in situ-SBT unter anderem mit einer verringerten Inzidenz von sogenannten Code-Blue-Events assoziiert war.

Konklusion: Trotz der erwartungsgemäß überschaubaren Datenlage weisen die beschriebenen Simulationsprogramme dennoch zahlreiche Gemeinsamkeiten auf, die als Orientierung zur Konzepterstellung des Curriculums für die lokale neonatologische Intensivstation dienen. Aufgrund der niedrigen Evidenzlevel der existierenden Studien besteht außerdem die Notwendigkeit für ein Umdenken hinsichtlich der Ergebnismessung von subjektiven Parametern wie Selbstsicherheit und selbstwahrgenommenen Führungsqualitäten hin zu objektifizierbaren Messgrößen wie Verbesserung von Mortalität und neurologischem Outcome.

Abstract

Background: Approximately 10% of all newborns are admitted to a neonatal intensive care unit. The most common complications during the hospital stay include necrotizing enterocolitis, sepsis, intracranial hemorrhage, and bronchopulmonary dysplasia. Cardiopulmonary resuscitation is required in 1% of all cases during the hospital stay. Simulation-based training (SBT) provides a safe and realistic environment to train for high-acuity-low-occurrence events (HALO) events. In situ simulation training takes place in the actual patient environment and offers additional advantages such as increased realism and the identification of (latent) safety threats. The aim of this systematic literature review was to identify best practice examples and randomized controlled studies of neonatal in situ simulation programs in order to design a corresponding training program for the neonatal intensive care unit at the Department of Paediatrics and Adolescent Medicine Graz.

Methodology: A systematic literature review was conducted from June to October 2022 in the databases PubMed, Embase, and CINAHL, based on the criteria of the PRISMA Statement. A standardized data collection form was created to descriptively compare studies in terms of content, logistics, personnel, and outcomes.

Results: The search yielded 702 articles, of which 17 were included. The average training duration ranged from 30 to 120 minutes. Scenario selection was based on recent emergencies, with high-fidelity simulators being mainly used. In addition to multiprofessional training, SBT was either targeted at specific groups (e.g., paediatric residents) or interdisciplinary (including multiple medical disciplines). Typically, the training was led by two to three specially trained instructors who obtained their qualifications through participation in train-the-trainer courses. While no study demonstrated a direct causal relationship between SBT and a reduction in neonatal mortality or morbidity, two studies showed that interprofessional in situ SBT was associated with a reduced incidence of so-called Code Blue events, among other outcomes.

Conclusion: Despite the expected limited evidence, the described simulation programs share numerous similarities that can be used to develop a curriculum for the local neonatal intensive care unit. Due to the low levels of evidence in existing studies, there is also a need to shift the focus of outcome measurement from subjective parameters such as self-confidence and self-perceived leadership qualities to objective metrics such as mortality improvement and reduction of neurological sequelae.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	1
Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	4
1 Einleitung	5
1.1 Neonatologie	5
1.1.1 Begriffsdefinitionen	5
1.1.2 Ausgewählte relevante Krankheitsbilder der Neonatologie.....	6
1.1.2.1 IRDS (Atemnotsyndrom des Frühgeborenen)	6
1.1.2.2 Transiente Tachypnoe bei Neugeborenen (TTN)	8
1.1.2.3 Apnoesyndrom des Frühgeborenen.....	9
1.1.2.4 Bronchopulmonale Dysplasie (BPD).....	10
1.1.2.5 Sepsis.....	12
1.1.2.6 Intrakranielle Blutungen und periventrikuläre Leukenzephalomalazie	14
1.1.2.7 Ikterus neonatorum	17
1.1.2.8 Nekrotisierende Enterokolitis (NEK).....	18
1.1.3 Neonatologische Notfälle	19
1.1.3.1 Perinatale Asphyxie.....	20
1.1.3.2 HerzKreislaufstillstand im Rahmen der neonatologisch-intensivmedizinischen Betreuung 26	
1.1.3.3 HerzKreislaufstillstand im nicht-stationären Setting	27
1.2 Simulationstraining	29
1.2.1 Rahmenbedingungen für Simulationstraining	30
1.2.1.1 Trainingsort	30
1.2.1.2 Technische Ausstattung und Equipment.....	31
1.2.1.3 Personal.....	31
1.2.1.4 Lernziele	32
1.2.1.5 Einführung und Briefing	33
1.2.1.6 Szenario.....	33
1.2.1.7 Debriefing.....	34
2 Methodik	36
2.1 Design	36
2.2 Fragestellung und Zielsetzung	36
2.3 Suchstrategie	36
2.4 Auswahlkriterien	37
2.5 Studienauswahl und Datenextraktion	37
2.6 Qualitätsbewertung	38
2.7 Datensynthese	38
3 Ergebnisse – Resultate mit graphischen Darstellungen	39
3.1 Studiencharakteristika	40
3.1.1 Studiendesign	40
3.1.2 Inhalt.....	41
3.1.3 Logistik.....	41
3.1.4 Personal	42
3.1.5 Outcome	42

4	<i>Diskussion</i>	51
4.1	Inhalt	51
4.2	Logistik	53
4.3	Personal	56
4.4	Outcome	58
4.5	Limitationen	62
4.6	Konzepterstellung	63
	Inhalt	63
	Logistik	64
	Personal.....	64
	Outcome.....	65
4.7	Conclusio	66
	<i>Literaturverzeichnis</i>	67

Abkürzungsverzeichnis

ALTE	.....	apparent life-threatening event
AV-Anlage	.....	Audio-Video-Anlage
AWMF	.....	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften
BPD	.....	bronchopulmonale Dysplasie
BRUE	.....	brief resolved unexplained event
cmH ₂ O	.....	Zentimeter Wassersäule
CPAP	.....	continuous positive airway pressure
ECMO	.....	extrakorporale Membranoxygenierung
ECPR	.....	extrakorporale kardiopulmonale Reanimation
EKG	.....	Elektrokardiogramm
ELBWI	.....	extremely-low-birth-weight infants
EOS	.....	Early-Onset-Sepsis
HALO-Event	.....	high-acuity-low-occurrence event
HIE	.....	hypoxisch ischämische Enzephalopathie
I/T-Quotient	.....	immature/total neutrophils-Quotient
INACSL	.....	International Nursing Association of Clinical and Simulation Learning
InSurE	.....	Intubation-Surfactant-Extubation
IPPV	.....	intermittent positive pressure ventilation
IRDS	.....	infant respiratory distress syndrome
IVH	.....	intraventrikuläre Hämorrhagie
l/Min	.....	Liter pro Minute
LGA	.....	large for gestational age
LISA	.....	Less Invasive Surfactant Administration
LOS	.....	Late-Onset-Sepsis
LST	.....	latent safety threats
MeSH	.....	Medical Subject Headings
mg/dl	.....	Milligramm pro Deziliter
ml/kg	.....	Milliliter pro Kilogramm
mmol/l	.....	Millimol pro Liter
MRT	.....	Magnetresonanztomographie
NC	.....	nasal cannula
NEK	.....	nekrotisierende Enterokolitis
NICU	.....	Neonatal Intensive Care Unit
NIPPV	.....	non-invasive positive pressure ventilation
nm	.....	Nanometer
PCT	.....	Procalcitonin
PEEP	.....	positive end-expiratory pressure
POHCA	.....	pediatric out-of-hospital cardiac arrest
PPH	.....	posthämorrhagischer Hydrozephalus
PRISMA	.....	Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses
PVH	.....	periventrikuläre Hämorrhagie
PVL	.....	periventrikuläre Leukomalazie
RCT	.....	Randomized Controlled Trial
RoB	.....	Cochrane Risk of Bias Tool for Randomized Controlled Trials
RSV	.....	Respiratorisches Synzytial-Virus
SBT	.....	simulationsbasiertes Training
SER	.....	systemische Entzündungsreaktion

SGA	small for gestational age
SIDS.....	sudden infant death syndrome
SIRS.....	systemic inflammatory response syndrome
SpO ₂	Sauerstoffsättigung
SSW	Schwangerschaftswoche
SUPC	sudden unexpected postnatal collapse
TTN	Transiente Tachypnoe bei Neugeborenen
VAD.....	Video-assistiertes Debriefing
VLBWI.....	very-low-birth-weight infants
ZNS.....	zentrales Nervensystem
µg/kg.....	Mikrogramm pro Kilogramm

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einteilung der intrazerebralen Hämorrhagien in Abhängigkeit ihrer Lokalisation (34)...	16
Abbildung 2: Initiale Beurteilung des Neugeborenen a) Zufriedenstellende Anpassung b) Beeinträchtigte Anpassung c) Schwer beeinträchtigte bzw. nicht erfolgte Anpassung (44).....	21
Abbildung 3: Algorithmus der Neugeborenenreanimation (44)	25
Abbildung 4: Das PEARLS-Konzept im Debriefing (72).....	35
Abbildung 5: Flussdiagramm adaptiert nach PRISMA (74)	39
Abbildung 6: Cochrane RoB Zusammenfassung für randomisiert-kontrollierte Studien	40
Abbildung 7: Die Pyramide der klinischen Kompetenz (adaptiert nach Miller (121)).....	58
Abbildung 8: Die vier Level der Evaluation (adaptiert nach Kirkpatrick (127)).....	60

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Radiologische Stadieneinteilung des IRDS (nach Couchard und Giedion) (1).....	7
Tabelle 2: Einteilung der Apnoen (4)	9
Tabelle 3: Einteilung der BPD in Abhängigkeit von Atemunterstützung und inspiratorischer Sauerstoffkonzentration (25).....	11
Tabelle 4: Symptomatik einer Sepsis (4)	13
Tabelle 5: Erregerspektrum der EOS und LOS (4).....	14
Tabelle 6: Stadieneinteilung der intrazerebralen Hämorrhagien nach L.A. Papile (36).....	15
Tabelle 7: Begriffsdefinitionen des Ikterus neonatorum (1).....	17
Tabelle 8: NEK-Stadien nach Bell (adaptiert) (40)	19
Tabelle 9: Organspezifische Krankheitsmanifestationen der Asphyxie (4).....	20
Tabelle 10: Apgar-Score zur Klassifizierung des Schweregrades einer Adaptationsstörung (nach Virginia Apgar) (45)	23
Tabelle 11: Vorteile des Trainings in einer simulierten Umgebung (55)	29
Tabelle 12: Studiencharakteristika.....	44
Tabelle 13: INACSL Standards of Best Practice: Simulation Design (Übersetzung der Autorin) (95).....	52

1 Einleitung

1.1 Neonatologie

1.1.1 Begriffsdefinitionen

Die Neonatalperiode beschreibt die ersten vier extrauterinen Lebenswochen eines Kindes. Ein reifes Neugeborenes, auch Reifgeborenes oder englisch „term neonate“ genannt, bezieht sich auf eine Geburt zwischen der vollendeten 37. und 42. Schwangerschaftswoche (SSW), was einem Gestationsalter von 259-294 Tagen entspricht. Der Begriff Gestationsalter (englisch: gestational age) bezeichnet die Dauer einer Schwangerschaft beginnend mit dem ersten Tag der letzten Menstruation. Ein Frühgeborenes (preterm neonate) ist definiert als Neugeborenes, welches vor der vollendeten 37. Schwangerschaftswoche (<259 Tage) geboren wird. Übertragene Neugeborene (post-term neonate) weisen hingegen ein Gestationsalter von über 42 SSW (>294 Tage) auf. (1, 2)

Neugeborene lassen sich hinsichtlich ihres Geburtsgewichts in eutroph, hyper- bzw. hypotroph einteilen. Von Hypertrophie, Übergewicht oder large for gestational age (LGA) spricht man, wenn das Geburtsgewicht des Neugeborenen die 90. Perzentile überschreitet. Liegt das Geburtsgewicht eines Neugeborenen unter der 10. Perzentile, spricht man von Hypotrophie, Untergewicht oder Mangelgeburt/small for gestational age (SGA). Neugeborene, welche weniger als 1500 Gramm wiegen, werden als very-low-birth-weight infants (VLBWI) bezeichnet, während extremely-low-birth-weight infants (ELBWI) für Neugeborene unter 1000 Gramm steht. (3)

Die Frühgeburt macht circa 6,5% aller Geburten aus, wobei der Anteil der Kinder, die vor der 32. SSW geboren werden, bei etwa 1,5% liegt. (4) Die zugrundeliegenden Ursachen sind multifaktoriell und umfassen vorzeitige Wehentätigkeit, vorzeitigen Blasensprung, Amnioninfektionssyndrom, Schwangerschaftsvergiftung, Zervixinsuffizienz sowie Mehrlingschwangerschaften. 1970 lag die Überlebenswahrscheinlichkeit von VLBWI zwischen 15-40%. (4) Heutzutage überleben über 90% dieser Risikopatient*innen, wobei die Unreife der Organsysteme postnatal zahlreiche akute Erkrankungen sowie pulmonale und neurologische Schäden zur Folge haben kann. Dazu zählen unter anderem das Atemnotsyndrom (IRDS), die bronchopulmonale Dysplasie (BPD), intraventrikuläre Blutungen, Apnoen, die nekrotisierende Enterokolitis (NEK) sowie die Neugeborenenensepsis. Männliche Neugeborene und Mehrlinge weisen dabei geringere Überlebenschancen als weibliche Neugeborene und Einlinge derselben Gestationswoche auf. (4)

Die Überlebenswahrscheinlichkeit extremer Frühgeborener hat sich weltweit über die letzten Jahrzehnte stetig verbessert. Die sogenannte „Grenze der Lebensfähigkeit“ beschreibt jenes Gestationsalter, ab dem in Abhängigkeit von den Risikofaktoren und den elterlichen Wünschen ein Frühgeborenes aktiv behandelt werden sollte, und liegt heute zwischen 22+0 und 23+6 Schwangerschaftswochen. (5)

Die Perinatalperiode umfasst den Zeitraum von der 29. Schwangerschaftswoche bis zum 7. Lebensstag und ist charakterisiert durch die höchste Morbiditäts- und Mortalitätsrate im Laufe des gesamten Lebens. (1) Die perinatale Mortalität ist definiert als die Anzahl der Totgeborenen und in der ersten Lebenswoche verstorbenen Neugeborenen bezogen auf 1000 Lebendgeburten und dient als wichtiger Indikator für die Qualität der Schwangerschaftsbetreuung. Ursächlich sind neben medizinischen Gründen sozioökonomische Gegebenheiten wie sozialer Status, Bildungsstand und Intensität bzw. Qualität der Schwangerschaftsvorsorge. (1) In Industrieländern konnte die perinatale Mortalität aufgrund des medizinischen Fortschritts in den letzten 50 Jahren stark gesenkt werden und liegt heutzutage in Deutschland zwischen 5 und 6%. (6) Die Anzahl der totgeborenen Kinder macht dabei circa zwei Drittel aus. (1)

1.1.2 Ausgewählte relevante Krankheitsbilder der Neonatologie

1.1.2.1 IRDS (Atemnotsyndrom des Frühgeborenen)

Das Atemnotsyndrom des Frühgeborenen, auch infant respiratory distress syndrome (IRDS) genannt, entsteht aufgrund eines primären Surfactantmangels einer strukturell unreifen Lunge. (1) Vor Einführung der Surfactantsubstitution galt das IRDS als die häufigste Todesursache in der Neonatalperiode. (1) Die Inzidenz der Erkrankung steigt mit abnehmendem Gestationsalter und liegt bei Frühgeborenen unter der 26. SSW bei circa 80%. (1, 7)

Surfactant ist ein oberflächenaktives Phospholipidgemisch, welches dem Alveolarkollaps am Ende der Expiration vorbeugt und somit zur Stabilität des Alveolarsystems beiträgt. Ein Surfactantmangel führt über die Bildung von Atelektasen zur Minderbelüftung der Lunge, welche durch den Euler-Liljestrand-Mechanismus eine pulmonale Vasokonstriktion nach sich zieht. Aufgrund der daraus resultierenden pulmonalen Hypertension kommt es zur Ausbildung intra- und extrapulmonaler Shunts (Rechts-Links-Shunt auf Vorhofebene bzw. über den Ductus arteriosus). Diese Veränderungen können wiederum zu Azidose, Hypoxie und Veränderungen im Lungenmetabolismus führen, welche die de-novo-Synthese von Surfactant inhibieren und somit zu einem Circulus vitiosus beitragen. (4)

Betroffene Frühgeborene präsentieren sich klinisch mit Atemnotsymptomatik: Tachypnoe (mit Frequenzen von bis zu 100/Minute), Nasenflügeln, sternalen, jugulären und interkostalen Einziehungen sowie expiratorischem Stöhnen. Das klinische Bild wird durch eine Temperaturinstabilität und ein blass-graues Hautkolorit, welches aufgrund einer Störung der Mikrozirkulation entsteht, vervollständigt. (4)

Die Diagnose eines IRDS wird anhand der klinischen Symptomatik, der Blutgasanalyse (Hypoxämie und Normo- bis Hyperkapnie) und des Thoraxröntgens gestellt. (4) Radiologisch kann man das IRDS nach Couchard und Giedion in 4 Stadien einteilen (siehe Tabelle 1).

Stadium	Radiologisches Korrelat
I	Feingranuläre Lungenzeichnung
II	I + über den Herzrand reichendes Luftbronchopneumogramm
III	II + Auslöschung der Herz-/Zwerchfellkonturen
IV	„Weiße Lunge“ (komplette Atelektase)

Tabelle 1: Radiologische Stadieneinteilung des IRDS (nach Couchard und Giedion) (1)

In den letzten Jahren hat der Lungenultraschall bei der Diagnosestellung und Therapiesteuerung an Bedeutung gewonnen. (8)

Die Therapie des IRDS richtet sich nach dem Schweregrad der Erkrankung und umfasst sowohl symptomatische als auch kausale Maßnahmen. Ziel der Behandlung ist es, einen adäquaten Gasaustausch bei physiologischer Hämodynamik aufrechtzuerhalten. Führt die initiale Atemunterstützung und Gabe von Sauerstoff nicht zu einer Stabilisierung des Zustandsbildes, kann ein Nasen-CPAP (Continuous Positive Airway Pressure) als weiterführende Therapie eingesetzt werden. (4, 9)

Bei der Atemunterstützung mittels CPAP wird, wie der Name schon sagt, während des gesamten Atemzyklus ein positiver Atemwegsdruck aufrechterhalten. (10) Im Gegensatz zur physiologischen Atmung, bei der sich der Atemwegsdruck am Ende der Expiration dem atmosphärischen Niveau annähert, fällt der Atemwegsdruck bei der CPAP-Beatmung nie unter den eingestellten PEEP (positive end-expiratory pressure) ab. Dies hat zur Folge, dass ein größeres funktionelles Residualvolumen in der Lunge verbleibt, wodurch der Alveolar-kollaps verhindert und die Compliance der Lunge erhöht wird. Die Atemarbeit kann somit insgesamt erleichtert und der Gasaustausch verbessert werden. (10, 11)

Bei Vorliegen einer deutlichen Ventilations- und Oxygenierungsstörung, kann eine Intensivierung der Therapie durch intermittierende oder kontrollierte maschinelle Beatmung über einen endotrachealen Tubus notwendig werden. Dabei ist eine engmaschige Überwachung

durch kontinuierliche Pulsoxymetrie, regelmäßige Blutgasanalysen und Blutdruckkontrollen essenziell. (4, 9)

Die kausale Therapie des IRDS besteht aus der endotrachealen Applikation von Surfactant, welche über Intubation und maschinelle Beatmung oder durch weniger invasive Methoden wie InSurE (Intubation-Surfactant-Extubation) oder LISA (Less Invasive Surfactant Administration) erfolgen kann. (9, 12) Im Vergleich zur InSurE-Methode scheint LISA bei geringerer Invasivität genauso effektiv zu sein und stellt damit eine gute Alternative dar. (12, 13, 14)

Die Prophylaxe des IRDS besteht in erster Linie in der Vermeidung einer Frühgeburt. (15) Bei Frühgeburtsbestrebungen vor Ende der 34+0 SSW erfolgt empfehlungsgemäß eine Induktion der Lungenreifung unter Tokolyse (Wehenhemmung). (15) Dabei muss vor der Geburt eine zweimalige intramuskuläre Gabe eines Glukokortikoids (Betamethason oder Dexamethason) im Abstand von 24 Stunden an die schwangere Frau erfolgen. (4, 9, 15) Die Gabe von antenatalen Glukokortikoiden führt dabei nicht nur zur Reduktion von Inzidenz und Schweregrad des IRDS, sondern auch zu einem verringerten Auftreten von anderen Morbiditäten wie NEK oder intraventrikulärer Hämorrhagie (IVH) sowie zu einem verbesserten Gesamtüberleben extremer Frühgeborener. (16, 17)

1.1.2.2 Transiente Tachypnoe bei Neugeborenen (TTN)

Die transiente Tachypnoe (Synonym: transientes Atemnotsyndrom bei Neugeborenen, fluid/wet lung) entsteht aufgrund einer verzögerten Resorption von intraalveolärer Flüssigkeit über die Lymph- und Blutgefäße. Die Erkrankung betrifft dabei vor allem Reifgeborene oder späte Frühgeborene (late preterm infants) und tritt direkt nach der Geburt auf. Betroffene Neugeborene zeigen in der Regel eine Tachypnoe sowie weitere Atemnotsymptomatik (Stöhnen, Einziehungen, Nasenflügeln und gelegentlich auftretende Zyanose). Zu den seltensten, aber gefürchtetsten Komplikationen der TTN zählt die Entwicklung einer persistierenden pulmonalen Hypertonie. Risikofaktoren für das Auftreten einer TTN sind unter anderem die „Wunsch“-Sectio caesarea vor der vollendeten 38. SSW bzw. Sectio-Entbindung am wehenlosen Uterus, männliches Geschlecht, hohes Geburtsgewicht, perinatale Asphyxie sowie mütterlicher Diabetes mellitus. Die Diagnosestellung erfolgt meist klinisch durch Ausschluss anderer pulmonaler Erkrankungen (z.B. neonatale Pneumonie). Die Indikation eines Thoraxröntgens ist bei anhaltendem Sauerstoffbedarf zur Differenzialdiagnostik gegeben, wobei zentrale Verdichtungen und periphere Überblähung das radiologische Korrelat der TTN darstellen. Auch bei diesem Krankheitsbild hat der Lungenultraschall bei der

Diagnosestellung an Bedeutung gewonnen. (8) Die Therapie der „Flüssigkeitslunge“ erfolgt symptomatisch und besteht in der Gabe von Sauerstoff und/oder der Applikation von CPAP, einer flüssigkeitsrestriktiven Bilanzierung sowie der Reduktion der oralen Ernährung. (1, 4)

1.1.2.3 Apnoesyndrom des Frühgeborenen

Apnoen sind definiert als Atempausen >20 Sekunden bzw. <20 Sekunden mit begleitender Bradykardie/Hypoxämie. Eine Hypoxämie beschreibt einen über vier Sekunden dauernden Abfall der arteriellen Sauerstoffsättigung unter 80%. Von Bradykardie spricht man, wenn die Herzfrequenz eines Neugeborenen für über 10 Sekunden unter 80 Schläge pro Minute sinkt (<100/Minute bei Frühgeborenen). (3, 4)

Frühgeborene, insbesondere jene mit einem Geburtsgewicht unter 1000 Gramm, haben nach der Geburt regelhaft Schwierigkeiten ihre kardiorespiratorischen Funktionen auf einem stabilen Niveau zu halten. Das Apnoe-Bradykardie-Hypoxämie-Syndrom, auch Frühgeborenen-Apnoesyndrom genannt, wird durch die Unreife des Atemzentrums sowie der intra- und extrapulmonalen Atemwege und die Persistenz fetaler Reaktionsweisen verursacht. Frühgeborene reagieren auf Hypoxie typischerweise mit Apnoe, ein Reifgeborenes hingegen mit Tachypnoe. (3, 4) Die Einteilung der Apnoen erfolgt in zentrale, obstruktive und gemischte Apnoen (siehe Tabelle 2).

Zentrale Apnoe	Fehlende Atembewegungen und Luftfluss
Obstruktive Apnoe	Fehlender Luftfluss, Atembewegungen vorhanden
Gemischte Apnoe	Erst obstruktive, dann zentrale Apnoe (oder umgekehrt)
Primäre Hypoxämie	Erst SpO ₂ -Abfall, dann Apnoe und Abfall der Herzfrequenz

Tabelle 2: Einteilung der Apnoen (4)

Apnoen treten bei Frühgeborenen meist ohne das Vorhandensein anderer, zugrundeliegender Erkrankungen auf und sind als physiologisch anzusehen. Mit zunehmender Dauer der Apnoe und zunehmendem Schweregrad von Bradykardie und Hypoxämie werden diese jedoch pathologisch und bedürfen einer Behandlung. Prolongierte Atempausen können auch das Symptom von Grunderkrankungen wie Sepsis, Meningitis, NEK oder einem persistierendem Ductus arteriosus sein, welche differentialdiagnostisch auszuschließen sind, bevor die Diagnose eines Frühgeborenen-Apnoesyndroms gestellt werden kann. (4) Speer et al. (4, 18) schrieb treffend: „Prinzipiell sind Apnoen solange verdächtig auf eine Sepsis, bis das Gegenteil bewiesen ist.“

Die Diagnosestellung erfolgt unter Zusammenschau von Laborparametern, Thoraxröntgen, Echokardiographie und Sonographie des Schädels und dient dem Ausschluss einer Sepsis,

eines Atemnotsyndroms, eines Herzfehlers oder einer IVH. Die Therapie des Apnoe-Bradykardie-Hypoxämie-Syndroms ist abhängig von der Häufigkeit und dem Schweregrad der Apnoe. Durch konservative Maßnahmen (Lagerung, Stimulation des Frühgeborenen) oder medikamentöse Stimulation mit Methylxanthinen kann häufig eine Wiederaufnahme der spontanen Atemtätigkeit erzielt werden. Coffein gehört zusammen mit Theophyllin zur Gruppe der Methylxanthine und stellt neben dem Pyrrolinon-Derivat Doxapram ein zentrales Medikament in der Neonatologie dar. (19) Der Wirkmechanismus beruht auf einer Antagonisierung des Adenosinrezeptors, wodurch es zur Stimulation des zentralen Nervensystems (ZNS) und des Atemzentrums kommt. (19) Des Weiteren führen Methylxanthine zur Erhöhung der Hyperkapnie-Empfindlichkeit und der Zwerchfellkontraktilität. (20, 21) Schmidt et al. (19) konnten 2007 in einer großen randomisiert-kontrollierten Studie ebenfalls neuroprotektive Effekte von Coffein belegen. Diese Effekte scheinen auf einer verbesserten Sauerstoffextraktion zu beruhen, welche wiederum zu einer Stimulierung des Stoffwechsels im ZNS und so zu einem verbesserten entwicklungsneurologischen Outcome führt. (22)

Um dem Auftreten von Apnoen bzw. Hypoxämien entgegenzuwirken, kommt vor allem bei extrem unreifen Frühgeborenen der Nasen-CPAP regelmäßig zur Anwendung. Unklar ist noch, ob ein biphasischer gegenüber dem konventionellen Nasen-CPAP einen Vorteil in der Apnoe-Prophylaxe bietet. (23, 24) Suresh et al. (23) konnten in ihrer randomisiert-kontrollierten Studie keinen Vorteil des biphasischen gegenüber dem konventionellen Nasen-CPAP feststellen.

Führen all die genannten Maßnahmen nicht zu einer Stabilisierung des respiratorischen Zustandes, ist eine endotracheale Intubation und maschinelle Beatmung erforderlich. (4)

1.1.2.4 Bronchopulmonale Dysplasie (BPD)

Die bronchopulmonale Dysplasie ist eine chronische Lungenerkrankung, welche in erster Linie als Komplikation des IRDS bei Frühgeborenen auftritt und daher auch als Beatmungslunge bezeichnet wird. Sowohl die Toxizität des vermehrt zugeführten Sauerstoffs als auch das mechanische Trauma, welches durch die maschinelle Beatmung entsteht, ist ursächlich an der Entstehung dieser Erkrankung beteiligt. Die Folge ist eine pulmonale Inflammationsreaktion, welche bei Persistenz der Noxe zur Ausbildung einer Fibrose und eines Lungenemphysems führt. Weitere Risikofaktoren für das Auftreten einer BPD sind prä- und postnatale Infektionen sowie eine intrauterine Wachstumsrestriktion. In den meisten Fällen scheint ein Atemnotsyndrom und die damit einhergehende Beatmung für die Entwicklung

einer „Beatmungslunge“ verantwortlich zu sein, jedoch ist dies nicht als unbedingte Voraussetzung anzusehen, da ein kleiner Teil sehr unreifer Frühgeborener eine BPD trotz scheinbar gesunder Lunge und ohne je beatmet worden zu sein entwickelt. (1, 3, 4)

Laut dem National Institute of Health liegt eine BPD vor, wenn ein Frühgeborenes (Gestationsalter <32 SSW) mit persistierenden radiologischen Zeichen einer Lungenparenchymerkrankung 36 Wochen post menstruationem respiratorische Unterstützung für mehr als drei Tage benötigt, um die arterielle Sauerstoffkonzentration zwischen 90-95% zu halten. (25) Nach Schweregrad der Erkrankung und Grad der benötigten Unterstützung können drei Schweregrade der BPD unterschieden werden (siehe Tabelle 3).

	Invasive IPPV	N-CPAP, NIPPV, NC ≥3 l/min.	NC 1-3 l/min.	NC <1 l/min.
Grad I		0,21	0,22-0,9	0,22-0,70
Grad II	0,21	0,22-0,29	≥0,30	≥0,70
Grad III	>0,21	≥0,30		
Grad IIIa	Früher Tod (zwischen 14 Tagen postnatal und 36 Wochen post menstruationem) durch respiratorisches Versagen, das nicht durch andere Ursachen erklärbar ist			

Tabelle 3: Einteilung der BPD in Abhängigkeit von Atemunterstützung und inspiratorischer Sauerstoffkonzentration (25)

IPPV: intermitt positive pressure ventilation, N-CPAP: nasal continuous positive airway pressure, NIPPV: non-invasive positive pressure ventilation, NC: nasal cannula

Im Röntgenbild imponiert eine BPD durch streifig-fleckige, röntgendichte Veränderungen und ist durch ein paralleles Auftreten von dystelektatischen und überblähten Lungenarealen gekennzeichnet. (4)

Frühgeborene mit BPD benötigen häufig über einen längeren Zeitraum eine mechanische Ventilation, zeigen mitunter eine schwierige und langwierige Entwöhnungs- und Extubationsphase und weisen nach erfolgreicher Extubation oft eine persistierende Atemnot mit anhaltendem Sauerstoffbedarf und Atemnotsymptomatik (Tachypnoe, interkostale, jugulare und sternale Einziehungen) auf.

Infolge der BPD kann es zu einer bronchialen Hyperreagibilität kommen, weshalb betroffene Kinder in den ersten zwei Lebensjahren rezidivierende Episoden einer obstruktiven Bronchitis zeigen können und im Verlauf zur Entwicklung eines Asthma bronchiale neigen. Die BPD trägt außerdem zur Entstehung eines pulmonalen Hypertonus bei, welcher durch Rechtsherzbelastung zu einem Cor pulmonale führen kann und rezidivierende pulmonale Infekte begünstigt. Durch die erhöhte Atemarbeit kann zudem eine Gedeihstörung auftreten.

(4) Zu den Langzeitfolgen der BPD zählt die „post-prematurity respiratory disease“, welche durch chronische respiratorische Symptome wie Husten, Giemen, reduzierte Lungenfunktion und eingeschränkte körperliche Leistungsfähigkeit charakterisiert ist. (4, 26)

Präventive und therapeutische Maßnahmen umfassen neben medikamentösen Maßnahmen die postnatale Stabilisierung mittels nicht-invasiver Atemunterstützung wie Nasen-CPAP und Vermeidung einer endotrachealen Intubation und mechanischen Beatmung, die möglichst rasche Entwöhnung vom Respirator, hochkalorische Ernährung, Flüssigkeitsrestriktion und Physiotherapie. (4, 27) Pharmakologisch kommen Coffein, Surfactant, Vitamin A, Steroide und Diuretika zur Anwendung, wobei systemische Kortikosteroide aufgrund der potenziellen Nebenwirkungen nur restriktiv eingesetzt werden sollten. Die Anwendung von Dexamethason (insbesondere in der ersten Lebenswoche) wurde lange mit einem erhöhten Risiko für die Entwicklung einer Zerebralparese in Verbindung gebracht. (4, 27) In neuesten Metaanalysen hat sich jedoch gezeigt, dass Dexamethason bei Hochrisikokindern als verhältnismäßig sicher eingestuft werden kann und sich damit die Chance auf eine frühere Extubation erhöht. (27) Neben der Behandlung der pulmonalen Hypertonie ist die Vermeidung pulmonaler Infekte, häufig durch das Respiratorische Synzytial-Virus (RSV) ausgelöst, von großer Bedeutung. Patient*innen mit BPD weisen ein erhöhtes Risiko für schwere Verläufe von RSV-Infektionen auf, weshalb eine passive Immunisierung (derzeit mit Palivizumab) empfohlen ist. (1, 3, 4, 27)

1.1.2.5 Sepsis

Eine Sepsis ist definiert als lebensbedrohliche Komplikation einer fehlregulierten Immunantwort infolge einer Infektion. (28) Voraussetzung für das Vorliegen einer Sepsis ist der Nachweis von pathologischen Erregern in der Blutkultur, auch Septikämie genannt. Liegen Symptome einer Sepsis ohne positiven Erregernachweis in der Blutkultur vor, spricht man von einer systemischen Entzündungsreaktion (SER, oder engl. SIRS = systemic inflammatory response syndrome). Bei einer schweren Sepsis kann es zu einem Abfall des Blutdrucks und konsekutiv zu einem Organversagen kommen. (1, 29)

Tritt zusätzlich zu den Sepsiskriterien noch ein Blutdruckabfall, welcher refraktär gegenüber Volumen- und Katecholamingabe ist, oder ein Laktatanstieg über 2 mmol/l auf, spricht man von einem septischen Schock. (28)

In Abhängigkeit des Zeitpunkts lässt sich die Neugeborenen-sepsis in Early-Onset-Sepsis (EOS) und Late-Onset-Sepsis (LOS) unterteilen.

Die EOS tritt in den ersten 72 Stunden nach der Geburt auf, wobei die Erreger meist aus der mütterlichen Rektovaginalflora stammen. Auf dem Boden einer neonatalen Pneumonie entwickeln betroffene Neugeborene eine systemische Infektion mit zum Teil fulminantem Verlauf. Risikofaktoren für das Auftreten einer EOS sind vorzeitiger Blasensprung, Amnioninfektionssyndrom, Fieber der Mutter bzw. erhöhte mütterliche Entzündungsparameter unter der Geburt sowie Frühgeburtlichkeit. (1, 4, 29)

Die LOS tritt meist 72 Stunden bis 7 Tage nach der Geburt auf und wird durch Erreger aus dem postnatalen Umfeld oder der Krankenhausumgebung (nosokomiale Sepsis) verursacht. Neugeborene mit LOS können sich mit Meningitis präsentieren, wobei der Krankheitsverlauf von foudroyant bis langsam progredient variiert. (29)

Die Symptome einer Neugeborenen-sepsis können vielseitig und unspezifisch sein (siehe Tabelle 4).

Organsysteme	Symptome
Respirationstrakt	Tachypnoe, Dyspnoe, Apnoe
Gastrointestinaltrakt	Trinkschwäche, Erbrechen, abdominelle Distension
Herz-Kreislauf-System	Blässe, grau-marmoriertes Hautkolorit, Multiorganversagen, septischer Schock
ZNS	Lethargie, Krampfanfälle, Hyperthermie, Hypothermie

Tabelle 4: Symptomatik einer Sepsis (4)

Zu Lokalmanifestationen der Sepsis zählen unter anderem: Meningitis, Pneumonie, Harnwegsinfektionen, Osteomyelitis sowie Haut- und Weichteilinfektionen. Entzündungsparameter wie C-reaktives Protein, Interleukin-6, PCT (Procalcitonin), der I/T-Quotient (immature/total neutrophils) und die Gesamtzahl der Leukozyten können zur (Früh-)Erkennung und Bestimmung des Schweregrads der Sepsis beitragen. (30) Da die Isolation eines Erregers für die antibiotische Therapie essenziell sein kann, sind bakteriologische Untersuchungen in Blut, Harn und Liquor (bei Meningitisverdacht) angezeigt. (1, 4, 29, 30)

Die Unterscheidung in EOS und LOS ist besonders in Hinblick auf den Infektionsweg und das Erregerspektrum für die antibiotische Therapie von Interesse. (29) Die wesentlichen bakteriellen Erreger der Früh- bzw. Spätsepsis sind Tabelle 5 zu entnehmen. (4)

Die Einleitung einer antibiotischen Therapie beim ersten klinischen Verdacht auf eine bakterielle Sepsis ist entscheidend, da sich die Prognose im septischen Schock wesentlich verschlechtert. Bis zum Eintreffen der Ergebnisse der bakteriologischen Untersuchungen erfolgt die Therapie empirisch. Die adjuvante Therapie ist ebenso wichtig wie die antibiotische

Therapie und umfasst in Abhängigkeit von der Klinik frühzeitige respiratorische Unterstützung bzw. Beatmung, Stabilisierung des Blutdrucks, Volumengabe, Katecholamintherapie und Ausgleich einer allfälligen Hypoglykämie, Anämie, des Säure-Basen-Haushalts und der Elektrolyte. (1, 4, 29) Schwangeren, welche eine vaginale Besiedelung mit B-Streptokokken oder weitere Risikofaktoren (vorzeitige Wehen/Blasensprung) aufweisen, werden zur Prophylaxe einer Neugeborenenensepsis intrapartal mit einem Antibiotikum behandelt. (4)

Die Candida-Spezies stellt die häufigste Ursache für die Pilzsepsis des Neugeborenen dar und ist der dritthäufigste Erreger, welcher bei einer LOS isoliert werden kann. (31) Die Inzidenz der invasiven Candidiasis verhält sich invers proportional zum Geburtsgewicht und liegt bei ELBWI zwischen 7-20%. (32) Zu den Risikofaktoren gehören neben dem Geburtsgewicht unter anderem Langzeitintubation, Kortikosteroidtherapie und parenterale Ernährung. (31) Die Mortalität ist insbesondere bei ELBWI sehr hoch (bis zu 25%), weshalb bei Risikopatient*innen eine Prophylaxe mit Fluconazol angedacht werden kann. (32) Behandelt wird die Pilzsepsis des Neugeborenen mit systemischen Antimykotika wie Amphotericin B oder Fluconazol. (33)

Early-Onset-Sepsis	Late-Onset-Sepsis
Gruppe B-Streptokokken	Escherichia coli
Escherichia coli	Staphylococcus epidermidis
Staphylococcus aureus	Klebsiella-Enterobacter-Spezies
Listeria monocytogenes	Proteus-Spezies
Enterokokken	Gruppe B-Streptokokken
	Candida albicans

Tabelle 5: Erregerspektrum der EOS und LOS (4)

1.1.2.6 Intrakranielle Blutungen und periventriculäre Leukenzephalomalazie

Intrakranielle Hämorrhagien werden je nach Lokalisation in subependymale, periventriculäre und intraventriculäre Blutungen (IVH) eingeteilt (siehe Abbildung 1). (34) Prädisponiert sind vor allem Frühgeborene mit niedrigem Geburtsgewicht. (1) Die Inzidenz verhält sich invers proportional zum Gestationsalter und erreicht innerhalb der ersten drei bis fünf Lebenstage ihr Maximum. (1) Bei Frühgeborenen zwischen der 24.-28. SSW liegt sie bei 8%. (35)

Ursächlich steht neben der Unreife des Gewebes eine gestörte Blutdruckautoregulation sowie eine erhöhte Fragilität der Kapillaren im Vordergrund. Zusätzliche Risikofaktoren stel-

len Faktoren wie Hypothermie, mechanische Beatmung, Blutdruckschwankungen, postnataler Transport oder eine zu grobe Handhabung der Frühgeborene dar. (1, 4) Die Einteilung der IVH erfolgt nach L. A. Papile in vier Stadien (siehe Tabelle 6).

Stadium	
I	Isolierte Blutung in der germinalen Matrix (IVH 1)
II	Intraventrikuläre Blutung ohne Ventrikeldilatation (IVH 2)
III	Intraventrikuläre Blutung mit akuter Ventrikeldilatation (IVH 3)
IV	Intraventrikuläre und intraparenchymatöse Blutung (PVH)

Tabelle 6: Stadieneinteilung der intrazerebralen Hämorrhagien nach L.A. Papile (36)

In Abhängigkeit des Stadiums zeigen Frühgeborene unspezifische Symptome wie Apnoe, Bradykardie, arterielle Hypotonie, blass-graues/zyanotisches Hautkolorit, Lethargie oder Krampfanfälle. Ebenfalls auftreten können Hyperglykämie, Hyperkaliämie oder ein Abfall des Hämatokrits. Mithilfe einer zerebralen Sonographie oder einer Magnetresonanztomographie (MRT) kann sowohl die Ausdehnung als auch der Verlauf der intraventrikulären Blutung bestimmt werden. Bei subduralen und subarachnoidalen Blutungen ist die MRT der Sonographie überlegen. Aufgrund der geringen Spezifität der Symptome muss differenzialdiagnostisch auch an eine Sepsis, eine Meningitis oder eine hypoxische Hirnschädigung gedacht werden. (1, 3, 4)

Der Verlauf einer intrazerebralen Blutung reicht von einer Spontanremission über die Entwicklung einer Ventrikulomegalie und eines posthämorrhagischen Hydrozephalus (PPH) bis zum Exitus letalis. Die Ursache eines PPH besteht in der Liquorzirkulationsstörung, welche durch Blutabbauprodukte und Mikrothrombosierung entsteht. Die Folge ist eine Ventrikeldilatation und eine damit einhergehende Zunahme des Kopfumfangs. (4)

Da keine kausale Therapie möglich ist, erfolgt die Behandlung der intrazerebralen Blutung symptomatisch und umfasst Maßnahmen zur Schockbekämpfung, den Ausgleich des Säure-Base-Haushalts und der Elektrolyte, im Falle von Krampfanfällen die Gabe von Antikonvulsiva, Physiotherapie und Entwicklungsförderung. Ein PPH kann versuchsweise durch eine serielle Liquorpunktion entlastet werden. Führt dies jedoch nicht zu einer Verbesserung des Beschwerdebilds muss eine Shuntimplantation erfolgen.

Die Prognose hängt von unterschiedlichen Faktoren ab und verschlechtert sich mit abnehmendem Gestationsalter/Geburtsgewicht und zunehmender Ausdehnung der Blutung. Bei leichten Blutungen treten in der Regel keine neurologischen Defizite auf. (3)

Die periventrikuläre Leukenzephalomalazie (PVL) ist als ischämische Schädigung der weißen Substanz definiert. Es kommt hierbei zum Absterben von Hirnzellen im dorsalen und lateralen Bereich der Seitenventrikel (= periventrikulär) in der sogenannten germinativen Matrix. Die zystische PVL tritt in Form von periventrikulären Zysten lateral der Seitenventrikel auf. Der Häufigkeitsgipfel liegt bei Frühgeborenen mit einem Gestationsalter zwischen der 28.-32. SSW, da in diesem Zeitraum die gliale Multiplikation erfolgt. (4)

Die häufigste Ursache für eine PVL stellt eine Chorioamnionitis dar. Andere Faktoren, welche die Blutversorgung des Fetus beeinträchtigen und somit zur PVL beitragen können, sind maternale Blutungen, Plazentalösungen und Komplikationen einer Mehrlingsgravidität wie das fetto-fetale Transfusionssyndrom. Die typische neurologische Konsequenz einer PVL stellt die spastische Diplegie dar, welche vor allem die untere Extremität betrifft. Ist die laterale Ausdehnung der Läsion groß, kann auch eine Beeinträchtigung der oberen Extremität oder des Intellekts vorliegen. (4)

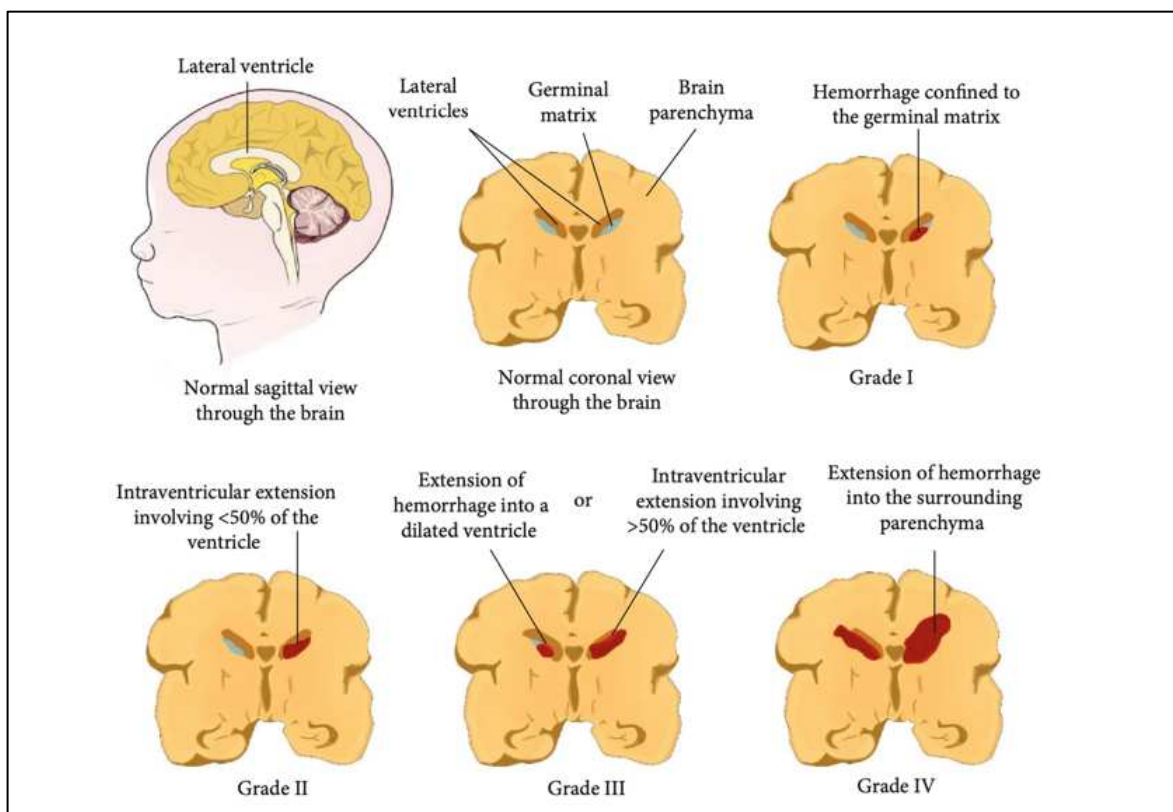


Abbildung 1: Einteilung der intrazerebralen Hämorrhagien in Abhängigkeit ihrer Lokalisation (34)

1.1.2.7 Ikterus neonatorum

Ein Ikterus beschreibt die Gelbfärbung von Haut und/oder Skleren aufgrund eines erhöhten Serum-Bilirubinspiegels. (1) Neben dem physiologischen Ikterus existieren drei pathologische Verlaufsformen, welche je nach Zeitpunkt des Auftretens und Höhe des Gesamtbilirubins in Ikterus gravis, Ikterus praecox und Ikterus prolongatus eingeteilt werden können (siehe Tabelle 7).

Physiologischer Ikterus	Gesamtbilirubin max. 15 mg/dl in den ersten 3-6 Tagen mit Rückbildung bis zum 10. Lebenstag
Ikterus gravis	Gesamtbilirubin >15 mg/dl bei Reifgeborenen, Gesamtbilirubin >10 mg/dl bei Frühgeborenen
Ikterus praecox	Gesamtbilirubin >12 mg/dl innerhalb der ersten 24h
Ikterus prolongatus	Erhöhter Bilirubinspiegel nach dem 10. Lebenstag

Tabelle 7: Begriffsdefinitionen des Ikterus neonatorum (1)

Grund für die physiologische postnatale Hyperbilirubinämie ist neben der verkürzten Lebensdauer der Erythrozyten von Neugeborenen eine verlangsamte Verstoffwechslung von Bilirubin und ein gesteigerter enterohepatischer Kreislauf. Abgesehen von einer Gelbfärbung der Haut und Skleren ist der physiologische Ikterus asymptomatisch und bedarf in der Regel keiner Behandlung. (4, 37)

Ursache einer pathologischen Hyperbilirubinämie kann eine gesteigerte Hämolyse sein, welche infolge von Blutgruppeninkompatibilität, neonatalen Infektionen, Enzym- und Membrandefekten (Sphärozytose) sowie Hämoglobinopathien (Thalassämie) auftritt. Auch genetische Erkrankungen, wie das Crigler-Najjar-Syndrom oder Gilbert-Meulengracht-Syndrom, die durch eine gestörte Bilirubinkonjugation gekennzeichnet sind, können zur Entstehung eines pathologischen Ikterus beitragen. (4, 37)

Das unkonjugierte Bilirubin, welches nicht an Albumin gebunden ist, weist lipophile Eigenschaften auf und kann daher die Bluthirnschranke überwinden. Unbehandelt kann es bei schwerer Hyperbilirubinämie daher zur irreversiblen Schädigung der Basalganglien, des Globus pallidus und des Nucleus caudatus kommen, wodurch das Krankheitsbild des Kernikterus (Synonym: Bilirubinenzephalopathie) entsteht. (4, 37)

Neugeborene mit Kernikterus werden durch Symptome wie Trinkschwäche, Erbrechen, Hypotonie oder ein schrilles Schreien auffällig. Zu den Spätsymptomen zählen zerebrale Krampfanfälle, eine ophistotone Körperhaltung und muskuläre Hypotonie. Wird die Erkrankung überlebt, präsentieren sich betroffene Kinder meist mit beidseitiger Taubheit, geistiger

Retardierung und choreoathetoiden Bewegungsmustern. (1, 4, 37) Die zerebrale Schädigung, welche durch die Bilirubinezephalopathie verursacht wird, ist irreversibel. (4)

Ziel ist es also, Neugeborene mit pathologischem Ikterus rechtzeitig einer Therapie zuzuführen, wobei in Abhängigkeit des Schweregrades zwischen Phototherapie oder Blutaustauschtransfusion gewählt werden kann. (4) Bei der Phototherapie wird das in der Haut vorhandene indirekte, hydrophobe Bilirubin durch Blaulicht (Wellenlänge 445 nm) in wasserlösliche, nichttoxische Bilirubinisomere umgewandelt, welche über Urin und Galle ausgeschieden werden können. Zu den Nebenwirkungen der Phototherapie zählen unter anderem Temperaturinstabilität, vermehrter Flüssigkeitsverlust und Dehydratation. Wichtig ist es also, neben dem Schutz der Gonaden (durch die Windel) und Augen (durch eine Schutzbrille) auf eine ausreichende Flüssigkeitszufuhr zu achten. (4)

Die Phototherapiegrenze liegt bei einem reifen Neugeborenen etwa bei 20 mg/dl. Steigt der Bilirubinwert über 25 mg/dl muss die Therapie durch Blutaustauschtransfusionen intensiviert werden. Blutaustauschtransfusionen sind jedoch insbesondere bei kranken Neugeborenen und Frühgeborenen mit erhöhter Morbidität und Mortalität verbunden, weshalb diese nur bei Versagen der Phototherapie zum Einsatz kommen sollte. Additiv sind eine adäquate Flüssigkeitsbilanzierung, Stuhlsorge und Immunglobuline als kausale Therapie im Falle des immunhämolytischen Ikterus von Bedeutung. (1, 3, 4, 37)

1.1.2.8 Nekrotisierende Enterokolitis (NEK)

Die NEK ist eine transmurale, ischämisch-nekrotisierende Entzündung der Darmwand mit der möglichen Folge einer Durchwanderungsperitonitis und Sepsis. Prädisponiert sind vor allem kleine und untergewichtige Frühgeborene in den ersten Lebenswochen, wobei die Letalität bei ELBWI bis zu 50% beträgt. (38) Die Ursache der NEK ist multifaktoriell, Infektionen und eine Vorschädigung der Darmwände durch Minderperfusion, Hypoxämie oder Toxine scheinen jedoch die Hauptrolle zu spielen. Risikofaktoren für das Auftreten dieser Erkrankung umfassen mütterliche (Harnwegsinfektionen, kardiale Vitien), peripartale (Asphyxie, Azidose, IRDS, niedriges Gestationsalter) und kindliche (Schock, Sepsis, Medikamente) Faktoren.

Ähnlich einer Sepsis können die Symptome einer NEK unspezifisch sein. Werden die Kinder jedoch oral ernährt, überwiegen Abdomen-spezifische Symptome wie galliges Erbrechen, Durchfall, Meläna, Hämatochezie, Meteorismus oder Zeichen einer Peritonitis. (1, 3, 4, 39)

Die Diagnosestellung der NEK erfolgt in Zusammenschau von Klinik, Labor und Bildgebung. Im Abdomen-leer-Röntgen oder der Sonographie zeigt sich mitunter ein charakteristisches Bild mit Spiegelbildung, Pneumatosis intestinalis, Pneumoperitoneum bei Darmperforation bis hin zur hepatoportalen Gasansammlung (Bell-Stadium III). (4) In Abhängigkeit der Schwere der Erkrankung lässt sich die NEK nach Bell in drei Stadien einteilen (siehe Tabelle 8).

Bell-Stadien	Symptome	Röntgen	Therapie	Überleben (%)
I	Geblähter Bauch, Erbrechen	Subileus	Konservativ	100
II	+ Abdomen gespannt, Blutung	Ileus, Pneumatosis intestinalis, Pfortadergas	Konservativ	95
III	+ Schock, respiratorische und Kreislaufinsuffizienz, Bauchdecke infiltriert	+ Pneumoperitoneum	Operativ	50

Tabelle 8: NEK-Stadien nach Bell (adaptiert) (40)

Die Therapie der NEK umfasst neben dem sofortigen Absetzen jedweder oraler Nahrung das Legen einer Magensonde zur gastralen Entlastung, die Gabe von Antibiotika sowie eine totale parenterale Flüssigkeits- und Nährstoffzufuhr. Im Falle von kardiorespiratorischen Symptomen wie Apnoe oder Kreislaufinsuffizienz gilt es diese symptomatisch, z.B. durch mechanische Beatmung bzw. medikamentöse Kreislauftherapie, zu behandeln. Eine chirurgische Therapie wird bei Perforation oder Zeichen einer transmuralen Nekrose mit hoher Perforationsgefahr notwendig. Präventive Maßnahmen umfassen pränatale Lungenreifung durch Glukokortikoide, frühe enterale Ernährung mit Mutter- bzw. Frauenmilch, Kreislaufstabilisierung und die Vermeidung einer Darmischämie. (3)

1.1.3 Neonatologische Notfälle

In der Neonatologie zählt der Herzkreislaufstillstand zu den seltensten, jedoch zu den schwerwiegendsten Notfällen. Man kann den Herzkreislaufstillstand im perinatalen Setting (postnatale Asphyxie), im stationären Setting (Neonatal Intensive Care Unit [NICU]) und im nicht-stationären Setting unterscheiden.

1.1.3.1 Perinatale Asphyxie

Die perinatale Asphyxie zählt mit 900 000 verstorbenen Neugeborenen weltweit pro Jahr zu den häufigsten Todesursachen in der Perinatalperiode und kann in Abhängigkeit des Ausprägungsgrades bei Überlebenden zum gefürchteten Krankheitsbild der hypoxisch-ischämischen Enzephalopathie (HIE) führen. (1, 41)

Um von einer Asphyxie sprechen zu können muss laut der American Academy of Pediatrics und dem American College of Obstetrics and Gynecology im Rahmen eines unmittelbaren perinatalen Ereignisses eine Azidose mit einem $\text{pH} \leq 7,00$ und ein Basendefizit ≥ 12 mmol/l im arteriellen Nabelschnurblut in Kombination mit einer nachgewiesenen Organfunktionsstörung vorliegen. (42) Die Asphyxie verursacht hypoxisch-ischämische Läsionen bzw. transiente oder permanente Störungen verschiedenster Organsysteme und kann zu folgenden Krankheitsbildern führen (siehe Tabelle 9).

ZNS	HIE, intrazerebrale Blutungen
Herz-Kreislauf-System	Arterielle Hypotonie, myokardiale Ischämie
Lunge	Persistierende fetale Zirkulation, pulmonaler Hypertonus
Leber	Synthesestörung, Gerinnungsstörung
Gastrointestinaltrakt	NEK, Darmatonie
Niere	Oligurie, Anurie
Mikrozirkulation	Disseminierte intravasale Gerinnung

Tabelle 9: Organspezifische Krankheitsmanifestationen der Asphyxie (4)

Risikofaktoren für das Auftreten einer Asphyxie umfassen mütterliche, intrapartale und pränatale Faktoren wie Zustand nach Abortus/Totgeburt/Frühgeburt, schlechte sozioökonomische Situation, Infektionen in der Schwangerschaft, Substanzmissbrauch vor/während der Schwangerschaft, Lage-/Fruchtwasseranomalien, Nabelschnurkomplikationen oder vorzeitige Plazentalösung. Pathophysiologisch kommt es bei Neugeborenen in Folge einer Hypoxie zur primären Apnoe, welche eine periphere Zyanose bedingt. Die Hypoxie hat ihren Ursprung meist in utero (u.a. vorzeitige Plazentalösung, Nabelschnurkomplikationen, Uterusruptur), weshalb betroffene Neugeborene unmittelbar nach der Geburt meist avital sind. Reagiert das Atemzentrum im Verlauf nicht bzw. erfolgt keine ausreichende Stimulation und Beatmung des Neugeborenen, kommt es zur sekundären Apnoe mit konsekutivem Blutdruckabfall und Ausbildung einer zentralen Zyanose. In weiterer Folge kann dieser Zustand über eine Bradykardie in einen Herzkreislaufstillstand übergehen und damit reanimationspflichtig werden. (1, 43)

Prinzipiell stellt die umfassende kardiopulmonale Reanimation nach der Geburt sowohl innerklinisch als auch präklinisch ein seltenes Ereignis dar. Beim Großteil der Neugeborenen (80%) setzt die Atmung nach der Geburt spontan ohne unterstützende Maßnahmen ein, bei 10% kann die Spontanatmung durch taktile Maßnahmen erzielt werden. (44) Lediglich 5% aller Neugeborenen müssen initial beatmet werden. (44) In weniger als 0,3% der Fälle sind Thoraxkompressionen notwendig und nur 0,05% aller Neugeborenen benötigen Thoraxkompressionen inklusive notfallmäßiger Medikamentenadministration wie Adrenalin. (44)

Die initiale Beurteilung des Neugeborenen nach der Geburt erfolgt anhand des Muskeltonus, der Qualität der Spontanatmung und der Herzfrequenz (siehe Abbildung 2).

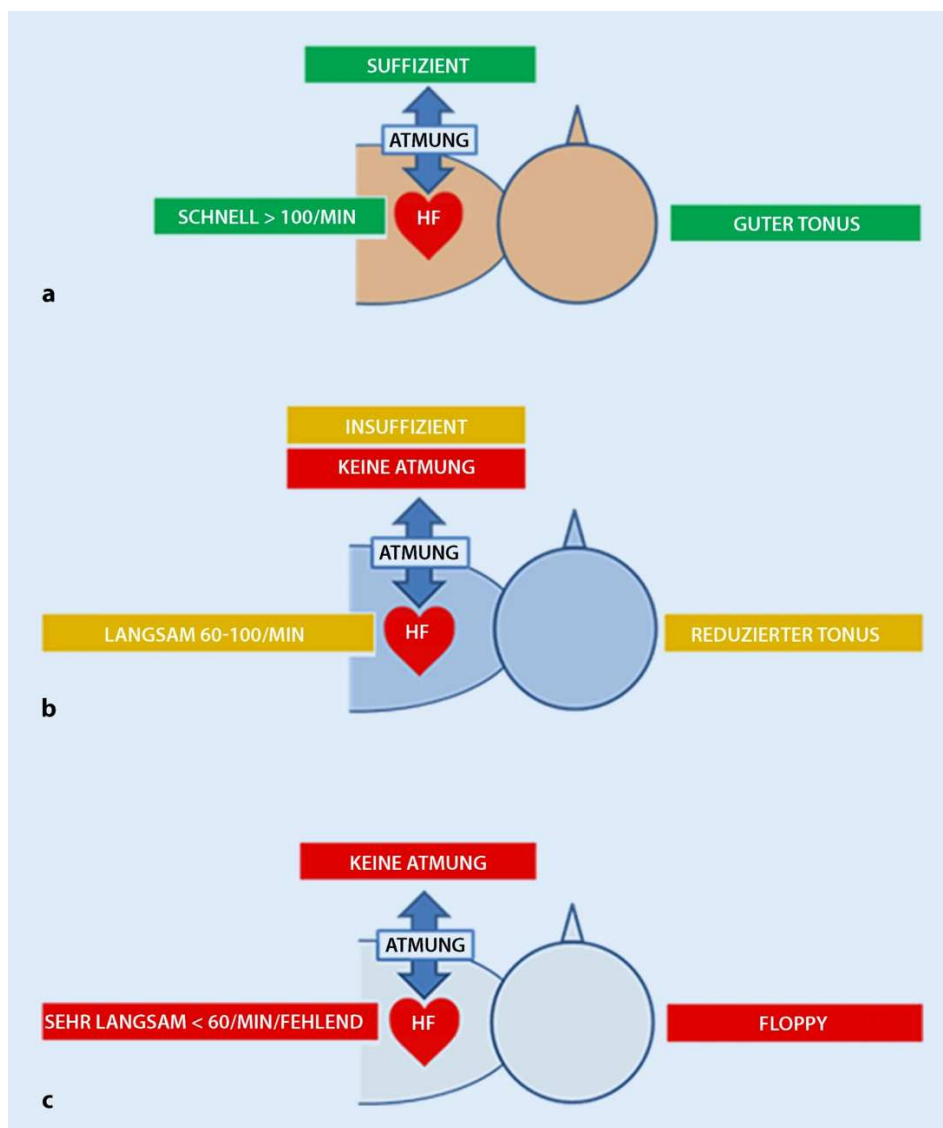


Abbildung 2: Initiale Beurteilung des Neugeborenen a) Zufriedenstellende Anpassung b) Beeinträchtigte Anpassung c) Schwer beeinträchtigte bzw. nicht erfolgte Anpassung (44)

Der Muskeltonus wird in gut, reduziert und schlaff (floppy) eingeteilt. Die Atmung wird anhand der Atemfrequenz, der Atemanstrengung und der Atemtiefe beurteilt und als suffizient, insuffizient/pathologisch (Schnappatmen, Stöhnen) oder fehlend interpretiert. (44) Die Beurteilung der Herzfrequenz erfolgt mithilfe eines Stethoskops und eines Pulsoxymeters. Das Elektrokardiogramm (EKG) ist der Pulsoxymetrie hinsichtlich der Genauigkeit und Effizienz in den ersten Lebensminuten überlegen, weshalb die Beurteilung der Herzfrequenz idealerweise mithilfe dessen erfolgen sollte. Die Herzfrequenz wird als schnell (>100 /Minute), langsam ($60-100$ /Minute) oder sehr langsam (<60 /Minute oder fehlend) bewertet. (44)

Bei gutem Muskeltonus, suffizienter Atmung/kräftigem Schreien und einer Herzfrequenz >100 /Minute spricht man von einer zufriedenstellenden Anpassung. Es erfolgt verzögertes Abnabeln, Trocknen und Warmhalten von Mutter und Kind. (44)

Ist der Muskeltonus reduziert, die Atmung insuffizient/apnoisch oder die Herzfrequenz unter <100 /Minute liegt eine beeinträchtigte Anpassung vor. Ursache einer niedrigen Herzfrequenz ist meist eine Hypoxie. In diesem Fall muss das Neugeborene getrocknet und stimuliert, die Atemwege geöffnet und die Lunge belüftet werden. (44)

Von einer schwer beeinträchtigten bzw. nicht erfolgten Adaptation spricht man, wenn der Muskeltonus des Neugeborenen schlaff (floppy), die Atmung insuffizient/apnoisch oder die Herzfrequenz <60 /Minute bzw. nicht nachweisbar ist. Dabei ist eine umgehende Unterstützung der Atmung sowie eine Überwachung der Herzfrequenz zwingend notwendig. Dazu muss das Neugeborene in der Regel sofort abgenabelt, getrocknet, stimuliert und beatmet werden.

Das weitere Vorgehen richtet sich in Abhängigkeit des klinischen Zustands nach dem Algorithmus der Neugeborenenreanimation. (44) Der Apgar-Score dient ebenfalls zur Beurteilung der postnatalen Adaption und wird nach 1, 5 und 10 Minuten erhoben (siehe Tabelle 10).

Punktezahl	0	1	2
Appearance (Kolorit)	Blau/weiß	Stamm rosig, Extremitäten blau	rosig
Pulse (Herzfrequenz)	Keine	<100/Minute	>100/Minute
Grimace (Reflexe)	Keine	Vorziehen des Gesichts, Grimassieren	Husten, Niesen, Würgen, Schreien
Activity (Tonus)	Schlaff	Mittel, träge Flexionsbewegungen	Gut, normale Spontanbewegungen
Respiration (Atmung)	Keine	Schnappatmung, Dys-, Tachypnoe, Einziehungen	Regelmäßig, kräftig schreiend

Tabelle 10: Apgar-Score zur Klassifizierung des Schweregrades einer Adaptationsstörung (nach Virginia Apgar) (45)

Führen Abtrocknen und taktile Stimulation nicht zum Einsetzen der Spontanatmung, müssen weitere Maßnahmen ergriffen werden (siehe Abbildung 3). Zur Eröffnung der Atemwege muss das Neugeborene in Rückenlage mit dem Kopf in Neutralposition gelagert werden. Des Weiteren kann der Esmarch-Handgriff (Vorziehen des Unterkiefers) oder ein oropharyngealer Tubus (Guedel-Tubus) in passender Größe zur Hilfe genommen werden. Sollte der Atemweg durch Mekonium, Vernix caseosa oder Blutkoagel verlegt sein muss oropharyngeal abgesaugt werden. Dabei ist Vorsicht geboten, um Schleimhautverletzungen, einem Laryngospasmus oder einer vagusinduzierten Bradykardie vorzubeugen. (44)

Führt die Eröffnung der Atemwege nicht zum Einsetzen der Spontanatmung, muss möglichst innerhalb der ersten 60 Sekunden nach der Geburt mit einer Maskenbeatmung begonnen werden. (44) Das Neugeborene erhält dabei fünf initiale Beatmungshübe mit einer verlängerten Inspirationszeit von zwei bis drei Sekunden. Beim Reifgeborenen sollte der Spitzendruck bei 30cmH₂O liegen und die Beatmung initial mit 21% Sauerstoff (Raumluft) erfolgen. (44) Für Frühgeborene unter der 32. SSW muss der Spitzendruck auf 25cmH₂O reduziert werden und der Sauerstoffgehalt soll bei 21-30% liegen. Kommt es unter den initialen Beatmungen zum Heben des Brustkorbs und einer Steigerung der Herzfrequenz soll die Beatmung, bis das Neugeborene eine suffiziente Spontanatmung zeigt, mit einer Frequenz von 30/Minute und einer kurzen Inspirationszeit unter einer Sekunde fortgesetzt werden. (44)

Führt die Beatmung nicht zum Anstieg der Herzfrequenz und zum Heben des Brustkorbs, müssen Größe, Dichtigkeit und Position der Beatmungsmaske, die Kopfposition bzw. Freiheit des Atemwegs sowie die Funktionsfähigkeit des Equipments überprüft werden. Weiters

kann die Beatmung durch die Anwendung eines Guedel-Tubus, einer Larynxmaske oder des 2-Helfer-Esmarch-Handgriffs optimiert werden. (44) Kommt es nun zu einem Heben des Brustkorbs, müssen erneut fünf Beatmungen mit verlängerter Inspirationszeit erfolgen. (46)

Sollte die Herzfrequenz nach 30 Sekunden effektiver Beatmung unter 60/Minute liegen oder überhaupt nicht feststellbar sein, muss eine kardiopulmonale Reanimation mit Thoraxkompressionen und Beatmung (mit 100% Sauerstoff) im Verhältnis von 3:1 begonnen werden. (44) Dabei sollte eine Intubation bzw. die Verwendung einer Larynxmaske erwogen werden. Die adäquate Belüftung der Lungen stellt die Grundvoraussetzung der kardiopulmonalen Reanimation dar, da Thoraxkompressionen erst dann effizient sein können. (44) Liegt die Herzfrequenz nach 30 Sekunden kardiopulmonaler Reanimation weiterhin <60/Minute, muss ein Gefäßzugang (meist durch einen Nabelvenenkatheter) etabliert werden und eine Medikamentenadministration erfolgen. (44)

Die empfohlene intravenöse Initialdosis von Adrenalin in der Neugeborenenreanimation beträgt 10 µg/kg Körpergewicht, was 0,1 ml/kg Körpergewicht einer 1:10 000-Lösung entspricht. Sollten weitere Gaben notwendig werden, kann die Dosis auf bis zu 30 µg/kg Körpergewicht erhöht werden. Bestehen Schockzeichen oder der Verdacht auf einen neonatalen Blutverlust muss versucht werden das intravasale Volumen wiederaufzufüllen. Dies gelingt empfehlungsgemäß mit einer isotonisch-kristalloiden Flüssigkeit, welche als intravenöser Bolus mit einer Dosis von 10 ml/kg Körpergewicht verabreicht wird, oder – falls vorhanden – mit einem Erythrozytenkonzentrat. Verbessert sich der Zustand durch die Volumengabe, kann es notwendig werden diese zu wiederholen. (44) Bei Frühgeborenen besteht bei zu großen Volumina und zu rascher Verabreichung von Flüssigkeit das Risiko für die Entwicklung von intraventrikulären und pulmonalen Blutungen, weshalb in diesen Fällen Vorsicht geboten ist. (44)

Im Rahmen der postnatalen Reanimation müssen zudem andere Ursachen für den Herz-Kreislaufstillstand wie Hypovolämie, Pneumothorax oder Fehlbildungen erwogen und abgeklärt werden. (44)

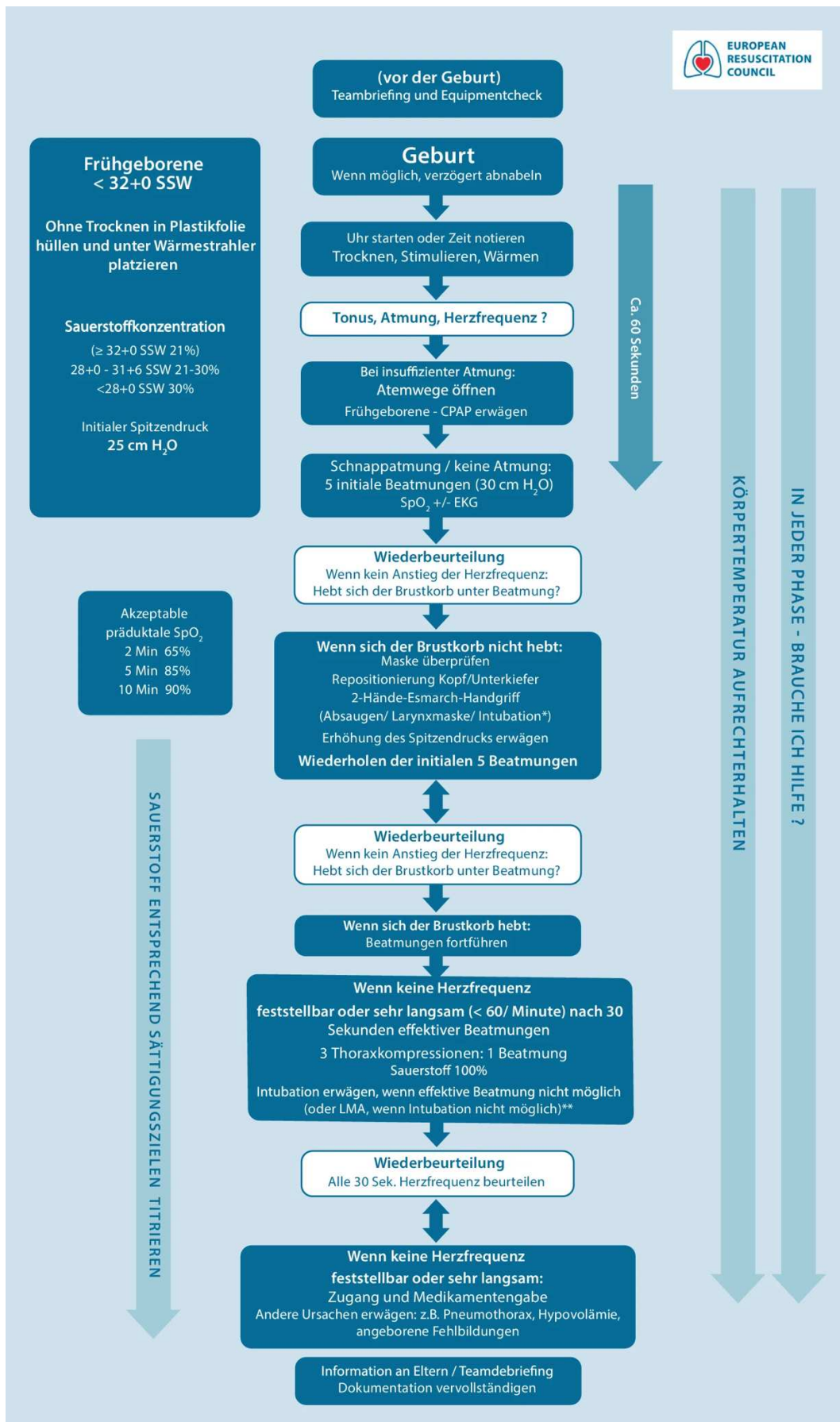


Abbildung 3: Algorithmus der Neugeborenenreanimation (44)

1.1.3.2 Herzkreislaufstillstand im Rahmen der neonatologisch-intensivmedizinischen Betreuung

Circa 1% aller Kinder, welche an einer neonatologischen Intensivstation aufgenommen und betreut werden, erleiden während ihres Aufenthaltes ein Ereignis, welches eine kardiopulmonale Reanimation notwendig macht. (47) Die Mehrheit der Kinder, welche reanimationspflichtig werden, zählen zu den (ehemaligen) Frühgeborenen und wurden aufgrund einer respiratorischen Problematik stationär aufgenommen. Zum Zeitpunkt der Reanimation werden die meisten Neugeborenen bereits maschinell beatmet und verfügen über einen liegenden venösen Katheter (Nabelvenenkatheter, peripher- oder zentralvenöser Katheter). (47) Die häufigsten aktiven Diagnosen zum Zeitpunkt des Herzkreislaufstillstands umfassen Frühgeburtlichkeit, kongenitale Anomalien, chronische Lungenerkrankungen (BPD), Apnoen, Pneumothorax, Sepsis und NEK (siehe zugehörige Kapitel). (47)

Pneumothorax

Ein Pneumothorax ist als pathologische Luftansammlung im Pleuraspalt definiert, welche durch Aufhebung des Unterdrucks zum Kollabieren der Lungenflügel führt. (48) Die Prävalenz erreicht bei Frühgeborenen vor der 24. SSW ihr Maximum, wobei die höchste Mortalität zwischen der 29.-32. SSW vorliegt. (49) In circa 0,5% der Fälle tritt ein Pneumothorax bei Neugeborenen spontan auf und verläuft in der Regel asymptomatisch. (4) Ein symptomatischer Pneumothorax kann hingegen durch eine Vielzahl von pulmonalen Erkrankungen ausgelöst werden: Mekoniumaspirationssyndrom, IRDS, TTN, Aspirationspneumonie oder durch ein lobuläres Emphysem. Die wichtigste Komplikation stellt der Spannungspneumothorax dar, bei dem es durch einen Ventilmechanismus bei maschineller Beatmung zu einer kontinuierlichen intrapleuralem Drucksteigerung kommt. Die Folge ist eine Mediastinalverlagerung, welche zur Kompression des kontralateralen Lungenflügels sowie zur Kompression der Vena cava und damit zur venösen Einflusstauung führt. (4) Die Klinik des gefürchteten Spannungspneumothorax umfasst plötzlich einsetzende Atemnot, Zyanose, arterielle Hypotension, Schockzeichen, Bradykardie, Verlagerung der Herztöne und ein seitendifferentes Atemgeräusch. (4) Die Therapie des Spannungspneumothorax darf durch bildgebende Diagnostik (Thoraxröntgen) nicht verzögert werden. Die Transluminations (Diaphanoskopie) mithilfe einer fiberoptischen Kaltlichtlampe oder die Pleurasonographie stellen schnelle und effiziente Methoden zur Identifizierung eines Pneumothorax dar. Die Therapie besteht in der sofortigen Pleurapunktion mit nachfolgender Anlage einer Pleuradrainage. (4)

1.1.3.3 Herzkreislaufstillstand im nicht-stationären Setting

Der pädiatrische Herzkreislaufstillstand im nicht-stationären Setting, englisch pediatric out-of-hospital cardiac arrest (POHCA), ist ein seltenes Ereignis, welches meist durch Hypoxie verursacht wird. (50) Im Säuglingsalter liegen sowohl Inzidenz (22/100 000) als auch Mortalität (30 Tage-Überleben 27%) verglichen mit anderen Altersgruppen über dem Durchschnitt. (50)

BRUE

2016 wurde das Akronym ALTE (englisch: apparent life-threatening event) von der American Academy of Pediatrics durch BRUE (brief resolved unexplained event) ersetzt. BRUE bezieht sich auf ein kurzes (<1 Minute) Ereignis, welches bei Säuglingen <1 Jahr auftritt und ungeklärt ist. (51) Betroffene Neugeborenen zeigen fehlende, verringerte oder unregelmäßige Atmung, Zyanose/Blässe, Hypo-/Hypertonie oder eine Veränderung der Reaktionsfähigkeit. BRUE stellt eine Ausschlussdiagnose dar, welche nur gestellt werden darf, wenn selbst nach ausführlicher Anamnese und klinischer Untersuchung keine andere Ursache für das beobachtete Ereignis feststellbar ist. (51) BRUE muss außerdem zum Begriff SUPC (englisch: sudden unexpected postnatal collapse) abgegrenzt werden. Die AWMF-Leitlinie schreibt hierzu: „Nach vereinzelt bereits im Kreißsaal stattgehabten SIDS/Near-SIDS-Ereignissen findet der Begriff SUPC mittlerweile hierfür Verwendung“. (52)

In Abhängigkeit des Risikos für einen plötzlichen Kindstod (englisch: sudden infant death syndrome, SIDS) erfolgt die Einteilung in Hochrisiko- und Niedrigrisikosäuglinge. Säuglinge mit geringem Risiko müssen folgende Kriterien erfüllen: >60 Tage, blande Anamnese und unauffällige körperliche Untersuchung, keine Reanimation notwendig, einmaliges Ereignis (keine BRUE in der Vorgeschichte). (51) Die einzige Möglichkeit der Therapie besteht in der Prophylaxe eines neuerlichen Events, eine kausale Therapie existiert nicht. Die Eltern bzw. Betreuungspersonen werden über BRUE aufgeklärt und erhalten eine Schulung zur kardiopulmonalen Reanimation und sicheren Säuglingspflege. Es besteht keine Notwendigkeit zur kardiorespiratorischen Überwachung. Bei Hochrisikosäuglingen können Apnoe-Überwachungsgeräte zur Anwendung kommen. Eltern bzw. Betreuungspersonen müssen jedoch darüber aufgeklärt werden, dass sich die Mortalität dadurch nicht verringert und Fehlalarme weit verbreitet sind. (51)

Kongenitale Herzfehler

Kongenitale Malformationen stellen die Haupttodesursache in der Neugeborenenperiode dar. (53) Die Inzidenz struktureller angeborener Herzerkrankungen liegt bei 4-8/1000 Neugeborenen, wobei in circa 10% mit fatalen Konsequenzen zu rechnen ist. (53) Zu den Herzfehlern, welche am häufigsten zum Herzkreislaufstillstand führen, zählen: Transposition der großen Gefäße, hypoplastisches Linksherzsyndrom, Pulmonalatresie, Aortenklappenstenose, Aortenisthmusstenose und Fallot'sche Tetralogie. Betroffene Neugeborenen können unmittelbar nach der Geburt symptomatisch werden, nicht selten treten klinische Zeichen jedoch erst später auf, was die Diagnosestellung verzögern kann. Zu den Symptomen zählen Zyanose, Herzinsuffizienzzeichen, kardiale Synkopen oder Schock. Durch frühzeitige Diagnosestellung und Planung des weiteren (operativen) Vorgehens kann die Prognose verbessert werden. (53)

1.2 Simulationstraining

Die umfassende kardiopulmonale Reanimation stellt in der Neonatologie ein selten auftretendes Ereignis dar (siehe 1.1.3), welches jedoch ein hohes Gefahrenpotential beinhaltet und aufgrund dessen auch als HALO-Event (high-acuity-low-occurrence event) bezeichnet wird.

(54) Tritt ein solches Ereignis ein, muss adäquat trainiertes Personal zur Verfügung stehen, was aufgrund der Seltenheit dieser Situationen jedoch nicht immer der Fall ist, wodurch wiederum das Fehlerpotential erhöht wird. (54)

Das simulationsbasierte Training (SBT) bietet eine sichere und realistische Umgebung, um HALO-Events zu trainieren. (54) Der Begriff Simulation meint dabei jede Art von Übung, die es dem Individuum erlaubt, eine nicht reale Situation zu erleben und dennoch eine authentische Antwort zu generieren. (55) SBT beinhaltet das „Eintauchen“ des Trainierenden in eine realistische Situation, welche die reale Umgebung so exakt repliziert, dass die Teilnehmenden (im Idealfall) vergessen, dass es sich dabei um eine Simulation handelt. (56) Hochrealistische klinische Szenarien erlauben den Teilnehmenden herausfordernde Situationen in einer geschützten Umgebung zu trainieren und bieten am Ende des Trainings durch Debriefing Möglichkeiten zur Selbstreflexion. (55) Weitere Vorteile der simulierten Umgebung umfassen (siehe Tabelle 11):

Kein Risiko für reale Patient*innen
Anpassung der Trainingsintensität an das Wissens-/Erfahrungsniveau der Teilnehmenden
Training ohne Unterbrechungen
Etablieren von Routinen und Training seltener Situationen
Integration von kognitiven, behavioralen und technischen Fähigkeiten/Fertigkeiten

Tabelle 11: Vorteile des Trainings in einer simulierten Umgebung (55)

Der Benefit von Team-basiertem SBT konnte in zahlreichen Studien belegt werden und umfasst neben der Verbesserung der prozeduralen Fähigkeiten (auch „technische Fertigkeiten“) eine Verbesserung der nicht-technischen Kompetenzen. (57, 58, 59) Nach Rall et al. (60) lassen sich nicht-technische Kompetenzen in vier Kategorien gliedern: Management der Arbeitsaufgaben („Task Management“), Situationswahrnehmung/Aufmerksamkeit („Situational awareness“), Entscheidungsfindung und Durchführung („Decision making“) und Teamarbeit („Teamwork“). (57, 58, 59)

Die SBT-bedingte Verbesserung des Patient*innenoutcome im Sinne einer Verringerung von Mortalität und Morbidität ist schwierig zu evaluieren und infolgedessen auch schwierig

zu belegen. In der Erwachsenenmedizin existieren jedoch Beispiele, in denen durch SBT ein verbessertes Patient*innenoutcome wie die Verringerung der „time to needle“ bei Schlaganfallpatient*innen oder der „time to transfusion“ bei Traumatpatient*innen objektiviert werden konnte. (61, 62) In einem rezenten systematischen Review von Lindhard et al. (63) konnte die Verbesserung der neonatalen Mortalität in Industrienationen durch SBT aufgrund der geringen Datenlage jedoch nicht ausreichend belegt werden. Demgegenüber bewirkt Simulationstraining in sogenannten low- und middle-income-countries eine signifikante Verbesserung der Mortalität. (61, 62, 64)

1.2.1 Rahmenbedingungen für Simulationstraining

1.2.1.1 Trainingsort

Für die Trainingslokalisierung stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung, das in situ-Training und das sogenannte off-site-Training. Das off-site-Training wird in einem ständig bestehenden Simulationsraum bzw. in einem Simulationszentrum abgehalten, in der englischen Literatur spricht man dabei von „center-based-simulation“ oder „off-site-simulation“. Im Rahmen des sogenannten in situ-Trainings ist die Simulationseinheit in die bestehende reale Arbeitsumgebung integriert. (65)

Einen Vorteil der in situ-Simulation stellt die mit der klinischen Umgebung einhergehende Realität des Trainings dar. Dabei können die Teilnehmenden mit den Geräten trainieren, welche auch im Ernstfall vorhanden sind. Weiters können latente Sicherheitsdefizite (englisch: latent safety threats, LST) durch das in situ-Training identifiziert werden. (65) Latente Sicherheitsrisiken beschreiben Fehler in der Organisation, dem Design oder dem Training, welche zu medizinischen Fehlern führen können. (65, 66) Die Einteilung der LST erfolgt unter anderem in Medikationsfehler, Equipmentfehlfunktion/-fehlgebrauch und Team-interne Schwierigkeiten. (66) Die Trainingsfrequenz kann in einem in situ-Training ebenfalls einfacher gesteigert werden, da sowohl Personal als auch Equipment vor Ort und somit besser verfügbar sind.

Einen Nachteil des Trainings vor Ort stellt die Gefahr dar, während der Simulation durch einen realen Notfall unterbrochen zu werden. Falls auf der Station kein separater Raum existiert, in dem das Training abgehalten werden kann, muss komplexe Technik und Equipment immer wieder neu auf- und abgebaut werden. Einen weiteren wichtigen Aspekt stellt die potenzielle Inkompatibilität zwischen realen Geräten und dem Simulator dar. (65)

1.2.1.2 Technische Ausstattung und Equipment

Die Ausstattung der Simulationsräumlichkeiten kann in technischer Hinsicht unterschiedlich gestaltet werden. In Bezug auf die Gestaltung der Trainingsumgebung ist der Begriff der „Fidelity“ wesentlich, welcher definiert ist als „der Grad, in dem die Simulation das reale Ereignis und/oder die Arbeitsumgebung nachbildet“. (67) Die Fidelity lässt sich in (zumindest) drei Dimensionen klassifizieren: psychological fidelity, environmental fidelity und equipment fidelity. Je höher der Grad der Fidelity, desto größer ist die Annäherung der Trainingsumgebung an die reale Arbeitsumgebung und das tatsächliche Arbeitsfeld der Teilnehmenden. Durch sogenanntes high-fidelity-Training gelingt meist eine einfachere Translation der Fertigkeiten vom Training in die klinische Praxis, jedoch ist diese Art von Training auch mit einem höheren Maß an Komplexität, Kosten und Fehleranfälligkeit assoziiert. Einen Vorteil des low-fidelity-Trainings stellt der geringere Kosten- und Zeitaufwand (set-up- und turn-over-Zeit) dar, wodurch eine größere Zahl an Teilnehmer*innen und Trainingsdurchläufen in kürzerer Zeit möglich ist. Im Vordergrund des Trainings sollte folglich nicht ein möglichst hohes Maß an Fidelity, sondern vielmehr der individuelle didaktische Nutzen der Simulation unter Berücksichtigung von Zielpublikum und Lernzielen stehen. (68)

Im Idealfall steht eine Audio-Video-Anlage (AV-Anlage) für das Simulationstraining zur Verfügung. Einerseits bietet diese Trainer*innen die Möglichkeit zur Mitverfolgung des Szenarios außerhalb des Simulationsraums, andererseits können die Aufzeichnungen zur angeleiteten Selbstreflexion im Debriefing verwendet werden. (69)

Um das Training so realitätsnahe wie möglich zu gestalten, sollte nicht nur voll funktionsfähiges, aktuelles Material verwendet werden, sondern auch reale Abläufe genau eingehalten werden (z.B. tatsächliches Aufziehen und Verabreichen von Medikamenten).

Findet das Training in situ statt kann Originalequipment verwendet werden, jedoch gilt zu beachten, dass die Versorgung von realen Patient*innen zu jedem Zeitpunkt gewährleistet sein muss. Abgelaufene Materialien und wiederverwendbares Trainingsequipment (z.B. Beatmungsbeutel, intraossäre Bohrer) müssen daher explizit gekennzeichnet werden (z.B.: „not for human use“ oder „education only“). (69)

1.2.1.3 Personal

Um alle Teilbereiche der Simulation abdecken zu können müssen in Abhängigkeit der Gruppengröße, des Aufwands der Simulationstechnik und der räumlichen Möglichkeiten ausreichend Trainer*innen vor Ort sein. Eine Person leitet das Training, führt die Trainierenden im Briefing an das Szenario heran, beobachtet das Szenario und moderiert das Debriefing.

Die Trainingsleitung kann sich dabei entweder im Raum befinden oder das Szenario im Nebenraum durch eine Übertragung verfolgen. (69)

Eine weitere Person ist für die Steuerung des Patient*innensimulators verantwortlich, welche in Abhängigkeit der Komplexität des Szenarios eine gewisse technische und medizinische Expertise erfordert. Die Steuerung des Simulators durch eine nicht-fachkundige Person ist nur möglich, wenn alle Reaktionen des Simulators im Vorfeld bedacht und genau beschrieben sind. (69)

Eine „SimNurse“ kann als Vertraute (englisch: confederate) den Trainierenden als Rollenspieler*in während des Szenarios weiterhelfen und im Bedarfsfall wertvolle Hinweise geben. Des Weiteren unterstützt sie Trainer*innen beim Briefing und Debriefing und hilft beim Auf- und Abbau des Equipments. Außerdem beantwortet sie Fragen zum Equipment, achtet auf die Sicherheit der Trainierenden und einen sachgerechten Umgang mit dem Simulator. (69)

Im Rahmen eines interprofessionellen Trainings sollte mindestens ein*e Vertreter*in jeder vertretenen Profession anwesend sein, da sich die Kommunikation in einem multiprofessionellen Team herausfordernd gestalten kann. (69)

1.2.1.4 Lernziele

Die Zielgruppe für SBT kann vielseitig sein und definiert die jeweiligen Lernziele. Mehrheitlich nehmen junge, unerfahrene Personen am Training teil, um in erster Linie technische Maßnahmen wie beispielsweise eine Intubation (englisch: skills training) oder medizinische Algorithmen wie z.B. die kardiopulmonale Reanimation zu erlernen und zu üben. (65) Für ein Teamtraining ist prinzipiell eine gemischte Gruppe mit unerfahrenen und erfahrenen Teilnehmenden am sinnvollsten, da dies die Realität am besten widerspiegelt. Unerfahrene Teilnehmende lernen durch Beobachtung ihrer erfahrenen Kolleg*innen und im Rahmen des gemeinsamen Debriefing mit kritischen Situationen adäquat umzugehen. Erfahrenen Personen bietet SBT mitunter die Möglichkeit, Gewohnheits- oder Fixierungsfehler zu erkennen und zu vermeiden. (65)

Zu beachten ist, dass das Training von nicht-technischen Fähigkeiten wie Kommunikation, Teamarbeit, Zeitmanagement oder Selbstsicherheit erst dann sinnvoll ist, wenn die notwendigen praktischen Maßnahmen und Fertigkeiten schon beherrscht werden, da ein nicht-technisch orientiertes Debriefing nicht möglich ist, wenn das Training durch technische Probleme oder fehlendes fachliches Wissen bestimmt wird. (65)

Anderson et al. (70) beschreiben für das Design eines simulationsbasierten Curriculums ein schrittweises Vorgehen, welches von der Identifikation der Zielgruppe und Problemstellung (Schritt 1) über die Definition von spezifischen und übergeordneten Lernzielen (Schritt 2) bis hin zur Auswahl von Inhalt und Lehrmethode des Trainings reicht (Schritt 3). Im finalen Schritt geht es um die Beurteilung der Lernerfolgs, die Evaluation des Curriculums und dessen Verbesserung. (70)

1.2.1.5 Einführung und Briefing

Zu Beginn der Simulation werden die Trainierenden durch Trainer*innen an das Simulationstraining herangeführt und grundlegende Rahmenbedingungen, organisatorische Details (Zeitplan, örtliche Gegebenheiten) und der Trainingsablauf geklärt. Des Weiteren sollte die Erwartungshaltung der Teilnehmenden eruiert werden, sodass im späteren Debriefing darauf eingegangen werden kann. (69)

Die Trainierenden sollten außerdem die Gelegenheit zur Familiarisierung mit dem Simulator und der Simulationsumgebung erhalten. Dabei sollte auf Möglichkeiten (z.B. Legen von Zugängen, Atemweg) und Limitationen des Simulators (z.B. Hautkolorit, Bewusstsein) und der Simulationsumgebung eingegangen werden. Um den reibungslosen Ablauf des Trainings zu gewährleisten muss bekannt sein, welche personellen und materiellen Ressourcen zu Verfügung stehen und wie Trainierende an Informationen gelangen, welche der Simulator nicht wiedergeben kann. Wird im in situ-Training reales Equipment (z.B. Defibrillator, Medikamente, medizinisches Gas) verwendet, müssen Trainer*innen auf relevante Sicherheitsaspekte (z.B. Verletzungen, versehentliches Auslösen des echten Reanimationsalarms, Gefährdung anderer Personen) aufmerksam machen. (69)

Bevor das Szenario startet, erhalten die Teilnehmenden im sogenannten Briefing alle relevanten Informationen zum*zur Patient*in, der Rollenverteilung (Leader, ärztliches Personal, Pflege), dem Setting (z.B. Kreißsaal, Notaufnahme, Neugeborenenintensivstation, Tageszeit) und den im Szenario gegebenenfalls vorkommenden Rollenspielern (Eltern, SimNurse, Rettungsteam o.Ä.). (69)

1.2.1.6 Szenario

Während des Szenarios müssen Trainierende alle relevanten Patient*inneninformationen wie beispielsweise Anamnese, Vitalparameter, Patient*innenkurve, Bildgebung und Labor in Echtzeit erhalten. Alle gesetzten Maßnahmen (z.B. Intubation, Aufziehen und Verabrei-

chen von Medikamenten) müssen tatsächlich durchgeführt werden, sodass der zeitliche Verlauf und die Veränderung der Vitalparameter möglichst realitätsnahe dargestellt werden kann. Die Vermittlung von nicht mit jedem Simulator abbildbaren Informationen, wie beispielsweise Bewusstseinszustand, Rekapillarisierungszeit und Hautkolorit, erfolgen auf alternativem Weg, zum Beispiel durch die SimNurse oder durch Ansage des Operators. (69) Die Trainierenden sollten einerseits gefordert, andererseits jedoch nicht überfordert werden. Würden die gesetzten Maßnahmen in der Realität zum Versterben des Simulators führen, sollte das Szenario vorzeitig abgebrochen oder sogenannte „life safer“ oder „Rettungsanker“ eingesetzt werden. Dabei erhalten die Trainierenden Hinweise von Rollenspielern (z.B. SimNurse oder Eltern) oder aus dem Steuerraum („voice of God“). Selbst wenn den Trainierenden erklärt wird, dass das Versterben des Simulators durch keine Maßnahme hätte verhindert werden können, können die resultierenden Emotionen der Teilnehmenden im Debriefing nicht abgefangen werden, weshalb gilt, maximal negative Trainingsausgänge wie diesen zu vermeiden. Die Ausnahme stellen spezielle Simulationstrainings dar, bei welchen das Versterben des*der Patient*in und der Umgang mit dem Tod im Vordergrund stehen und ein deklariertes Lernziel darstellen. (65, 69)

1.2.1.7 Debriefing

Die Beendigung des Trainings erfolgt in bestimmter, definierter Art und Weise durch die Trainingsleitung. Die Trainierenden werden aus ihren Rollen entlassen und finden sich idealerweise unmittelbar in einem separaten Raum ein, wo ein Stuhlkreis die Reintegration physikalisch unterstützt. (69)

Das Debriefing stellt das Schlüsselement des Simulationstrainings dar und dient der Reflexion eigener Verhaltensweisen mit dem Ziel die Teamperformance zu optimieren. (69) In Abhängigkeit der Lernziele, des Szenarienvverlaufs und des Bedarfs der Teilnehmenden kann der Fokus des Debriefings auf medizinisch-fachlichen, technischen und/oder nicht-technischen Aspekten liegen. Die Trainingsleitung nimmt dabei nicht die Rolle des Lehrenden, sondern die eines Moderators oder einer Moderatorin ein und gliedert das Debriefing idealerweise in die Übergangsphase (Abholung der Emotionen), Beschreibungsphase, Analysephase und Anwendungsphase. Die Etablierung einer geschützten und wertschätzenden Lernumgebung, in der die Trainierenden das Gefühl haben Fragen stellen zu können, sich nicht schämen zu müssen oder Angst haben, bestraft zu werden, ist dabei essenziell. (65)

Zur Strukturierung des Debriefings existieren unterschiedliche Konzepte. Gerade für unerfahrene Debriefler*innen kann ein Debriefing-Leitfaden wie das „PEARLS“-Konzept (Promoting Excellence and Reflexive Learning in Simulation) ein effektives Werkzeug darstellen, die mentale Belastung des Debriefers zu reduzieren und gleichzeitig die Effektivität des Debriefings zu steigern (siehe Abbildung 4). (71, 72) Die Methode des „Advocacy and Inquiry“ dient hierbei dem gezielten Nachfragen und erlaubt, die Gründe für das im Training beobachtete Verhalten zu ergründen. Dabei beschreibt der Moderator eine beobachtete Situation, bewertet diese und versucht die Beweggründe des Trainierenden mithilfe von offenen Fragen zu ergründen. (73) Im Anschluss wiederholt der Moderator die Antwort des Trainierenden in eigenen Worten. (69)

	Zielsetzung	Aufgabe	Beispielfragen
1 Rahmen schaffen	Eine positive Lernumgebung schaffen	Ziel des Debriefings festlegen; Grundannahme ¹ verbalisieren	„Wir nehmen uns jetzt die nächsten X Minuten Zeit für das Debriefing. Das Ziel soll sein, unsere Zusammenarbeit und die Patientenversorgung weiter zu verbessern.“ „Jeder ist intelligent und fähig indem was er tut und gibt sein Bestes sich zu verbessern.“
2 Reaktionen auffangen	Initiale Reaktionen auffangen	Erste Reaktionen und Emotionen erfragen	„Was sind Ihre ² ersten Eindrücke?“ „Wie geht es Ihnen ² nach diesem Szenario?“
3 Beschreiben	Fakten besprechen	Ein gemeinsames Verständnis des Falles entwickeln	„Was hatten wir hier für einen Fall?“ „Könnten Sie ² den Fall kurz zusammenfassen?“ „Was war die Arbeitshypothese? Haben das alle so gesehen?“
4 Analysieren	Unterschiedliche Leistungsbereiche explorieren	Siehe Rückseite der Karte für weitere Informationen	Ankündigung (um ein neues Thema anzusprechen) „Jetzt möchte ich gerne über [Thema einfügen] sprechen, weil [Begründung einfügen]“ Kurzzusammenfassung (um die Diskussion über ein Thema zusammenzufassen) „Wir haben jetzt schon einige gute Aspekte angesprochen. Gibt es weitere Kommentare/Ideen dazu wie wir [Thema einfügen] verbessern könnten?“
Welche besonderen Themen oder Bedenken haben Sie?²			
5 Zusammenfassen/ Anwenden	Lernpunkte zusammenfassen	Teilnehmerzentriert ----- Instruktorenzentriert	„Was nehmen Sie ² aus der Diskussion für Ihren klinischen Alltag mit?“ ----- „Unsere Hauptlernpunkte für diesen Fall waren [Lernziele hier einfügen]“

Abbildung 4: Das PEARLS-Konzept im Debriefing (72)

2 Methodik

2.1 Design

Auf Basis der Kriterien des PRISMA-Statement (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (74) wurde im Zeitraum von Juni 2022 bis Oktober 2022 eine systematische Literaturanalyse durchgeführt. Die Suche erfolgte anhand von Medical Subject Headings (MeSH-Terms), Emtree (Embase Subject Headings) und Cinahl Subject Headings in den medizinischen Datenbanken PubMed, Embase und CINAHL und wurde durch eine Referenzlisten-Suche der identifizierten Artikel ergänzt.

2.2 Fragestellung und Zielsetzung

Ziel der systematischen Literaturrecherche war es, randomisierte Studien sowie best practice-Beispiele für neonatologische in situ-Simulationstrainingsprogramme in der einschlägigen Fachliteratur zu identifizieren, um auf deren Grundlage ein entsprechendes Trainingsprogramm für die neonatologischen Intensivstationen der Klinischen Abteilung für Neonatologie an der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendheilkunde Graz zu konzipieren.

2.3 Suchstrategie

Bei der Recherche wurden die Subject Headings „Neonatology“ und „Simulation Training“ in PubMed, Embase bzw. CINAHL verwendet und mit dem Operator „AND“ verknüpft. Die Ergebnisse wurden durch eine modifizierte Suche in den Datenbanken PubMed und CINAHL ergänzt. Für die PubMed Advanced-Suche wurde die Suchanfrage „((neonatal) AND (in-situ simulation OR in-situ characterization OR in situ))“ mit der Filtereinstellung RCT (randomized controlled trial) versehen, um die Trefferliste auf relevante Artikel einzuschränken. Die modifizierte Suche in CINAHL umfasste die Keywords „neonat*“ und „simulation training“, welche wiederum durch den Operator „AND“ verknüpft wurden. Des Weiteren erfolgte eine Durchsicht von inhaltlich relevanten Übersichtsartikeln (54, 55, 63, 75), eine manuelle Referenzlisten-Suche der Datenbanktrefferliste sowie eine Suche durch die Berry-picking-Methode (76).

Abgesehen von der Filtereinstellung „RCT“ bei der PubMed Advanced-Suche wurde auf zeitliche, sprachliche oder Gender-bezogene Restriktionen verzichtet, um ein möglichst breites Suchfeld abzudecken. Im Falle von Veröffentlichungen in Form von Abstracts/Poster war eine Kontaktaufnahme zum* zur jeweiligen Korrespondenzautor* in geplant.

2.4 Auswahlkriterien

Nach Entfernung der Duplikate wurden die Abstracts der verbleibenden Artikel geprüft, um diejenigen auszuwählen, die für die weitere Überprüfung in Frage kamen. Die Volltexte dieser ausgewählten Artikel wurden dann anhand der festgelegten Ein- und Ausschlusskriterien auf Eignung geprüft, um die endgültig einzuschließenden Artikel identifizieren zu können. Die inhaltlichen Einschlusskriterien umfassten die Punkte NICU-Setting, in situ-Simulationstraining (Reanimations- bzw. Teamtraining) und einen Fokus auf neonatologische Notfälle. Ausgeschlossen wurden Artikel über Simulationstraining im low-resource- oder non-NICU-Setting, Simulationstrainings in dezidierten Simulationszentren, Trainings mit Fokus auf mütterliche oder perinatale Notfälle, Fragebogenstudien oder Studien, welche nur in Form eines Abstracts verfügbar waren. Vorzugsweise wurden Studien mit randomisiert-kontrolliertem Design inkludiert, jedoch wurden aufgrund der geringen Datenlage ebenfalls prospektive und retrospektive Studien berücksichtigt.

2.5 Studienauswahl und Datenextraktion

Die erste elektronische Literaturrecherche wurde ab 10. Juni 2022 durchgeführt und zuletzt am 25. Oktober 2022 aktualisiert (LVT). Nachdem die Duplikate entfernt wurden, prüften zwei Personen (LVT und LPM) unabhängig voneinander die Abstracts der Trefferliste und die jeweiligen Referenzlisten relevanter Artikel, wobei im Falle einer Meinungsverschiedenheit ein Konsens durch Diskussion erzielt wurde. Die Volltexte der ausgewählten Artikel wurden hinsichtlich der vordefinierten Ein- und Ausschlusskriterien auf Eignung geprüft und die endgültig einzuschließenden Artikel wurden in einem gemeinsamen Diskurs zwischen den Autoren identifiziert.

Ein standardisierter Erhebungsbogen wurde erstellt, um eine deskriptive, vergleichende Analyse der Ergebnisse zu ermöglichen. Die eingeschlossenen Artikel wurden hinsichtlich der Aspekte Personal, Logistik, Inhalt und Outcome ausgewertet und miteinander verglichen (LVT). Die Zielgruppen, Gruppengrößen, teilnehmenden Berufsgruppen sowie die zur Planung und Durchführung der Trainings notwendigen Professionen (Simulationstrainer*innen und Techniker*innen) wurden im Bereich des Personals erfasst. Zum logistischen Teil gehörte die Unterscheidung zwischen high- und low-fidelity-Simulatoren sowie die Berücksichtigung von Aspekten wie die Verwendung von realitätsnahem Equipment, die Einbindung der simulierten Vitaldaten in ein elektronisches Patient*innendatenmanagementsystem, die Audio-Video-Aufzeichnung des gesamten Szenarios und die Trainingsfrequenz. In-

haltlich wurden die Artikel hinsichtlich der verwendeten Simulationsszenarien und des Briefings und Debriefings der Teilnehmenden miteinander verglichen. Relevante Outcomeparameter umfassten eine Verbesserung der Patient*innensicherheit durch Identifizierung von LST, eine Verbesserung der technischen und nicht-technischen Fertigkeiten der Teilnehmenden sowie eine Verbesserung des (medizinischen) Patient*innenmanagements.

2.6 Qualitätsbewertung

Für die Bewertung des Verzerrungsrisikos der Studien wurde das „Cochrane Risk of Bias Tool for Randomized Controlled Trials“ (RoB) (77) verwendet.

2.7 Datensynthese

Die Synthese von Daten ist laut PRISMA-Richtlinien (74) ein wichtiger Bestandteil eines systematischen Reviews. In dieser Arbeit wurde jedoch auf die Durchführung einer solchen Synthese verzichtet, da die Anzahl der Artikel, die den festgelegten Kriterien entsprachen, gering war und die Studien in Bezug auf Fragestellung, Inhalt und Ergebnisse heterogen waren.

3 Ergebnisse – Resultate mit graphischen Darstellungen

Die systematische Literatursuche ergab nach Entfernung der Duplikate (n=71) eine Gesamtzahl von 702 Artikeln, welche sich aus Treffern der Datenbankrecherche (n=415), der Referenzlisten-Suche (n=356) sowie der Berrypicking-Methode (76) (n=2) zusammensetzten (siehe Abbildung 5).

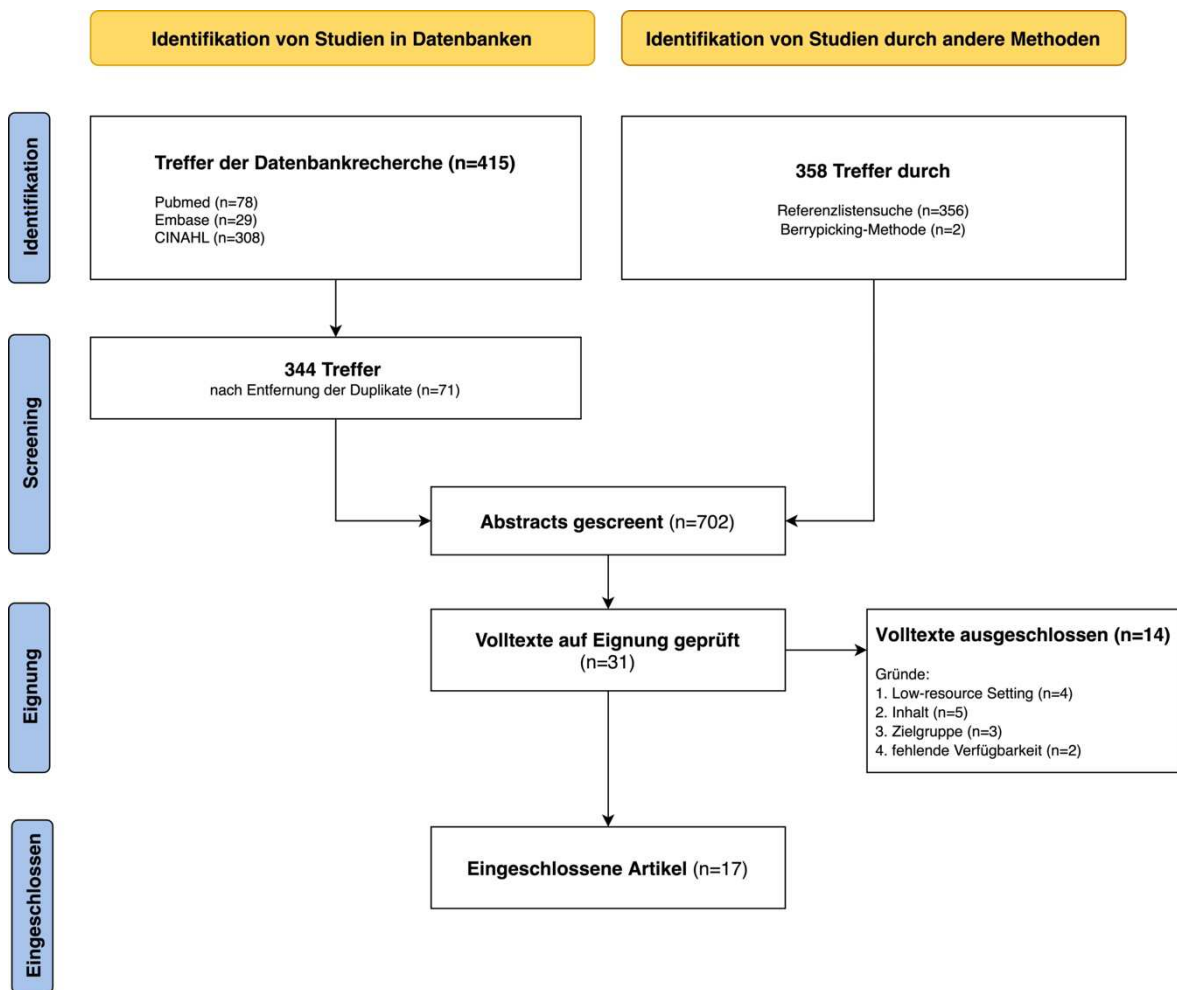


Abbildung 5: Flussdiagramm adaptiert nach PRISMA (74)

Im zweiten Schritt wurden passende Artikel basierend auf den Informationen aus Titel und Abstract gescreent und ausgewählt. Dabei konnte ein Poster (78) auffindig gemacht werden, dessen Autorin bei der Suche nach dem Volltext kontaktiert wurde. Eine Korrespondenz kam jedoch aufgrund fehlender Rückmeldung nicht zustande.

Die Volltexte potenziell geeigneter Artikel (n=31) wurden anschließend hinsichtlich der Ein- und Ausschlusskriterien auf Eignung geprüft, wodurch 16 Volltextartikel und ein Poster (78) eingeschlossen werden konnten. Die Ausschlussgründe umfassten nicht passenden Inhalt

(n=5), ungeeignete Zielgruppe (n=3), Studien im low-resource-Setting (n=3) sowie fehlende Volltextverfügbarkeit (n=2).

3.1 Studiencharakteristika

3.1.1 Studiendesign

Drei (57, 79, 80) der 17 eingeschlossenen Artikel verfügten über ein randomisiert-kontrolliertes Studiendesign. Unter den übrigen eingeschlossenen Artikeln fanden sich zwei Pilot-Studien (81, 82), zwei quasi-experimentelle Studien (83, 84) sowie zehn deskriptive Berichte (66, 78, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92). Neun Artikel (57, 78, 79, 83, 84, 86, 90, 91, 92) beschrieben ein prä- und postinterventionelles Studiendesign. Alle Studien wurden in Europa, den Vereinigten Staaten von Amerika, Kanada oder Australien durchgeführt, da die Durchführung im low-resource-Setting zu den Ausschlusskriterien zählte.

Details zu Studiendesign, Trainingsinhalten, Trainingslogistik, Personal und Trainings-Outcome der inkludierten Studien sind in Tabelle 12 zusammengefasst.

Nur drei der insgesamt 17 eingeschlossenen Artikel verwendeten ein randomisiert-kontrolliertes Design, weshalb nur diese mit dem „RoB“ Tool hinsichtlich ihres Bias-Risikos beurteilt werden konnten. Die Ergebnisse der Analyse mit dem „RoB“-Tool können Abbildung 6 entnommen werden.

Kamath-Rayne et al. 2019	-	?	-	?	+	+
Rubio-Gurung et al. 2014	+	+	-	+	+	+
Haynes et al. 2021	+	?	-	?	+	+
	Generierung der Randomisierungssequenz	Verdeckte Gruppenzuteilung	Verbindung von Studienpersonal/-teilnehmern	Fehlende Daten bei der Endpunkterhebung/-bewertung	Selektives Berichten von Endpunkten	
						<p>- hohes Risiko für Bias</p> <p>+ geringes Risiko für Bias</p> <p>? unklares Risiko für Bias</p>

Abbildung 6: Cochrane RoB Zusammenfassung für randomisiert-kontrollierte Studien

3.1.2 Inhalt

Der Aufbau des Trainings bestand bei allen Studien und Berichten aus Briefing, Szenario und Debriefing. Die Gesamtdauer des Trainings betrug in der Regel zwischen 30 und 120 Minuten, wobei eine Studie (57) ein vierstündiges Training durchführte. Trainingseinheiten, welche länger als 120 Minuten dauerten, wurden meist an arbeitsfreien Tagen oder in Schichten mit doppelter Besetzung abgehalten. Die übrigen Trainingseinheiten fanden sowohl angekündigt als auch unangekündigt während oder direkt nach der regulären Arbeitszeit statt. Die Szenarien dauerten in den meisten Fällen circa 10 Minuten und basierten auf rezenten Notfallsituationen wie der Erstversorgung Frühgeborener, der Reanimation Neugeborener einschließlich Maskenbeatmung, endotrachealer Intubation, Surfactant- und Adrenalin-Administration. Inhaltlich hervorzuheben ist an dieser Stelle das ECMO-Training aus der Publikation von Sawyer et al. (84), welche die Performance-Verbesserung während der extrakorporalen kardiopulmonalen Reanimation zum Ziel hatte. Der Begriff ECMO steht dabei für extrakorporale Membranoxygenierung.

In den meisten Studien war das Debriefing der zeitaufwendigste Teil des Trainings, wobei das Verhältnis zwischen Debriefing und Szenario mehrheitlich bei mindestens 2:1 lag. Bemerkenswert war, dass die Dauer des Debriefings in einer Studie (82) jeweils zwei Stunden betrug, was dessen Wichtigkeit nochmals unterstreicht.

3.1.3 Logistik

Die Räumlichkeiten des in situ-Training umfassten NICU-Patient*innenzimmer, Kreißsaal- bzw. Gebärdzimmer, Operationssäle sowie Nachbildungen des NICU-Reanimationsraums. Drei der eingeschlossenen Studien (81, 85, 89) verwendeten sowohl high- als auch low-fidelity-Simulatoren, während eine weitere (92) lediglich einen low-fidelity-Simulator nutzte. Rivera et al. (91) sowie Eckels et al. (66) machten keine genaueren Angaben zu den verwendeten Simulatoren. Alle anderen (57, 78, 79, 80, 82, 83, 84, 86, 87, 88, 90) verwendeten ausschließlich high-fidelity-Simulatoren. Zwei Studien (79, 80) nutzten einen speziellen Beatmungstrainer (NeoNatalie Live, Laerdal, Stavanger), der eine Kombination aus einem einfachen neonatalen Trainingsmodell und einer Web-Applikation darstellt und dem Training der adäquaten Beatmung mit objektivem Feedback dient. Neben dem benötigten (Reanimations-) Equipment wurde in der Regel eine AV-Anlage zur Aufzeichnung des Szenarios sowie zur Kommunikation zwischen Steuerungs- und Trainingsraum verwendet.

Die meisten Trainingsprogramme strebten eine Trainingsfrequenz von 1-2 Einheiten pro Monat an. Fünf Studien (57, 83, 90, 91, 92) verzichteten auf die Implementation eines regelmäßigen Trainings und führten einzelne (1-3) Trainingseinheiten durch, welche im Rahmen eines prä- und post-interventionellen Studiendesigns evaluiert wurden.

3.1.4 Personal

Mehrheitlich (n=13) wurde ein multiprofessionelles in situ-Simulationstraining durchgeführt, wobei das Team in den meisten Fällen aus registered nurses, neonatal nurse practitioners, respiratory therapists, Hebammen sowie Ärzt*innen inklusive interns, residents, fellows und attendings bestand. Insgesamt wurde in vier Studien (57, 79, 82, 85) ein interdisziplinäres, also ein mehrere ärztliche Disziplinen umfassendes Training durchgeführt. Zu den teilnehmenden Fachgebieten gehörten Pädiatrie, Geburtshilfe, Anästhesie, Kardiologie und (Herz-)Chirurgie. Vier Artikel erwähnten ein zielgruppenspezifisches Training, das sich einerseits an Assistenzärzt*innen der Neonatologie/Pädiatrie (Einzeltraining) (80, 90, 92) und andererseits an das Pflegepersonal der NICU (91) richtete. Die Gruppengröße der Trainings variierte von Einzeltrainings mit einem Teilnehmenden (80, 90, 92) bis hin zu Gruppen von bis zu 30 Teilnehmenden. (85) In der Regel wurde das Training von zwei bis drei speziell ausgebildeten Trainer*innen geleitet, die (im Idealfall) jeweils eine der beteiligten Berufsgruppen repräsentierten. Die Trainer*innenausbildung umfasste hauptsächlich die Teilnahme an spezialisierten Simulationstraining-Kursen, wie zum Beispiel dem Kurs am Center for Advanced Pediatric and Perinatal Education an der Stanford University, wie von Byrne et al. (81) beschrieben. Als weiteres Beispiel sei jenes von Rivera et al. (91) genannt, die einen achtstündigen Kurs beschrieben in dem Trainer*innen lernen Szenarien zu schreiben sowie Simulationen zu leiten, ein Debriefing durchzuführen und dieses zu evaluieren. (81)

3.1.5 Outcome

Drei (79, 80, 92) der 17 eingeschlossenen Studien legten den Fokus im Outcome auf die Verbesserung der technischen Fertigkeiten während der neonatalen Reanimation. Die Evaluierung nicht-technischer Fähigkeiten stand für drei Artikel (83, 86, 91) im Vordergrund, wobei weitere sechs Artikel (57, 78, 81, 84, 88, 90) sowohl technische als auch nicht-technische Fertigkeiten betrachteten. Alle eingeschlossenen Studien fanden im jeweils definierten Ziel-Outcome einen Mehrwert durch Simulationstraining.

Eckels et al. (66) strebten eine Erhöhung von Trainingsfrequenz und Teilnahmequote an. Eine Publikation (87) hatte außerdem die Identifikation von LST zum Ziel, wobei im Rahmen von 16 Trainings 29 LST aufgedeckt werden konnten. Sharma et al. (89) entwickelten ein Curriculum, welches die neonatologische Ausbildung durch SBT grundsätzlich verbessern soll. Im Artikel von Miller et al. (82) wurde weder ein spezifischer Outcomeparameter genannt noch erfolgte eine Evaluierung der Intervention, welche die Beurteilung und Verbesserung der Teamperformance zum Ziel hatte.(87)

Während keine Studie einen direkten kausalen Zusammenhang zwischen SBT und einer Senkung der neonatalen Mortalität oder Morbidität belegte, konnten Bhatia et al. (86) zeigen, dass interprofessionelles in situ-SBT mit einem verringerten Auftreten von Todesfällen, geringerem Absaugbedarf und niedrigerer Inzidenz von Maskenbeatmung, Intubationen, Thoraxkompressionen und Adrenalingaben assoziiert war. Ähnliche Ergebnisse wurden auch von Reed et al. (85) gefunden, die eine Assoziation zwischen SBT und einer Reduktion von sogenannten Code-Blue-Events (Zwischenfälle mit der Notwendigkeit von Thoraxkompressionen) nachweisen konnten.

Tabelle 12: Studiencharakteristika

Referenz	Design	Inhalte	Logistik	Personal	Outcome
Barry, 2012 (92)	Report (PPID)	<p>Gesamtdauer: 1,5 – 2h</p> <p>Ablauf: 2 Sessions</p> <p>Equipment-Vorbereitung inklusive Debriefing (30min) + Szenario inklusive Debriefing (40min)</p> <p>Szenario: Max. 10min Dauer</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Reifgeborenes mit Mekoniumaspiration ○ Frühgeborenes (28. SSW) mit IRDS ○ Frühgeborenes (33. SSW) mit hypovolämischem Schock <p>- Maßnahmen: Absaugen der Atemwege, Maskenbeatmung, Intubation, Thoraxkompressionen, Nabelvenenkatheter-Anlage, Gabe von Adrenalin/Surfactant, Flüssigkeit, Dekompression des Pneumothorax</p> <p>Debriefing: 30min Dauer</p>	<p>Ort: Colorado, USA</p> <p>Räumlichkeiten: Gebärsaal</p> <p>Simulator: Low-fidelity (Laerdal)</p> <p>Equipment: Beatmungsbeutel und -Maske, Intubations-Set, Sauger, Thorakozentese-Set, Nabelvenenkatheter-Set, Pulsoxymeter</p> <p>Trainingsfrequenz: Einmalig 2 Sessions an einem Tag</p>	<p>Gruppengröße: 1 Teilnehmender</p> <p>Zielgruppe: pediatric interns</p> <p>Trainer*innen: neonatology attending, neonatology fellow, NNP</p>	<p>Hauptoutcome: Verbesserung der Leistung beim Reanimationstraining, besonders bei Vorbereitung des Equipments</p>
Bhatia, 2021 (86)	Report (PPID)	<p>Einführung und Briefing: Workshop: Lesen der Reanimationsleitlinie, Ice-breaking-Aktivität, Einführung in Crisis Resource Management, Familiarisierung mit dem Simulator</p> <p>Szenario: 2 Reanimationsszenarien</p> <p>Debriefing: Diskussion, Reflexion, Feedback</p>	<p>Ort: Melbourne, AUS</p> <p>Räumlichkeiten: Keine Angabe</p> <p>Simulator: High-fidelity (Laerdal SimNewB)</p> <p>Equipment: AV-Anlage</p> <p>Trainingsfrequenz: 10-12/Jahr</p>	<p>Gruppengröße: 6-8 Teilnehmende</p> <p>Professionen: medical and nursing staff</p> <p>Trainer*innen: 2-3 facilitators (neonatologist, neonatal nurse, sim center staff), one acts as a midwife confederate</p>	<p>Hauptoutcome: Kommunikation, Teamwork und professionelle Entwicklung</p> <p>Assoziiert mit: Verringertem Auftreten von:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Todesfällen - Absaugen - Maskenbeatmung - Intubationen - Thoraxkompressionen - Adrenalingaben

MD medical doctor, RN registered nurse, NNP neonatal nurse practitioner, RT respiratory therapist, HBB helping babies breathe, PPID pre and post intervention design, QES quasi-experimentelle Studie, SSW Schwangerschaftswoche, AV-System Audio-Video-System, ECRP extracorporeal cardiopulmonary resuscitation

Byrne, 2014 (81)	Pilot-Studie	<p>Gesamtdauer: 30-60min</p> <p>Szenario:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Vorzeitige Plazentalösung ○ Neonataler Schock ○ Erstversorgung eines Frühgeborenen ○ Neugeborenenreanimation, Mekoniumaspirationssyndrom <p>Briefing, Überwachung, Debriefing: remote via Telehealth link</p>	<p>Ort: British Columbia, CAN</p> <p>Räumlichkeiten: Gebärsaal, Wochenbettzimmer, NICU-Station, NICU-Zimmer</p> <p>Simulator: Low- und high-fidelity</p> <p>Equipment: AV-Anlage</p> <p>Trainingsfrequenz: Keine Angabe</p>	<p>Gruppengröße: Mind. 2 Teilnehmende (1 physician, 1 RN, +/- 1 RT)</p> <p>Professionen: attending MDs, training MDs, NPs, RNs, medical technicians, RTs</p> <p>Trainer*innen: neonatologists, neonatology simulation fellow, simulation trained pediatrician, RT, simulation educator, RN</p>	<p>Ziele:</p> <p>Verbesserung der prozeduralen, kognitiven und behavioralen Fähigkeiten</p> <p>Verbesserung der interprofessionellen Dynamik, um das neonatale Outcome zu verbessern</p> <p>Vernetzen von Mitarbeitern mit Transport-Neonatolog*innen zur schnellen Konsultation bei realen neonatologischen Notfällen</p>
Eckels, 2020 (66)	Report	<p>Gesamtdauer: 30min (am Ende der Schicht)</p> <p>Szenario:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Szenarien mit hohem Risiko und hoher Frequenz - Szenarien mit hohem Risiko und niedriger Frequenz <p>Debriefing: Analyse der Videos</p>	<p>Ort: Kalifornien, USA</p> <p>Räumlichkeiten: Gebärsaal oder NICU-Raum</p> <p>Simulator: Früh- und Reifgeborenen-Simulator</p> <p>Equipment: AV-Anlage, GoPro®-Kamera, iPad®</p> <p>Trainingsfrequenz: 1/Monat</p>	<p>Professionen: NICU staff (MDs, nurses, RTs)</p> <p>Trainer*innen: 1 neonatologist/NICU medical director, 1 clinical nurse IV (highest position of the clinical ladder for staff nurse) for dayshifts, 1 clinical coordinator for nightshifts (charge nurse)</p>	<p>Primäres Ziel: 2 Simulationen/Monat</p> <p>Sekundäres Ziel: 80% Teilnahmequote</p> <p>Outcome: 70% Teilnahmequote 1 Simulation/Monat Identifikation von LST</p>
Haynes, 2021 (79)	RCT (PPID)	<p>Einführung: 120-180min Dauer Vortrag über Leitlinien, Kennenlernen des Simulators</p> <p>Szenario:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ <u>NeoNatalie Live Szenario 1:</u> Apnoe, normale Lungencompliance, kompensierte Herzfrequenz ○ <u>NeoNatalie Live Szenario 4:</u> Apnoe, geringe Lungencompliance, de-kompensierte Herzfrequenz <p>Assessment:</p>	<p>Ort: Stavanger, NOR</p> <p>Räumlichkeiten: NICU-Reanimationsraum</p> <p>Simulator: Laerdal NeoNatalie Live (speziell für Maskenbeatmung)</p> <p>Equipment: Laerdal NeoBeat (EKG), Laerdal NeoNatalie Live App, Laerdal-Reanimationsmonitor</p> <p>Trainingsfrequenz: 2/Monat</p>	<p>Gruppengröße: Einzeln oder in Paaren, max. 5 Teilnehmende</p> <p>Professionen: anesthesia nurse, anesthetist, midwife, pediatric nurse assistant, pediatrician, obstetrician</p> <p>Trainer*innen: neonatologists</p>	<p>Hauptoutcome: Signifikante Verbesserung der Ventilationskompetenz</p> <p>Nicht nachweisbar: Vorteil des low-dose-high-frequency-Trainings durch Nicht-Einhaltung der Trainingsfrequenz (mehrerheitlich konnten Lernziele nicht erfüllt werden)</p>

MD medical doctor, RN registered nurse, NNP neonatal nurse practitioner, RT respiratory therapist, HBB helping babies breathe, PPID pre and post intervention design, QES quasi-experimentelle Studie, SSW Schwangerschaftswoche, AV-System Audio-Video-System, ECRP extracorporeal cardiopulmonary resuscitation

		<ul style="list-style-type: none"> - Beurteilung durch drei Prüfer - Punkte für Wissen (beurteilt durch Prüfer) - Punkte für Fertigkeiten (beurteilt durch Simulator) 			
Kamath-Rayne, 2019 (80)	Pilot-Studie	<p>Gesamtdauer: 10min</p> <p>Szenario: Reanimation inklusive Maskenbeatmung, endotrachealer Intubation, Thoraxkompressionen und Adrenalin-Gabe</p> <p>Debriefing: Selbstreflexion und Beurteilung durch Trainer*innen</p> <p>Lernziele:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Erkennen eines nicht-atmenden Neugeborenen - Beurteilung der Brustkorbhebung während der Maskenbeatmung - Ventilationsfrequenz 40-60/min - Schritte zur Verbesserung einer ineffektiven Ventilation 	<p>Ort: Cincinnati, USA</p> <p>Räumlichkeiten: NICU-Raum</p> <p>Simulator: Laerdal NeoNatalie</p> <p>Trainingsfrequenz: 1/Woche (je nach Randomisierung)</p>	<p>Gruppengröße: 1 Teilnehmender</p> <p>Zielgruppe: pediatric interns</p> <p>Trainer*innen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1 neonatologist (NRP instructor and HBB master trainer) - 1 emergency medicine physician (HBB master trainer and simulation expert) - 1 research coordinator (HBB master trainer) 	<p>Hauptoutcome: Verbesserung der Maskenbeatmung in der Interventionsgruppe</p>
Maenhout, 2021 (83)	QES (PPID)	<p>Gesamtdauer: 2h (an arbeitsfreien Tagen)</p> <p>Briefing: Übergabe der Patient*in, Teilnehmende erhalten Akte des*der Patient*in, Einteilung in Rollen (aktiv vs. Zuschauer)</p> <p>Szenario:</p> <ul style="list-style-type: none"> o Intubation nach respiratorischer Dekompensation bei NEC o LISA-Verfahren bei IRDS o Thoraxdrainage bei Pneumothorax <p>Debriefing:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Beurteilung des Verlaufes (Video-Analyse) - Diskussion von interprofessionellen Erwartungen 	<p>Ort: Flanders, BEL</p> <p>Räumlichkeiten: Keine Angabe</p> <p>Simulator: High-fidelity</p> <p>Equipment: Video-Aufzeichnung, Checkliste für jedes Szenario, um Performance zu objektivieren</p> <p>Trainingsfrequenz: 3 Sessions</p>	<p>Gruppengröße: 6 Teilnehmende</p> <p>Professionen: nurses, midwives</p>	<p>Hauptoutcome: Verbesserung der Selbstwirksamkeit und der selbstwahrgenommenen Führungsqualitäten</p>

MD medical doctor, RN registered nurse, NNP neonatal nurse practitioner, RT respiratory therapist, HBB helping babies breathe, PPID pre and post intervention design, QES quasi-experimentelle Studie, SSW Schwangerschaftswoche, AV-System Audio-Video-System, ECRP extracorporeal cardiopulmonary resuscitation

		- Erläuterung des theoretischen Hintergrunds			
Miller, 2008 (82)	Pilot-Studie	<p>Briefing: Familiarisieren mit Simulator, Information: Fokus auf nicht-technische Fertigkeiten</p> <p>Szenarien:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Vorzeitige Plazentalösung ○ Uterusruptur ○ Postpartale Blutung <p>Debriefing: 2h Dauer Dokumentation von Anmerkungen der Teilnehmenden, Abspielen und Analyse des Videos</p> <p>Follow-up: Feedback durch die Teilnehmenden über Verbesserung in Kommunikation, Sicherheit und Teamarbeit</p>	<p>Ort: Minnesota, USA</p> <p>Räumlichkeiten: Gebärsaal, OP, Überwachungsraum für Debriefing und Simulationsdirektor</p> <p>Simulator: High-fidelity (Laerdal SimBaby und SimMan)</p> <p>Equipment: Fetaler Herztonsimulator, Herztonmonitor, Cervixdilationsbox, AV-Anlage (Webcams, tragbare Kamera, Tonsystem)</p> <p>Trainingsfrequenz: Keine Angabe</p>	<p>Gruppengröße: 20 Teilnehmende</p> <p>Professionen: obstetricians, RNs, NNPs, anesthesiologists, nurse anesthetists, operation room scrub technicians</p> <p>Trainer*innen: 2 debriefer, 1 simulation director</p> <p>Team zur Szenarien-Erstellung: 1 obstetrician, 1 clinical nurse specialist, 1 nurse researcher</p>	<p>Hauptoutcome: Keine Information</p> <p>Ziel des Programms: Beurteilung und Verbesserung der Teamleistung</p>
O'Quinn, 2018 (78)	Report (PPID)	<p>Gesamtdauer: 20-25min</p> <p>Szenario: Basierend auf rezenten Vorfällen</p> <p>Debriefing: Nicht genauer beschrieben (nur Poster)</p>	<p>Ort: Chicago, USA</p> <p>Räumlichkeiten: Offenes Raum- Setup in der NICU</p> <p>Simulator: High-fidelity (Laerdal SimBaby)</p> <p>Equipment: Original-Reanimationsequipment, Alarm-System</p> <p>Trainingsfrequenz: 2/Monat im Tagdienst, 1/Monat im Nachtdienst</p>	<p>Professionen: NICU-staff (RNs, RTs, NNPs/Fellows)</p> <p>Mock-Code Komitee: Verpflichtende Absolvierung des „Lab“-Trainings, Unterstützung bei der Planung und Implementation des Programms, Evaluierung des Programms</p> <p>Trainer*innen: 3 Mock-Code Komitee Mitglieder</p>	<p>Hauptoutcome: Verbesserung der Selbstsicherheit für Reanimationswissen und Fertigkeiten</p>
Reed, 2017 (85) Reed, 2017 (85)	Report	<p>Gesamtdauer: 30-65min</p> <p>Briefing: Multidimensional durch Vorträge, Emails, Diskussionen</p> <p>Szenario: 6-25min Dauer</p>	<p>Ort: Kansas, USA</p> <p>Räumlichkeiten: Reales NICU-Patient*innenzimmer</p> <p>Simulator: Low-fidelity (Laerdal Baby Anne) und high-fidelity (Gaumard Preemie, Newborn und Pediatric HAL)</p>	<p>Gruppengröße: 12-30 Teilnehmende</p> <p>Rollen: team leader, “relief for chest compressions and/or bagging”, “hands-on patient care”, “running for equipment”, “family-support“</p>	<p>Hauptoutcome: Anheben des Wissensstandes</p> <p>Identifikation und Behebung von Systemfehlern</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pager-Activation-System - Unklarheiten bezgl. Rollenverteilung und Verantwortung

MD medical doctor, RN registered nurse, NNP neonatal nurse practitioner, RT respiratory therapist, HBB helping babies breathe, PPID pre and post intervention design, QES quasi-experimentelle Studie, SSW Schwangerschaftswoche, AV-System Audio-Video-System, ECRP extracorporeal cardiopulmonary resuscitation

		<p>Basierend auf realen Notfallsituationen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Hausgeburt ○ Supraventrikuläre Tachykardie ○ Tracheostoma-Dislokation ○ Respiratorisches Versagen ○ Kardiogener Schock <p>Debriefing:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Diskussion individueller, systematischer oder Ausrüstungsfehler - Subjektives Feedback der Teammitglieder 	<p>Organisation: Liste mit: Equipment, Lernzielen, erwarteten Interventionen und Fertigkeiten inkl. Szenario-Progressions-Algorithmus</p> <p>Trainingsfrequenz: 2/Monat über 4 Jahre Tag-, Nacht-, Wochenenddienste</p>	<p>Professionen: physicians (neonatal-attendings, -fellows, -residents, cardiologists, cardiothoracic surgeons, anesthesiologists), RNs, RTs, NNPs, pharmacists, social workers, chaplains</p> <p>Trainer*innen: simulation facilitators and debriefing team (lead facilitator: neonatal attending)</p>	<p>Assoziiert mit: Reduktion der Code-Blue-Events von 3-8 pro Monat auf 0-2 pro Monat</p>
Rivera, 2020 (91)	Report (PPID)	<p>Szenario:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Neugeborenes mit Apnoeepisode ○ Neugeborenes mit Apnoe aufgrund einer dislozierten nasogastralen Sonde ○ Neugeborenes mit nasalem CPAP und Pneumothorax ○ Neugeborenes mit NEC ○ Neugeborenenreanimation <p>Debriefing: Keine AV-Aufzeichnung, schriftliche Zusammenfassung der Schüssellernenelemente</p>	<p>Ort: Rochester, USA</p> <p>Räumlichkeiten: NICU-Areal</p> <p>Simulator: Keine Angabe</p> <p>Equipment: Spezielles Trainingsequipment (education only-Label, Blaufärbung von Medikamenten)</p> <p>Trainingsfrequenz: Mind. 1/Person/Quartal</p>	<p>Gruppengröße: 2-9 Teilnehmende</p> <p>Zielgruppe: bedside NICU nursing staff and NICU nurses that attend all high-risk-deliveries</p> <p>Trainer*innen: 6-8 NICU nurses (who are NRP instructors and/or respond to high-risk deliveries)</p>	<p>Hauptoutcome: Verbesserung der Selbstsicherheit</p>
Rubio-Gurung, 2014 (57)	RCT (PPID)	<p>Gesamtdauer: 4h</p> <p>Briefing: Familiarisierung mit dem Simulator</p> <p>Szenario: 2-10min Dauer, 9 Szenarien</p> <p>Debriefing: 10-30min Dauer</p> <p>Lernziele:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Durchführung und Evaluation einer adäquaten manuellen Ventilation - Reanimation anhand des Algorithmus für 10min bei klarem/Mekonium-haltigem Fruchtwasser - Verbesserung der Teamarbeit 	<p>Ort: Lyon, Frau</p> <p>Räumlichkeiten: Replikation des Reanimationsraums mit Originalequipment</p> <p>Simulator: High-fidelity (Laerdal SimNewB)</p> <p>Equipment: Webcam, HD-Kamera, Laerdal Debrief Viewer Software</p> <p>Trainingsfrequenz: Einmalig</p>	<p>Gruppengröße: 6 Teilnehmende, 2er Teams (2-3 Trainings/Person/Einheit)</p> <p>Rollen: 1 Leader, 1 Helper</p> <p>Professionen: midwives, pediatricians, anesthesiologists, nurses</p> <p>Beurteilungsteam: 2 neonatologists</p>	<p>Hauptoutcome: Verbesserung von Reanimationsleistung und Teamwork</p>

MD medical doctor, RN registered nurse, NNP neonatal nurse practitioner, RT respiratory therapist, HBB helping babies breathe, PPID pre and post intervention design, QES quasi-experimentelle Studie, SSW Schwangerschaftswoche, AV-System Audio-Video-System, ECRP extracorporeal cardiopulmonary resuscitation

Salih, 2019 (88)	Report	<p>Szenario:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Versehentliche Extubation ○ Pneumothorax durch maschinelle Beatmung ○ Prolongierte Hypoxie aufgrund von versehentlicher Extubation und verhältnismäßig später Reanimation <p>Debriefing: 40-60min Dauer</p> <ul style="list-style-type: none"> - Abspielen/Analyse der Videoaufzeichnung, Vergleich mit realen Erfahrungen der Teilnehmenden - AV-Aufzeichnung und Transkription des Debriefings - Evaluierung des Trainings nach dem Debriefing 	<p>Ort: USA</p> <p>Räumlichkeiten: NICU-Raum</p> <p>Simulator: High-fidelity (Laerdal SimNewB)</p> <p>Equipment: Vollständiges Material zur Versorgung von Neugeborenen, AV-Anlage</p> <p>Trainingsfrequenz: 36 Sessions in 4 Monaten</p>	<p>Gruppengröße: Mind. 3 Teilnehmende</p> <p>Professionen: 1 MD (neonatology fellow) or 1 NNP, 1-3 RNs, 1 RT</p> <p>Trainer*innen: Repräsentanten aus Neonatologie, Pflege und Atemtherapie</p>	<p>Hauptoutcome: Verbesserung der Kommunikation, Teamarbeit, „task clarity/coordination/. fulfillment“</p>
Sawyer, 2019 (84)	QES (PPID)	<p>Gesamtdauer: 2h</p> <p>Briefing: 30min Dauer</p> <p>Szenario: 30min Dauer</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Mekoniumaspiration mit refraktärer hypoxämischer Bradykardie <p>Debriefing: 60min Dauer</p> <p>Lernziele:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Identifikation von ECPR-Kandidaten - Aktivierung des ECPR-Systems nach spitalinternen-Richtlinien - Durchführung einer CRP - Gute Kommunikation und Teamwork 	<p>Ort: Seattle, USA</p> <p>Räumlichkeiten: NICU-Raum</p> <p>Simulator: High-fidelity (Laerdal SimNewB + Laerdal ECMO Neck-Patch)</p> <p>Equipment: Monitore, intravenöse Flüssigkeit und Pumpen, mechanischer Ventilator</p> <p>Trainingsfrequenz: 1-2/Monat</p>	<p>Gruppengröße: 11 Teilnehmende</p> <p>Professionen: nurses, physicians, RTs, perfusionists</p>	<p>Hauptoutcome: Verbesserung der Leistung bei ECMO-Reanimation nach Kirkpatrick (technische und nicht-technische Fertigkeiten)</p>
Sharma, 2013 (89)	Report	<p>Gesamtdauer: 60min</p> <p>Briefing: Einführung in das Szenario</p> <p>Szenario: Inkl. Briefing 20min Dauer</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Chirurgisches Szenario (Gastrochisis) 	<p>Ort: Southampton, GBR</p> <p>Räumlichkeiten: NICU-Isolationsraum</p> <p>Simulator: Low-fidelity (Laerdal SimAnne, Simulaid Micropreemie) und high-fidelity (Laerdal SimBaby)</p>	<p>Gruppengröße: 1-8 Teilnehmende</p> <p>Professionen: year 1-8 trainees, RNs, NNPs</p> <p>Trainer*innen: 2 specialist registrars, 1 nurse lead</p>	<p>Ziel: Erstellung eines Curriculums zur Verbesserung der neonatologischen Ausbildung (für Ärzteschaft und Pflege)</p>

MD medical doctor, **RN** registered nurse, **NNP** neonatal nurse practitioner, **RT** respiratory therapist, **HBB** helping babies breathe, **PPID** pre and post intervention design, **QES** quasi-experimentelle Studie, **SSW** Schwangerschaftswoche, **AV-System** Audio-Video-System, **ECPR** extracorporeal cardiopulmonary resuscitation

		<ul style="list-style-type: none"> ○ Respiratorisches Szenario (IRDS) <u>Prozedurale Fertigkeit:</u> Intubation ○ Gefäßzugangsszenario (Perinatale Asphyxie) <u>Prozedurale Fertigkeit:</u> Nabelvenenkatheteranlage <p>Debriefing 40min Dauer</p>	Trainingsfrequenz: 1/Monat		
Surcouf, 2013 (90)	Report (PPID)	<p>Setting: Nichtangekündigtes Mock-Code-Reanimationstraining mit anschließendem Fragebogen</p> <p>Gesamtdauer: 1h</p> <p>Ablauf: 2 Szenarien mit jeweils Debriefing</p> <p>Szenario 1: 10min Dauer</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Reanimation nach Notsectio inkl. Maskenbeatmung + Thoraxkompressionen <p>Debriefing: 5min zwischen Assistent*in und Trainer*in</p> <p>Szenario 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Reanimation inkl. Maskenbeatmung + Intubation bei IRDS nach Mekonium-haltigem Fruchtwasser <p>Debriefing: 15min</p>	<p>Ort: New Orleans, USA</p> <p>Räumlichkeiten: NICU-Areal</p> <p>Simulator: High-fidelity (Laerdal SimNewB)</p> <p>Equipment: Video-Überwachung</p> <p>Trainingsfrequenz: Mind. 1 /Rotation</p>	<p>Zielgruppe: pediatric/medicine-pediatric residents</p> <p>Teilnehmende: 1 resident +/- nurse staff</p> <p>Trainer*innen: 3 neonatology fellows, of whom one was senior neonatology faculty member who served as the “gold standard” content expert</p>	<p>Forschungsfragen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Durchführbarkeit (mind. 1 Trainingseinheit/resident) • Verbesserung der Selbstsicherheit (laut Fragebogen) • Verbesserung der Performance (laut Videoanalyse) • Korrelation zwischen empfundener Selbstsicherheit und Performance • Korrelation zwischen Videoanalyse und live-Überwachung
Wetzel, 2013 (87)	Report	<p>Gesamtdauer: 20min</p> <p>Szenario: 10min Dauer</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Supraventrikuläre Tachykardie ○ RDS mit Pneumothorax ○ Hyperkaliämie mit ventrikulärer Tachykardie ○ Hypoglykämie ○ Thoraxdrainage-Konnektions-Fehler <p>Debriefing: 10min Dauer</p>	<p>Ort: Cincinnati, USA</p> <p>Räumlichkeiten: NICU-Einzelzimmer</p> <p>Simulator: High-fidelity</p> <p>Equipment: Videorekorder (nicht verwendet um in -situ Training kurz zu halten)</p> <p>Trainingsfrequenz: 2/Monat</p>	<p>Gruppengröße: 6 Teilnehmende</p> <p>Professionen: mind. 1 MD or 1 APN, mind. 1 RT, multiple RNs</p> <p>Trainer*innen: at least 1 MD or 1 APN and 1 RN</p>	<p>Hauptoutcome: Identifikation von LST (Equipment, Medikation, Personal, Ressourcen oder technische Fertigkeiten)</p>

MD medical doctor, RN registered nurse, NNP neonatal nurse practitioner, RT respiratory therapist, HBB helping babies breathe, PPID pre and post intervention design, QES quasi-experimentelle Studie, SSW Schwangerschaftswoche, AV-System Audio-Video-System, ECRP extracorporeal cardiopulmonary resuscitation

4 Diskussion

Die umfassende systematische Literaturrecherche in medizinischen Datenbanken PubMed, Embase und CINAHL führte zu einer Gesamtzahl von 702 Treffern, was die Breite und Vollständigkeit der Literatursuche unterstreicht. Im weiteren Verlauf konnten 17 Artikel identifiziert werden, welche den vordefinierten Suchkriterien der systematischen Literaturrecherche entsprachen. Aufgrund der spezifischen Fragestellung, des innovativen Charakters und des verhältnismäßigen Neuigkeitswertes von in situ-Simulationstraining wurde mit einer kleinen Ergebnismenge gerechnet, was wiederum die Wichtigkeit des Projekts unterstreicht.

4.1 Inhalt

Circa 10% aller Neugeborenen werden nach der Geburt an einer neonatologischen Intensivstation aufgenommen. (93) Die häufigsten Komplikationen während des stationären Aufenthalts umfassen die NEK, Sepsis, intrakranielle Hämorrhagien, Pneumothorax sowie respiratorische Dekompensation infolge einer BPD oder eines IRDS. (94) In etwa 1% der Fälle ist während des stationären Aufenthalts eine kardiopulmonale Reanimation erforderlich. (47) HALO-Events wie diese erfordern trotz hoher emotionaler Belastung effektive und effiziente interprofessionelle Zusammenarbeit. (66) Aus diesem Grund müssen Szenarien, welche selten vorkommen, aber mit hohem Gefahrenpotential einhergehen, häufiger trainiert werden. Dies spiegelt sich auch deutlich in der Szenarienwahl der eingeschlossenen Studien wider. Wenig überraschend ist es also, dass das Szenario, das am häufigsten trainiert wurde, die kardiopulmonale Reanimation von Neu- und Frühgeborenen darstellt (57, 80, 81, 86, 89, 90, 91, 92). Daneben sind das IRDS (83, 87, 89, 90, 92), der Pneumothorax (83, 87, 88, 91), die akzidentelle Extubation (85, 88) und die NEK (83, 91) häufig Inhalt von Simulationstrainingsprogrammen, was sich wiederum mit den häufigsten Notfällen der NICU deckt. Bei der Konzepterstellung eines Simulationstrainingsprogramms spielt die Szenarientwicklung eine große Rolle. Die Lernziele müssen im Vorfeld genau definiert werden und sollten sowohl in ihrer Komplexität als auch in ihrem Umfang an die Zielgruppe und die zur Verfügung stehende Trainingszeit angepasst werden. (69) Für die Entwicklung der Szenarien sollten möglichst alle Berufsgruppen, welche am Szenario beteiligt sind, einbezogen werden. Der Einsatz von Stressoren, wie beispielsweise defektes Equipment oder besorgte Erziehungsberechtigte, sollte mit Vorsicht erfolgen, sodass das Erfüllen der Lernziele im Vordergrund bleibt. Weiterhin sollte das Szenario vorab innerhalb des Trainer*innenteams

getestet und nachfolgend in regelmäßigen Abständen reevaluiert werden, um dieses in den Gesichtspunkten Praxistauglichkeit, Relevanz und Aktualität zu adaptieren.

Die Erstellung eines Szenarienskripts dient der Gewährleistung der Reproduzierbarkeit, dem Erreichen von Lernzielen, der Weiterentwicklung sowie der Vorbereitung für die Trainer*innen. (69) Das Szenarienskript sollte zumindest folgende Punkte umfassen: Zielgruppe, Lernziele, Szenarienbeschreibung für Trainer*innen (Situation, Lokalisation, Rollenspieler*innen, Ablauf, Zielsetzung), Teilnehmer*innen-Briefing, Beschreibung des Ablaufs (Vitalparameter, Trigger, Rettungsanker) und eine Checkliste für die Vorbereitung des Szenarios. (69)

Die Empfehlungen der International Nursing Association of Clinical and Simulation Learning (INACSL) - Standards of Best Practice (95) lassen sich in Hinblick auf das Simulationsdesign in elf Statements zusammenfassen (siehe Tabelle 13).

Führe eine Evaluierung der Bedürfnisse der Teilnehmenden durch
Definiere messbare Ergebnisse
Strukturiere das Format der Simulation in Abhängigkeit von Theorie, Lernzielen und Modalität des SBT
Designe ein Szenario, einen Fall oder eine Aktivität, welche den Kontext verdeutlicht
Nutze unterschiedliche Stufen von Fidelity
Stelle sicher, dass die Leitung des Trainings teilnehmer*innenzentriert ist und adaptiere diese in Abhängigkeit von Lernzielen, Erfahrung/Wissen der Teilnehmenden und des erwarteten Outcome
Führe ein Prebriefing durch, welches Vorbereitung, Materialien und Briefing beinhaltet
Führe ein Debriefing, eine Feedback-Session und/oder eine geführte Reflexionsübung durch
Führe eine Evaluierung der Teilnehmenden, der Trainer*innen, der Simulationserfahrung, der Räumlichkeiten und des Supportteams durch
Stelle Material und Ressourcen zur Verfügung, welche die Teilnehmenden dabei unterstützen, die Lernziele zu erreichen
Führe vor der Implementation eine Pilot-Testung des Szenarios durch

Tabelle 13: INACSL Standards of Best Practice: Simulation Design (Übersetzung der Autorin) (95)

Allgemein gilt, dass die Gesamtdauer des Trainings bei zumindest 60 Minuten liegen sollte, wobei das vermeintlich ideale Verhältnis zwischen Szenario und Debriefing bei 1:2 liegt, also das Debriefing mehr Zeit beansprucht als das eigentliche Training. (96) Cheng et al. (97) schlagen vor, das Debriefing im Rahmen des in situ-Simulationstrainings aufgrund der

begrenzten zeitlichen Ressourcen der Teilnehmenden auf 10 Minuten zu kürzen. Dies kann durch direktes Feedback und Selbsteinschätzung der Teilnehmenden gelingen. (97) Die Durchführung eines zweistündigen Debriefings wie in der Publikation von Miller et al. (82) ist zwar vorbildlich und verdeutlicht die Wichtigkeit des Debriefings, ist jedoch in der Praxis der in situ-Simulation kaum umsetzbar, da die Teilnehmenden gezwungen sein könnten, das Training aufgrund eines Notfalls auf der Station oder der routinemäßigen klinischen Arbeit vorzeitig abzubrechen.

Des Weiteren ist der Inhalt des Szenarios für die Dauer des Debriefings von großer Bedeutung. Ein medizinisch oder psychologisch komplexes Szenario wie beispielsweise eine ECMO oder eine Reanimation mit der Komplikation einer akzidentellen Extubation oder eines iatrogenen Pneumothorax geht auch im Debriefing mit einem höheren Maß an Komplexität und Zeitaufwand einher als eine Basisreanimation mit Beutel-Masken-Beatmung und Thoraxkompressionen. Erfahrungsgemäß spielt daneben die Simulationserfahrung der Teilnehmenden eine große Rolle - je erfahrener diese in der Simulation sind, desto selbstreflektierter sind sie häufig, was sich wiederum auf die Länge des Debriefings auswirkt.

Aus diesem Grund sollte der zeitliche Rahmen des Trainings und des Debriefings nach Möglichkeit an die zeitlichen Ressourcen und die Vorkenntnisse der Teilnehmenden, den Inhalt des Szenarios sowie die Regelmäßigkeit von SBT flexibel angepasst werden.

4.2 Logistik

Die Wahl der Räumlichkeiten im in situ-Simulationstraining richtet sich nach der Verfügbarkeit. Durch die dauerhafte Nutzung eines Patient*innenzimmers als Simulationsraum kann die Zeit, welche für Auf- und Abbau des Equipments aufgewendet werden muss, minimiert werden, was speziell im zeitlich begrenzten in situ-Simulationssetting von Vorteil ist. Außerdem kann so vermieden werden, dass es zu einer Verwechslung von Equipment kommt, welches nur zur Simulationszwecken (z.B. Defibrillator, Medikamente, Beatmungszubehör, ...) genutzt werden darf. Im klinischen Setting besteht der Luxus eines dauerhaft zur Verfügung stehenden Patient*innenzimmers selten, weshalb Simulationsequipment meist an einem anderen Ort zwischengelagert werden muss oder lediglich ein Simulator mit dem realen Equipment verwendet werden kann. Wird reales Equipment für das Training verwendet muss darauf geachtet werden, die verwendeten Ressourcen nachzurüsten, sodass die Patient*innenversorgung im Notfall jederzeit gewährleistet ist.

Die Wahl des Simulators (high- versus low-fidelity) richtet sich nach den Lernzielen, dem Realismus der Umgebung in der die Simulation stattfindet, der verwendeten Technologie (Hardware- bzw. Softwaresysteme, welche Ähnlichkeiten mit der verwendeten klinischen Software aufweisen oder ggf. sogar mit dieser kompatibel sind) und schließlich der psychologischen Fidelity, welche die emotionalen und behavioralen Aspekte von Ausnahmesituationen abbildet. (54)

Zahlreiche Studien versuchten den Vorteil von high-fidelity- gegenüber low-fidelity-Simulatoren zu objektivieren – mit wenig Erfolg. (98, 99, 100) Training mit high-fidelity-Simulatoren führt laut der Publikation von Massoth et al. (101) im Vergleich zu low-fidelity-Simulatoren nicht nur zu einer schlechteren Performance und einem geringeren Wissensgewinn, sondern auch zur Selbstüberschätzung der teilnehmenden Studierenden. Es konnte gezeigt werden, dass Selbstüberschätzung mit einer erhöhten Risikobereitschaft assoziiert ist, was sich potentiell negativ auf das Patient*innenoutcome auswirken kann und aufgrund dessen auch einen unerwünschten Effekt im SBT darstellt. (102) Dem gegenüber steht die Metaanalyse von Sherwood RJ et al. (103), die zeigt, dass Training an high-fidelity-Simulatoren zu besserem Wissen und verbesserten psychomotorischen Fertigkeiten führt.

Da das in situ-Simulationstraining nicht nur ein Reanimationstraining, sondern vielmehr ein Zwischenfalltraining mit komplexen Notfallsituationen darstellt, ist der Einsatz von high-fidelity-Simulatoren aufgrund der fortgeschrittenen Lernziele häufig notwendig und vorteilhaft. In der klinischen Praxis bleibt der Zugang zu high-fidelity-Simulatoren, vor allem kleinen Spitälern, nicht zuletzt aufgrund der hohen Kosten, welche bis zu 80 000 Dollar reichen, meist verwehrt. (54)

Eine AV-Anlage bietet die Möglichkeit der Live-Übertragung, Aufzeichnung und Wiedergabe von Szenarien mit einer oder mehreren Kameraperspektiven sowie die Aufzeichnung und Echtzeitsteuerung der Vitalparameter. Trainer*innen können das Szenario überwachen ohne im Raum anwesend sein zu müssen, was sich positiv auf das Erleben des Szenarios auswirkt. (69)

Die AV-Anlage kann im Sinne eines Video-assistierten Debriefings (VAD) genutzt werden und bietet dabei den Vorteil der objektiven Beurteilung des Szenarios. Außerdem gibt sie den Teilnehmenden die Möglichkeit das Szenario von einer anderen Perspektive zu sehen und ggf. Wissenslücken zu schließen. (104) Nachteile des VAD bestehen in einem potenziellen Risiko für die psychologische Sicherheit, Ablenkung sowie in einem erheblichen fi-

nanziellen und zeitlichen Mehraufwand. (104) Die Metaanalyse von Zhang et al. (105), welche 23 Studien im Zeitraum von 2002-2017 bezüglich der Effektivität von VAD analysierte, konnte keinen Vorteil von VAD gegenüber einem verbalen Debriefing feststellen.

Zusätzlich dazu stellt die Wahl des AV-Systems einen wichtigen Aspekt in der Realisierung eines in situ-Simulationstrainingsprogramms dar. Die Verwendung von kleinen, tragbaren Kamerasystemen, wie beispielsweise einer GoPro®-Kamera, bietet im in situ-Training gegenüber großen, meist stationären AV-Anlagen wie beispielsweise SimCapture (Laerdal, Stavanger) einige Vorteile. Besonders der preisliche Aspekt, welcher für komplexe AV-Systeme im mittleren vier- bis fünfstelligen Bereich liegt, ist insbesondere im in situ-Simulationstraining nicht zu vernachlässigen. Sogenannte Actionkameras sind komplexen AV-Anlagen in Aufzeichnung von Ton und Bild zwar qualitativ unterlegen, kosten jedoch nur einen Bruchteil und bieten für das in situ-Training die nötige Flexibilität in Auf- und Abbau des Equipments. Unter diesen Gesichtspunkten kann der Mehrwert, welchen die Anschaffung einer komplexen AV-Anlage bietet, kritisch betrachtet werden.

Einen weiteren interessanten Aspekt stellt die Verwendung von Eye-Tracking-Software dar. Durch die Verwendung dieses innovativen Tools kann besser nachvollzogen werden, worauf das Hauptaugenmerk der versorgenden Personen während emotional belastender Momente, wie beispielsweise der Reanimation, gerichtet ist. (106) Gröpel et al. (106) konnten in ihrer Beobachtungsstudie belegen, dass sich speziell der Blick auf den Thorax des Neugeborenen förderlich auf die Reanimationsqualität auswirkt. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass häufige Blickwechsel sowie Aufmerksamkeit zu „nicht-aufgabenbezogenen Tätigkeiten“ die Qualität der Versorgung beeinträchtigen. (106) In der Publikation von Wagner et al. (106) wurde außerdem der Tragekomfort einer Eye-Tracking-Brille und die daraus resultierende Beeinträchtigung der Versorgung untersucht. Die Befragten gaben an durch die Brille nicht gestört worden zu sein, wodurch die Versorgung in gewohnter Qualität gewährleistet werden konnte. Ungeachtet dessen bestand bei den Befragten jedoch Unsicherheit, die Brille auch im Arbeitsalltag bei tatsächlich vorkommenden HALO-Events zu tragen. (107)

Um die psychologische Sicherheit und das Vertrauen der Beteiligten zu gewährleisten sollte sowohl im Rahmen des VAD als auch bei der Verwendung von Eye-Tracking-Systemen ausnahmslos jede Videoaufzeichnung nach Analyse und Dokumentation unwiderruflich gelöscht werden und darf unter keinen Umständen beispielsweise von Vorgesetzten missbraucht, veröffentlicht oder an Teilnehmende herausgegeben werden. Damit der Umgang mit den sensiblen Daten gesichert ist sollten die Trainingsteilnehmenden im Vorfeld eine

Einverständniserklärung unterzeichnen. Die Videoaufzeichnung bzw. das Eye-Tracking dient keinesfalls zur „Beweissicherung“ oder dazu Fehler aus Sicht der Trainer*innen vorzuführen, sondern viel eher zur Verdeutlichung der Wirkung menschlicher Faktoren. Außerdem kann versucht werden die Ursache eines beobachteten Problems zu ermitteln, indem beispielsweise nicht angeprangert wird, dass eine Information nicht gehört wurde, sondern versucht zu ermitteln, warum dies passiert ist (z.B. aufgrund von Lautstärke, Arbeitsüberlastung, Überforderung, Teamkommunikation, ...). (65)

Die Etablierung eines regelmäßigen Trainings ist für die Aufrechterhaltung des Fertigkeiten-Niveaus von großer Wichtigkeit. Es konnte gezeigt werden, dass zwei Monate nach einem neonatalen Simulationstraining ein signifikanter Abfall des Fertigkeiten-Niveaus auftritt (108, 109, 110), wobei manuelle Fertigkeiten schneller verloren zu gehen scheinen als Wissen. (111) Dies passiert oft unbemerkt und wird vor allem dann zum Problem, wenn ältere Ärzt*innen unerfahrene Kolleg*innen supervidieren, wodurch die Qualität der Versorgung beeinträchtigt werden kann. (112) Kurzes, häufiges und gezieltes Auffrischungstraining, auch Booster-Session genannt, kann helfen, diesen Abfall zu verhindern. (79, 113)

Die ideale Trainingsfrequenz ist zum heutigen Zeitpunkt unbekannt und Gegenstand aktueller Forschung. Das International Liaison Committee on Resuscitation empfiehlt zumindest alle zwei Jahre ein Reanimationstraining durchzuführen. (114) In der Leitlinie von 2021 empfiehlt das European Resuscitation Council die Wiederholung und Auffrischung des Trainings innerhalb von zwei bis zwölf Monaten. (115) Matterson et al. (113) postulieren auf Basis ihrer Studienergebnisse alle zwei Monate ein Boostertraining für Assistenzärzt*innen durchzuführen, was sich besonders in großen Spitälern mit großen Teams schwierig gestalten kann.

4.3 Personal

Für die Teilnehmenden gilt, dass die Teamkonstellation möglichst jener des realen Arbeitsalltags entsprechen soll, wobei die Teilnehmenden selbst idealerweise entsprechend ihrer tatsächlichen beruflichen Position und ihres Erfahrungsstands eingesetzt werden. (116) Der Wechsel in eine andere Position ist nur dann sinnvoll, wenn die Erlangung von Verständnis für andere Positionen oder ein Perspektivenwechsel als Lernziel im Vordergrund steht. (69)

Die Gruppengröße wird dabei dem Szenario angepasst: Wird die Sicherung des Atemwegs und die Beatmung des Neugeborenen trainiert, ist ein Einzeltraining sinnvoll. Im Rahmen

eines Schockraumtrainings, bei dem die Teaminteraktion maßgeblich für den Behandlungserfolg ist, ist die Teilnehmer*innenzahl entsprechend höher, da in diesem Fall die effektive interprofessionelle Zusammenarbeit zu den Lernzielen zählt. (117, 118) Jede*r Teilnehmende sollten dabei zumindest einmal als Teil des behandelnden Teams aktiv am Szenario teilnehmen. Demnach muss die Gruppengröße auch danach gewählt werden, dass dies in der vorgegebenen Zeit erfüllt werden kann. Personen, welche nicht aktiv am Szenario teilnehmen, sollten die Möglichkeit haben, dieses idealerweise über eine Live-Übertragung in einem anderen Raum mitverfolgen zu können. Dadurch haben auch die „Zuschauernden“ die Möglichkeit sich im Debriefing einzubringen und voneinander zu lernen. (69) Das Netzwerk Kindersimulation e.V. (69) schreibt treffend: „Ziel ist dabei, dass die personellen Ressourcen innerhalb einer Trainingssituation der Realität entsprechend eingesetzt werden. [...] Die Gruppe der Teilnehmenden sollte von Beginn bis Ende des Trainings, auf jeden Fall aber von Beginn bis Ende eines Szenarios inklusive Debriefing vollständig sein, um die psychologische Sicherheit und Integrität zu gewährleisten.“

Zur Leitung des Szenarios sollten zumindest zwei Trainer*innen zur Verfügung stehen. Im Idealfall wird das Team durch zwei weitere Trainer*innen ergänzt, welche in der Rolle der SimNurse, des Technikers oder zur Unterstützung des Debriefings eingesetzt werden können. Die Trainer*innen sollten eine Ausbildung im Bereich des Simulationstrainings vorweisen können sowie mit den Grundsätzen der Simulation und dem „Ethikkodex für Simulationsexpert*innen im Gesundheitswesen“ vertraut sein. (69)

Bisher existiert wenig Literatur darüber, wie Gesundheitsexpert*innen und Gesundheitspädagoge*innen im Fachbereich des Simulationstrainings ausgebildet werden sollten. Neben den von Organisationen wie PAEDSIM (<https://www.paedsim.org>), EuSim (<https://eusim.org>) und InPASS (<https://inpass.de>) angebotenen Schulungen gibt es derzeit nur begrenzt Möglichkeiten für "Train the Trainer"-Kurse auf nationaler und internationaler Ebene. (119)

Topping et al. (120) belegten, dass effektives SBT die Anwesenheit eines*einer Lehrenden erfordert, welche*r unterschiedlichste Kompetenzen aufweist. Ein*e kompetente*r Trainer*in hat die Fähigkeit die Theorie durch Interaktionen lebendig werden zu lassen, eine sichere und vertrauensvolle Lernumgebung sicherzustellen, in der Trainierende keine Angst vor eigenen Fehlern haben, sowie Authentizität in einer künstlichen Situation zu etablieren. Das Trainer*innenteam sollte außerdem in der Lage sein, Simulationsequipment vollständig

zu nutzen und sollte die Techniken des Debriefings beherrschen, sodass der Lernerfolg der Teilnehmenden maximiert werden kann. (120)

4.4 Outcome

Wie im vorangehenden Teil dieser Arbeit schon mehrfach betont stellt das SBT eine effektive Methode dar, um technische, kognitive und behaviorale Fähigkeiten zu trainieren. Es existieren unterschiedliche Möglichkeiten, um das Outcome eines SBT zu evaluieren. 1990 stellte der Psychologe George Miller eine Möglichkeit vor, klinische Kompetenz zu messen (siehe Abbildung 7). (121)

Die niedrigste Stufe der Pyramide stellt deskriptives Wissen (*Knows*) dar, was beispielsweise durch Multiple-Choice-Fragen oder mündliche Prüfungen abgefragt werden kann. Die zweite Stufe repräsentiert das prozedurale Wissen (*Knows how*), welches im Rahmen von situationsbezogenen Prüfungen und Fallbeispielen evaluiert werden kann. Geht man eine Stufe höher, befindet man sich auf der Ebene, auf der die Demonstration und Überprüfung des Gelernten (*Shows how*), beispielsweise im Rahmen einer objektiven strukturellen klinischen Evaluierung oder durch ein SBT, erfolgt. Die letzte Stufe repräsentiert die Leistung in der Praxis (*Does*) und kann im Zuge der direkten Observation durch eine*n Prüfer*in oder auch durch das Filmen von realen Situationen (122) evaluiert werden. Die letzte Stufe stellt das höchste Maß der klinischen Kompetenz dar, dessen Erreichen das ultimative Ziel des SBT darstellt. (123)

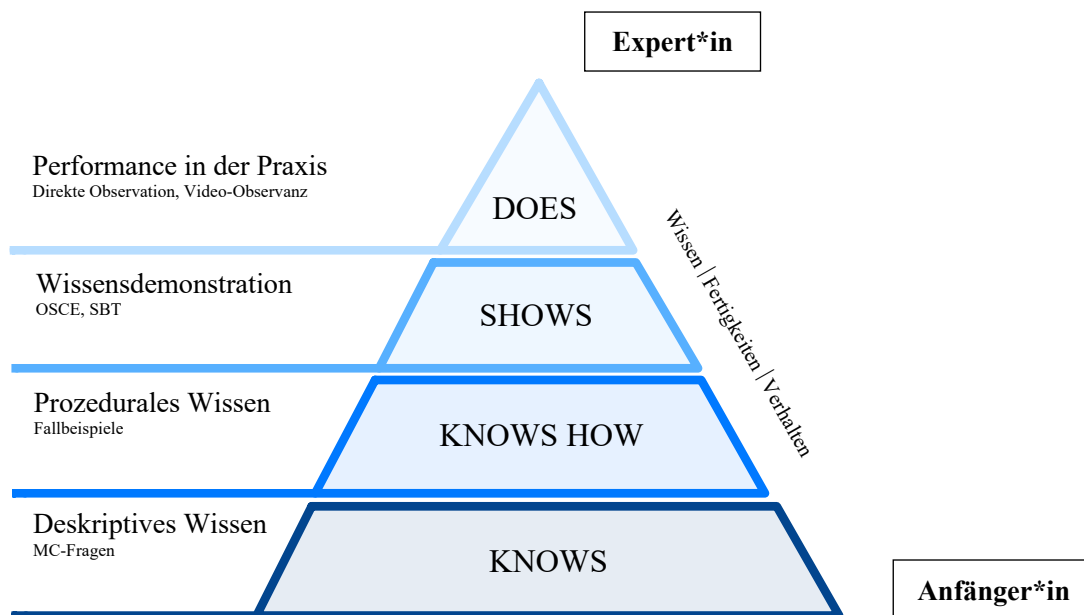


Abbildung 7: Die Pyramide der klinischen Kompetenz (adaptiert nach Miller (121))

MC-Fragen: Multiple-Choice-Fragen, OSCE: objective structured clinical examination

Im neonatalen Reanimationstraining werden häufig technische und behaviorale Checklisten sowie Leistungsskalen zur Überprüfung des Lernerfolgs verwendet. (92) Im Rahmen der Beurteilung der Selbstwirksamkeit kann zudem überprüft werden, wie selbstsicher die Lernenden in der Ausübung ihrer neu erlernten Fertigkeiten sind. (83)

Der Grundgedanke bei der Konzepterstellung eines Curriculums zur Verbesserung des Managements neonataler Notfälle ist in letzter Instanz das neonatale Outcome zu verbessern (z.B.: verbesserter Apgar-Score, weniger neurologische Folgeschäden). Die Verknüpfung einer wissensvermittelnden Intervention mit dem Patient*innenoutcome wird als der „heilige Gral“ der medizinischen Aus- und Weiterbildung angesehen. (95) Die Verbesserung des Patient*innenoutcome im Sinne einer Mortalitätssenkung ist in der industrialisierten Welt jedoch schwierig zu erreichen und kann daher realistischerweise fast nur in low-resource-Settings als Parameter verwendet werden, da hier eine Senkung der bedauerlich hohen neonatalen Mortalität im Rahmen von SBT einfacher nachzuweisen ist. (124, 125)

Dennoch ist die direkte Verknüpfung von SBT mit verbesserter Mortalität schwierig aufzuzeigen. (63) Dies ist auch der Grund warum die Mehrheit der Studien den Erfolg ihrer Intervention an anderen, nicht-technischen bzw. medizinischen Parametern, wie beispielsweise der Selbstsicherheit der Teilnehmenden oder an technischer Kompetenz im simulierten Umfeld messen. Die objektive Evaluierung und auch die Transferierbarkeit solcher Parameter gestaltet sich jedoch schwierig, weshalb die Relevanz dieser Studien als eher gering einzustufen ist. Es ist außerdem nicht möglich, von der Selbstsicherheit und Selbstwirksamkeit der Lernenden Rückschlüsse auf die Kompetenz derselben zu ziehen. Katowa-Mukwato et al. (126) belegten in ihrer Studie, dass die selbst wahrgenommene Kompetenz und die objektiv gemessene Kompetenz bei der Durchführung von klinischen Maßnahmen durch Medizinstudierende im letzten Studienjahr sogar negativ miteinander korrelierten. Laut den Autor*innen liegt die Ursache darin, dass die Studierenden befürchteten, von anderen Teilnehmenden als weniger kompetent angesehen zu werden und dadurch weniger Vertrauen in ihre Fähigkeiten zu erhalten. (126) Dieses Phänomen der Selbstüberschätzung ist auch im SBT bekannt und führt, wie unter 4.2 erläutert, im schlimmsten Fall sogar zur Verschlechterung des Patient*innenoutcome. (101, 102) Aus diesem Grund ist der Schluss von Selbstsicherheit auf die tatsächliche Kompetenz der Trainierenden unzulässig.

Laut Kirkpatrick (127) kann das Lernoutcome im Rahmen von SBT in vier Level untergliedert werden (siehe Abbildung 8).

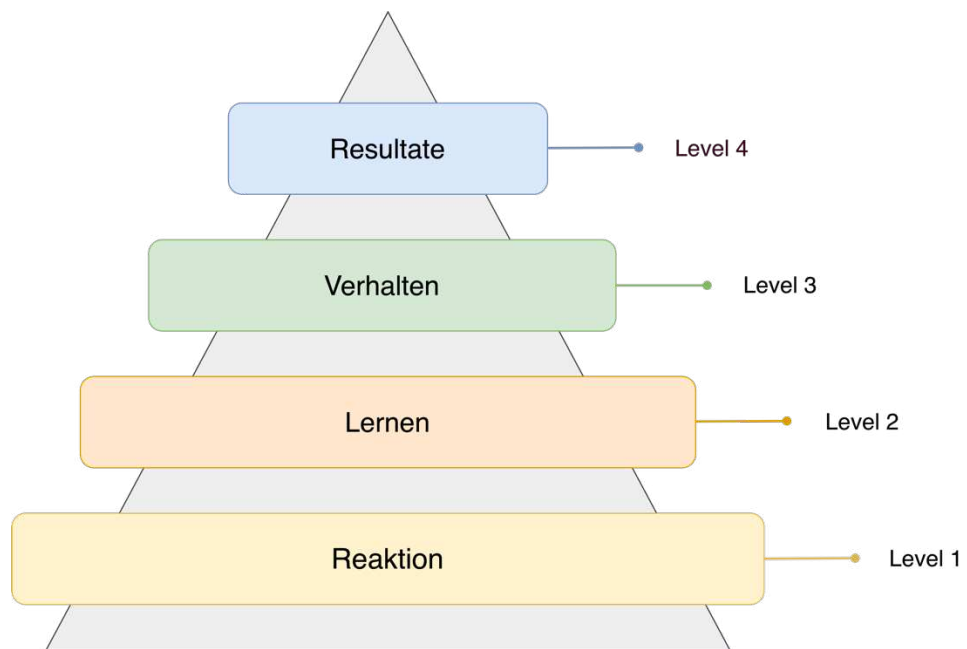


Abbildung 8: Die vier Level der Evaluation (adaptiert nach Kirkpatrick (127))

Level 1 repräsentiert die *Reaktion* des medizinischen Personals, das heißt, wie diese über das durchgeführte SBT denken. Das Level 2 dreht sich um das *Lernen* der Teilnehmenden, beispielsweise durch eine Verbesserung des Wissens und der Fähigkeiten. Eine Stufe darüber findet sich das Level 3 – das *Verhalten*. Hierbei geht es darum, das Verhalten auch in realen Situationen so weit zu verändern, dass man von einer Transferierung des Gelernten aus einer in-vitro-Situation (z.B. Notfall-SBT) in eine in-vivo-Situation (z.B. tatsächlicher Notfall auf der Station) sprechen kann. Das Level 4 repräsentiert die *Resultate*, welche aus den geänderten Verhaltensweisen des Gesundheitspersonals folgen, wie beispielsweise eine Senkung der Neugeborenensterblichkeit. (128)

Da, wie schon erläutert, das Erreichen des Level 4 im high-resource-Setting schwierig nachzuweisen ist, ist der Parameter, welcher im Zuge der Outcomemessung in der industrialisierten Welt von größtem Interesse ist, die sogenannte Translation. Das SBT gilt dabei dann als effektiv, wenn die Teilnehmenden fähig sind, das, was sie in der geschützten Umgebung der Simulation gelernt haben, auch am Patient*innenbett anzuwenden. Dieses dritte Level des Kirkpatrick-Modells, welches das *Verhalten* verändert, ist in der angloamerikanischen Literatur auch unter dem Begriff „transfer of learning“ bekannt. (129) In der translationalen Medizin wurde daher der Begriff „from bench to bedside“ geprägt, welcher eben jenen Prozess beschreibt, die Erkenntnis einer wissenschaftlichen Intervention aus dem Labor (*bench*) in die klinische Anwendung (*bedside*) zu überführen. (130)

Im Gegensatz zum allgemeinen Glauben ist die Transferierung des Gelernten von der Theorie in die Praxis keinesfalls trivial, sondern ein komplexer und dynamischer Prozess, welcher durch verschiedene Faktoren beeinflusst wird. Diese Faktoren können in drei Kategorien klassifiziert werden: Die Charakteristika des Lernenden, das Design des Trainings und die Arbeitsumgebung. (131)

Nun stellt sich die Frage, wie man ein „translational outcome“ misst. Das Filmen von Teams in realen Notfallsituationen scheint eine Lösung zu sein. Brogaard et al. (122) untersuchten im Rahmen ihrer Studie, inwieweit das Niveau nicht-technischer Fähigkeiten mit dem Grad der Einhaltung der entsprechenden Leitlinie des European Resuscitation Council zur Neugeborenenreanimation assoziiert war. Dazu wurden 43 Videos, welche Teams in realen Erstversorgungssituationen zeigten, von vier neonatologischen Expert*innen analysiert. Zwei Expert*innen beurteilten die nicht-technischen Fähigkeiten mithilfe der Global Assessment of Team Performance-Checkliste, die anderen beide analysierten die klinische Leistung in Hinblick auf die Einhaltung der Leitlinien. Die Expert*innen beurteilten die Videos verblindet und unabhängig voneinander. Für die Videoaufzeichnungen wurde jeder der 17 Gebärsäle mit zwei bis drei hochauflösenden Überwachungskameras und einem Mikrophon an der Decke ausgestattet. Dadurch konnten der gesamte Raum und zusätzlich der Reanimationstisch überwacht werden. Die Gebärenden wurden im Vorfeld über das Projekt aufgeklärt. Im Falle einer Ablehnung wurden die Kameras deaktiviert. Alle im Raum Anwesenden, also die gebärende Frau, der Kindsvater bzw. andere Personen, welche auf Wunsch der Gebärenden präsent waren, sowie das behandelnde medizinische Personal mussten innerhalb von 48 Stunden nach der Geburt ihr Einverständnis zur Videoanalyse geben. Fehlte die Zustimmung einer Person, wurde das Bildmaterial automatisch gelöscht. Die Ergebnisse der Studie belegen, dass Teams mit exzellenten nicht-technischen Fähigkeiten eine fünffach bessere Chance einer sehr guten klinischen Leistung vorwiesen. Damit zeigten Brogaard et al. (122) eine hervorragende Möglichkeit, ein translationales Outcome möglichst objektiv zu messen. Der finanzielle und logistische Aufwand, welcher mit aufwendigen AV-Überwachungssystemen wie diesen einhergeht, ist jedoch nicht von der Hand zu weisen.

Eine Alternative dazu bieten, wie im Abschnitt 4.2 erläutert, beispielsweise Gadgets, welche Eye-Tracking-Software verwenden. Leone et al. (132) erwähnt zusätzlich dazu die Verwendung von Brillen mit integrierten Kamerasystemen, wie beispielsweise die Google Glass (Google Limited Liability Company, Kalifornien). Drummond et al. (133) evaluierten diese Brille als Methode zur Bereitstellung einer Echtzeitassistenz während des simulierten Herz-

kreislaufstillstands von pädiatrischen Patient*innen. Unerfahrene Assistenzärzt*innen konnten über die Google Glass mit einer kompetenten und erfahrenen Person des ärztlichen Fachpersonals kommunizieren und deren Anweisungen befolgen, währenddessen diese jeden Schritt in Echtzeit verfolgen konnte. Die Autor*innen kamen zum Schluss, dass die Versorgung unter Verwendung der Brille zu jedem Zeitpunkt gewährleistet werden konnte und sogar häufiger Hilfe angefordert wurde, wenn die Brille getragen wurde. (133) Dieses Beispiel verdeutlicht die Umsetzbarkeit der Anwendung von Gadgets wie diesen sowohl im SBT als auch beim Filmen von realen Notfallsituationen und stellt somit eine interessante Perspektive für die Outcomemessung des SBT dar.

4.5 Limitationen

Eine Limitation der vorliegenden Arbeit besteht darin, dass sich die Suchergebnisse ausschließlich auf englisch- und deutschsprachige Literatur beschränken. Die Durchführung der Suche erfolgte zudem in drei Datenbanken, wobei keine Kongressbeiträge berücksichtigt wurden. Da kein MeSH-Term für in situ-Simulation existiert, wurde nach „in situ“ gesucht, was die Suche einerseits sehr viel komplexer gestaltete, andererseits jedoch aufgrund der heterogenen Verwendung der Terminologie in der einschlägigen Fachliteratur dazu geführt haben könnte, dass Artikel übersehen wurden. Des Weiteren wurden Artikel aus dem low-resource- und non-NICU-Setting von der Analyse ausgeschlossen.

Es konnten lediglich drei randomisierte, kontrollierte Studien (57, 79, 80) identifiziert werden, wobei die methodische und wissenschaftliche Qualität der übrigen eingeschlossenen Artikel als gering einzustufen ist. Diese Einschränkungen ergeben sich aus dem verwendeten Studiendesign (Fragenbogenstudien, deskriptive Berichte, quasi-experimentelle Studien), da die Mehrheit der Publikationen Erfahrungen beschreibt, ohne dabei eine fundierte Evaluierung des Programms vorzunehmen. Zudem weisen alle identifizierten Studien eine niedrige Fallzahl auf, da die Durchführung mit einem hohen logistischen und personellen Aufwand verbunden ist, wofür innerklinisch meist Ressourcen fehlen. Die geringen Fallzahlen bedingen wiederum die Schwierigkeit einen definierten Outcomeparameter zu finden, woran der Erfolg des Trainings gemessen werden könnte. Studien mit empirischen Ergebnissen beschreiben eine Vielzahl von individuellen, Team- und systemrelevanten Outcomeparametern, welche die Berechnung der Effektstärke unmöglich machen.

Ein weiterer limitierender Faktor stellt der mögliche Publikations-Bias dar, da keine Studien mit negativen Resultaten gefunden wurden. Dies könnte unter anderem darin begründet sein, dass die Suchstrategie zu eng war, nur wenige Studien patient*innenbezogene Faktoren wie

Mortalität als Outcomeparameter wählen oder darin, dass Negativergebnisse prinzipiell seltener publiziert werden. (134)

4.6 Konzepterstellung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die ausgewählten Studien in den Punkten Inhalt, Logistik, Personal und Outcome deskriptiv miteinander zu vergleichen, sodass diese als Grundlage zur Konzepterstellung für ein in-situ-Simulationstrainingsprogramm für die neonatologischen Intensivstationen der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendheilkunde Graz dienen können. Im Folgenden wird ein potenzielles Konzept vorgestellt.

Inhalt

Das in situ-SBT hat den Anspruch, nicht nur die insgesamt seltene Reanimation von Neugeborenen zu trainieren, sondern vielmehr die Belegschaft auf das Management von komplexen Notfallsituationen wie akzidentelle Extubation, Pneumothorax, Sepsis, NEK oder eine intrakranielle Hämorrhagie vorzubereiten. Da die Klinische Abteilung für Neonatologie der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendheilkunde Graz ein ECMO-Zentrum darstellt, erscheint es auch sinnvoll solche Extrakorporalverfahren, welche nicht nur technisch höchst anspruchsvoll sind, sondern auch gut koordinierte interprofessionelle Teamarbeit im großen Maßstab erfordern, in das in situ-SBT zu integrieren.

Am Beispiel der ECMO wird deutlich, warum es von entscheidender Bedeutung ist nicht nur häufig auftretende Notfallsituationen regelmäßig zu trainieren, sondern auch solche, die zwar selten vorkommen, aber aufgrund ihrer Komplexität besondere Aufmerksamkeit erfordern. Eine effektive Trainingsstrategie könnte darin bestehen 70% der Trainingsszenarien auf häufige Notfälle und 30% auf seltene, komplexe Notfallsituationen auszurichten. Alternativ dazu könnte man zusätzlich zum regulären Training spezielle Schwerpunktt Trainingseinheiten wie zum Beispiel ein ECMO-Training anbieten, das neben besonderen technischen und materiellen Vorbereitungen ein ausführlicheres Briefing erfordert und aufgrund dessen den zeitlichen Rahmen eines regulären Trainings sprengen würde.

Neben dem Erwerben von technischen Fähigkeiten sollte das Training von nicht-technischen Fähigkeiten, wie beispielsweise Closed-loop Kommunikation, aktives Zuhören, Teamarbeit oder klare Führung ein expliziter Bestandteil des Trainings sein, da der „Faktor Mensch“ in über 70% für Zwischenfälle verantwortlich ist. (60)

Logistik

An der neonatologischen Intensivstation (Neonatologie II) der Klinischen Abteilung für Neonatologie an der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendheilkunde Graz sind derzeit circa 80 Personen, davon zehn Ärzt*innen und 70 Pflegepersonen, tätig. Unter der Annahme einer Trainingsfrequenz von zwei Einheiten pro Jahr und Person und einer maximalen Gruppengröße von sechs Personen würde daraus für diese Station ein zweiwöchiges Trainingsintervall resultieren. Das heißt, man müsste zumindest 27 Trainingseinheiten, mit einer Trainingsdauer von zumindest zwei Stunden, abhalten, um das gesamte Personal dieser Intensivstation zwei Mal pro Jahr trainieren zu können. Diese Zahlen berücksichtigen noch nicht die Mitarbeiter*innen der Intensivstation von Neonatologie I.

Für die Räumlichkeiten des in situ-SBT wäre es erstrebenswert ein Familien- bzw. Patient*innenzimmer dauerhaft als Simulationsraum zu nutzen. Dadurch könnte man nicht nur der Verwechslung von Simulationsequipment mit tatsächlichem medizinischem Material vorbeugen, sondern auch beispielsweise AV-Anlagen und Softwaresysteme, die mit dem verwendeten klinischen Patient*inneninformationssystem kompatibel sind, lokal vorhalten und nutzen, was wiederum auch den Vor- und Nachbereitungsaufwand gering halten würde. Auch die Verwendung von Eye-Tracking-Software und -Brillen mit integrierten Kamerasystemen stellen für die neonatologische Intensivstation in Graz besonders hinsichtlich der Überprüfung der Lernziele und der Outcomemessung im Sinne einer Objektivierung des „transfer of learning“ interessante Gesichtspunkte dar.

Personal

Derzeit besteht das Simulationsteam der Klinischen Abteilung für Neonatologie Graz (PaSiGG: Paediatric Simulation Group Graz) ausschließlich aus Fachärzt*innen für Kinder- und Jugendheilkunde, was der Idealvorstellung eines in situ-SBT, welches den Anspruch hat interdisziplinär und interprofessionell zu sein, widerspricht. Wichtig wären daher alle Berufsgruppen, welche an der Abteilung tätig sind, und hier insbesondere die Pflege aktiv in die Planung und Durchführung der Trainings zu integrieren. Man könnte außerdem noch einen Schritt weiter gehen und andere Fachabteilungen, welche im klinischen Alltag Berührungspunkte mit der Neonatologie aufweisen, ebenfalls in das Simulationsteam einbinden. Hierfür würde sich sowohl die Geburtshilfe mit den zuständigen Gynäkolog*innen und Hebammen, die Kinder- und Jugendchirurgie und die Kinderanästhesie im perinatalen Setting anbieten. Ziel sollte daher sein, Gruppen von 5-6 Teilnehmenden aus unterschiedlichen Fachrichtun-

gen und Professionen zu generieren, die entsprechend ihrer tatsächlichen Rolle für den Ernstfall durch ein gleichermaßen interprofessionell und interdisziplinär aufgestelltes Trainer*innenteam trainiert werden.

Die Abteilung verfügt des Weiteren über drei Trainer*innen, welche ihre Qualifikation durch zertifizierte „Train-the-Trainer“-Kurse erworben haben. Unter der Annahme, dass jedes Training zumindest durch zwei Trainer*innen geleitet wird und von einem zweiwöchigen Trainingsintervall ausgegangen wird, müsste jede*r Trainer*in zumindest 18 Trainingseinheiten leiten, um zu gewährleisten, dass das gesamte Personal von Neonatologie II zumindest zwei Mal pro Jahr trainiert wird.

Essenziell für den Erfolg des in situ-SBT ist die Gewährleistung, dass das Training ohne Unterbrechung durch den klinischen Alltag stattfinden kann. Dafür ist es notwendig, Teilnehmer*innen und Trainer*innen für die Zeit des Trainings von ihren klinischen Verpflichtungen freizustellen. Dies kann durch doppelte Besetzung bzw. durch Überlappen von Schichten oder wie im Fall der Trainer*innen durch eine gesicherte Freistellung für Lehre oder Forschung erfolgen. Unter Berücksichtigung des regulären Urlaubsanspruchs, der Doppelbesetzung der Trainer*innen und der Freistellung der Trainer*innen und Teilnehmenden wird der Bedarf an zusätzlichem Personal, besonders seitens der Trainer*innen, für ein solches Trainingsprogramm deutlich.

Outcome

Den wohl größten Kritikpunkt, welcher beim systematischen Vergleich der existierenden Literatur aufkam, stellt die Wahl der Outcomeparameter dar. Das in situ-SBT der Klinischen Abteilung für Neonatologie Graz sollte daher den Anspruch einer wissenschaftlichen Begleitung des Trainings an sich selbst stellen.

Die Mehrheit der hier zusammengefassten existierenden Studien maß ihre Ergebnisse anhand von subjektiven Parametern, wie beispielsweise der Selbstsicherheit, dem subjektiven Wissensgewinn oder den selbstwahrgenommenen Führungsqualitäten der Teilnehmenden. Ziel des hier skizzierten in situ-SBT-Programms wäre ein direkter „transfer of learning“ und dessen Objektivierung anhand von geeigneten, relevanten klinischen Outcomeparametern. Dies könnte durch die direkte Beobachtung und Beurteilung tatsächlicher klinischer Leistung im Rahmen des Managements neonatologischer Notfälle erfolgen; auch könnte das Tragen von Brillen mit integrierten Kamera- und Audiosystemen oder die Verwendung von Eye-Tracking-Software während tatsächlicher Notfallsituationen helfen die Teamleistung nach der Absolvierung von in situ-Trainingseinheiten zu evaluieren.

Im Idealfall kann das „translational outcome“ des in situ-Trainingsprogramms durch eine Senkung der Mortalität bzw. Verbesserung des neurologischen Outcome der in Graz betreuten Früh- und Neugeborenen, zum Beispiel nach Herzkreislaufstillstand im stationären Bereich, aufgezeigt werden. Eine Möglichkeit zur Umsetzung dieser wissenschaftlichen Erhebung besteht darin, vor und nach der Etablierung eines regelmäßigen Trainingsprogramms standardisierte Follow-up-Untersuchungen bei Überlebenden nach einem Herzkreislaufstillstand durchzuführen und diese Daten anschließend miteinander zu vergleichen. Bei einer zu erwartenden geringen Fallzahl müsste eine solche Untersuchung jedoch einen Zeitraum von mehreren Jahren umfassen, um potentiell einen Unterschied aufzeigen zu können.

4.7 Conclusio

Abschließend lässt sich sagen, dass das in situ-Simulationstraining eine effektive Methode darstellt, HALO-Events realitätsnahe zu trainieren. Besonders hervorzuheben sei an dieser Stelle die Wichtigkeit der Regelmäßigkeit des Trainings, die ausreichende Dauer des Debriefings sowie die Durchführung durch speziell geschulte Trainer*innen. Zur Durchführung eines effektiven Simulationstrainings sind weder kostspielige Anschaffungen wie AV-Anlagen oder Simulatoren im fünfstelligen Preissegment noch große Areale freistehender Fläche notwendig, wodurch die Zugänglichkeitsschwelle gesenkt wird und SBT auch kleinen Spitälern und einzelnen Abteilungen möglich wird.

Ungeachtet der Relevanz der Thematik verdeutlicht die von uns erwartete, geringe Trefferzahl der systematischen Literaturrecherche den Bedarf für weitere, hochqualitative Forschung im Bereich des neonatologischen in situ-Simulationstrainings. Aufgrund der niedrigen Evidenzlevel der existierenden Studien besteht außerdem die Notwendigkeit für ein Umdenken hinsichtlich der untersuchten Parameter und der Methodik der Outcomemessung. Nur so ist es möglich, eine kontinuierliche Weiterentwicklung der Trainingscurricula und eine stetige Leistungsverbesserung des trainierten medizinischen Personals und in letzter Instanz eine verbesserte Versorgung und ein besseres Outcome der kleinen Patient*innen zu gewährleisten.

Literaturverzeichnis

1. Gortner L, Meyer S. Duale Reihe Pädiatrie. 5th ed. Stuttgart: Thieme; 2018.
2. Genzel-Boroviczény O, Nußbaum C, Pozza SBD, Benz M, Bidlingmaier C. Checkliste Neonatologie. 7th ed. Stuttgart: Thieme; 2021.
3. Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K. Checkliste Pädiatrie. 5th ed. Stuttgart: Thieme; 2015.
4. Speer CP, Gahr M, Dötsch J. Pädiatrie. 5th ed. Heidelberg: Springer; 2018.
5. Schuler R, Bedei I, Oehmke F, Zimmer KP, Ehrhardt H. Neonatal Outcome and Treatment Perspectives of Preterm Infants at the Border of Viability. *Children (Basel)*. 2022;9(3).
6. Rath W, Gembruch U, Schmidt S. Geburtshilfe und Perinatalmedizin. 2nd ed. Stuttgart: Thieme; 2010.
7. Reynolds P, Bustani P, Darby C, Fernandez Alvarez JR, Fox G, Jones S, et al. Less-Invasive Surfactant Administration for Neonatal Respiratory Distress Syndrome: A Consensus Guideline. *Neonatology*. 2021;118(5):586-92.
8. Aichhorn L, Küng E, Habrina L, Werther T, Berger A, Urlesberger B, et al. The Role of Lung Ultrasound in the Management of the Critically Ill Neonate-A Narrative Review and Practical Guide. *Children (Basel)*. 2021;8(8).
9. AWMF. S2k-Leitlinie Surfactanttherapie des Atemnotsyndroms Frühgeborener (RDS): Gesellschaft für Neonatologie und pädiatrische Intensivmedizin e.V. (GNPI); 2017 [updated 01/17. Available from: https://register.awmf.org/assets/guidelines/024-0211_S2k_Surfactanttherapie_2017-04_01-abgelaufen.pdf.
10. Gupta S, Donn SM. Continuous Positive Airway Pressure: To Bubble or Not to Bubble? *Clin Perinatol*. 2016;43(4):647-59.
11. Fedor KL. Noninvasive Respiratory Support in Infants and Children. *Respir Care*. 2017;62(6):699-717.
12. Kaniewska U, Gulczyńska E. The influence of the technique of surfactant administration (LISA vs INSURE) on the outcomes of respiratory distress syndrome treatment in preterm infants. *Dev Period Med*. 2019;23(3):163-71.
13. Queliz T, Perez JA, Corrigan MJ. A comparison of LISA versus InSurE: A single center experience. *J Neonatal Perinatal Med*. 2021;14(4):503-9.

14. Pareek P, Deshpande S, Suryawanshi P, Sah LK, Chetan C, Maheshwari R, et al. Less Invasive Surfactant Administration (LISA) vs. Intubation Surfactant Extubation (InSurE) in Preterm Infants with Respiratory Distress Syndrome: A Pilot Randomized Controlled Trial. *J Trop Pediatr.* 2021;67(4).
15. AWMF. S2k-Leitlinie zu Prävention und Therapie der Frühgeburt: Deutsche Gesellschaft für Gynäkologie und Geburtshilfe e.V. (DGGG); 2022 [updated 2022/12/01. Available from: https://register.awmf.org/assets/guidelines/015-0251_S2k_Praevension-Therapie-Fruehgeburt_2022-09.pdf.
16. Roberts D, Brown J, Medley N, Dalziel SR. Antenatal corticosteroids for accelerating fetal lung maturation for women at risk of preterm birth. *Cochrane Database Syst Rev.* 2017;3(3):Cd004454.
17. Carlo WA, McDonald SA, Fanaroff AA, Vohr BR, Stoll BJ, Ehrenkranz RA, et al. Association of antenatal corticosteroids with mortality and neurodevelopmental outcomes among infants born at 22 to 25 weeks' gestation. *JAMA.* 2011;306(21):2348-58.
18. AWMF. S2k-Leitlinie Therapie idiopathischer Apnoen, Bradykardien und Hypoxämien bei Früh- und Reifgeborenen: Gesellschaft für Neonatologie und pädiatrische Intensivmedizin e.V. (GNPI); 2020 [updated 02.02.2020. Available from: https://register.awmf.org/assets/guidelines/024-0131_S2k_Idiopathische_Apnoen_Bradykardien_Hypoxaemien_Fruehgeborene_2020-06.pdf.
19. Schmidt B, Roberts RS, Davis P, Doyle LW, Barrington KJ, Ohlsson A, et al. Long-term effects of caffeine therapy for apnea of prematurity. *N Engl J Med.* 2007;357(19):1893-902.
20. Aranda JV, Turmen T, Davis J, Trippenbach T, Grondin D, Zinman R, et al. Effect of caffeine on control of breathing in infantile apnea. *J Pediatr.* 1983;103(6):975-8.
21. Supinski GS, Deal EC, Jr., Kelsen SG. The effects of caffeine and theophylline on diaphragm contractility. *Am Rev Respir Dis.* 1984;130(3):429-33.
22. Dix LML, van Bel F, Baerts W, Lemmers PMA. Effects of caffeine on the preterm brain: An observational study. *Early Hum Dev.* 2018;120:17-20.
23. Victor S, Roberts SA, Mitchell S, Aziz H, Lavender T. Biphasic Positive Airway Pressure or Continuous Positive Airway Pressure: A Randomized Trial. *Pediatrics.* 2016;138(2).
24. Victor S. EXTUBATE: a randomised controlled trial of nasal biphasic positive airway pressure vs. nasal continuous positive airway pressure following extubation in infants less than 30 weeks' gestation: study protocol for a randomised controlled trial. *Trials.* 2011;12:257.

25. Higgins RD, Jobe AH, Koso-Thomas M, Bancalari E, Viscardi RM, Hartert TV, et al. Bronchopulmonary Dysplasia: Executive Summary of a Workshop. *J Pediatr.* 2018;197:300-8.
26. Cristea AI, Ren CL, Amin R, Eldredge LC, Levin JC, Majmudar PP, et al. Outpatient Respiratory Management of Infants, Children, and Adolescents with Post-Prematurity Respiratory Disease: An Official American Thoracic Society Clinical Practice Guideline. *Am J Respir Crit Care Med.* 2021;204(12):e115-33.
27. Gilfillan M, Bhandari A, Bhandari V. Diagnosis and management of bronchopulmonary dysplasia. *BMJ.* 2021;375:n1974.
28. Singer M, Deutschman CS, Seymour CW, Shankar-Hari M, Annane D, Bauer M, et al. The Third International Consensus Definitions for Sepsis and Septic Shock (Sepsis-3). *JAMA.* 2016;315(8):801-10.
29. AWMF. S2k-Leitlinie Bakterielle Infektionen bei Neugeborenen: Gesellschaft für Neonatologie und pädiatrische Intensivmedizin e.V. (GNPI); 2018 [Available from: https://register.awmf.org/assets/guidelines/024-0081_S2k_Bakterielle_Infektionen_Neugeborene_2021-03-abgelaufne.pdf].
30. Eichberger J, Resch E, Resch B. Diagnosis of Neonatal Sepsis: The Role of Inflammatory Markers. *Front Pediatr.* 2022;10:840288.
31. Zaoutis T, Walsh TJ. Antifungal therapy for neonatal candidiasis. *Curr Opin Infect Dis.* 2007;20(6):592-7.
32. Rowen JL, Tate JM. Management of neonatal candidiasis. Neonatal Candidiasis Study Group. *Pediatr Infect Dis J.* 1998;17(11):1007-11.
33. Ferreras-Antolín L, Sharland M, Warris A. Management of Invasive Fungal Disease in Neonates and Children. *Pediatr Infect Dis J.* 2019;38(6S Suppl 1):S2-6.
34. Egesa WI, Odoch S, Odong RJ, Nakalema G, Asiimwe D, Ekuk E, et al. Germinal Matrix-Intraventricular Hemorrhage: A Tale of Preterm Infants. *Int J Pediatr.* 2021.
35. Siffel C, Kistler KD, Sarda SP. Global incidence of intraventricular hemorrhage among extremely preterm infants: a systematic literature review. *J Perinat Med.* 2021;49(9):1017-26.
36. Papile LA, Burstein J, Burstein R, Koffler H. Incidence and evolution of subependymal and intraventricular hemorrhage: a study of infants with birth weights less than 1,500 gm. *J Pediatr.* 1978;92(4):529-34.
37. AWMF. S2k-Leitlinie Hyperbilirubinämie des Neugeborenen - Diagnostik und Therapie: Gesellschaft für Neonatologie und pädiatrische Intensivmedizin e.V. (GNPI); 2015 [Available from: <https://register.awmf.org/assets/guidelines/024->

[0071_S2k_Hyperbilirubinaemie_Neugeborenen_Diagnostik_Therapie_2015-08-verlaengert.pdf](#).

38. Gingle JG, Butki N. Necrotizing Enterocolitis. StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing LLC; 2023.

39. AWMF. S2k-Leitlinie Nekrotisierende Enterokolitis (NEK): Gesellschaft für Neonatologie und Pädiatrische Intensivmedizin (GNPI); 2018 [Available from: https://register.awmf.org/assets/guidelines/024-0091_S2k_Nekrotisierende_Enterokolitis_2018-02-abgelaufen.pdf].

40. Bell MJ. Neonatal necrotizing enterocolitis. N Engl J Med. 1978;298(5):281-2.

41. Spector JM, Daga S. Preventing those so-called stillbirths. Bull World Health Organ. 2008;86:315-6.

42. American College of Obstetricians and Gynecologists (ACOG) . Neonatal encephalopathy and cerebral palsy: executive summary. Obstet Gynecol. 2004;103(4):780-1.

43. AWMF. S2k-Leitlinie Hypothermiebehandlung asphyktischer Neugeborener: Gesellschaft für Neonatologie und pädiatrische Intensivmedizin e.V. (GNPI); 2013 [Available from: https://register.awmf.org/assets/guidelines/024-0231_S2k_Behandlung_der_neonatalen_Aphyxie_unter_besonderer_Beruecksichtigung_der_therapeutischen_Hypothermie_2013-06-abgelaufen.pdf].

44. Madar J, Roehr CC, Ainsworth S, Ersda H, Morley C, Rüdiger M, et al. Versorgung und Reanimation des Neugeborenen nach der Geburt. Notfall+Rettenungsmedizin. 2021;24(4):603-49.

45. Apgar V. A Proposal for a New Method of Evaluation of the Newborn Infant. Originally published in July 1953, volume 32, pages 250-259. Anesth Analg. 2015;120(5):1056-9.

46. Mileder LP, Schwabegger B, Urlsberger B. "MR SOPA" - A German Adaption of the Acronym to Optimize Non-Invasive Ventilation in Preterm and Term Neonates. Klin Padiatr. 2022;234(4):248-9.

47. Ali N, Lam T, Gray MM, Clausen D, Riley M, Grover TR, et al. Cardiopulmonary resuscitation in quaternary neonatal intensive care units: a multicenter study. Resuscitation. 2021;159:77-84.

48. Phuyal R, Basnet R, Sapkota A, Gautam U, Chikanbanjar VK. Pneumothorax in a Preterm Neonate: A Case Report. JNMA J Nepal Med Assoc. 2021;59(238):608-10.

49. Acun C, Nusairat L, Kadri A, Nusairat A, Yeane N, Abu Shaweesh J, et al. Pneumothorax prevalence and mortality per gestational age in the newborn. *Pediatr Pulmonol.* 2021;56(8):2583-8.
50. Holgersen MG, Jensen TW, Breindahl N, Kjerulff JLB, Breindahl SH, Blomberg SNF, et al. Pediatric out-of-hospital cardiac arrest in Denmark. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2022;30(1):58.
51. Tieder JS, Bonkowsky JL, Etzel RA, Franklin WH, Gremse DA, Herman B, et al. Brief Resolved Unexplained Events (Formerly Apparent Life-Threatening Events) and Evaluation of Lower-Risk Infants. *Pediatrics.* 2016;137(5).
52. AWMF. S2k-Leitlinie Betreuung von Neugeborenen in der Geburtsklinik: Gesellschaft für Neonatologie und pädiatrische Intensivmedizin e.V. (GNPI); 2022 [Available from: https://gnpi.de/wp-content/uploads/2022/03/024-0051_S2k_Betreuung-von-Neugeborenen-in-der-Geburtsklinik_2022-01.pdf].
53. Mishra V, Zaidi S, Axiaq A, Harky A. Sudden cardiac death in children with congenital heart disease: a critical review of the literature. *Cardiol Young.* 2020;30(11):1559-65.
54. Garvey AA, Dempsey EM. Simulation in Neonatal Resuscitation. *Front Pediatr.* 2020;8:59.
55. Halamek LP. The simulated delivery-room environment as the future modality for acquiring and maintaining skills in fetal and neonatal resuscitation. *Semin Fetal Neonatal Med.* 2008;13(6):448-53.
56. Murphy A, Halamek L. Educational Perspectives: Simulation-based Training in Neonatal Resuscitation. *Neoreviews.* 2005;6.
57. Rubio-Gurung S, Putet G, Touzet S, Gauthier-Moulinier H, Jordan I, Beissel A, et al. In situ simulation training for neonatal resuscitation: an RCT. *Pediatrics.* 2014;134(3):e790-7.
58. Thomas EJ, Williams AL, Reichman EF, Lasky RE, Crandell S, Taggart WR. Team training in the neonatal resuscitation program for interns: teamwork and quality of resuscitations. *Pediatrics.* 2010;125(3):539-46.
59. Lee MO, Brown LL, Bender J, Machan JT, Overly FL. A Medical Simulation-based Educational Intervention for Emergency Medicine Residents in Neonatal Resuscitation. *J Acad Emerg Med.* 2012;19(5):577-85.
60. Rall M, Lackner CK. Crisis resource management (CRM). *Notfall+Rechtungsmedizin.* 2010;5(13):349-56.

61. Ajmi SC, Advani R, Fjetland L, Kurz KD, Lindner T, Qvindesland SA, et al. Reducing door-to-needle times in stroke thrombolysis to 13 min through protocol revision and simulation training: a quality improvement project in a Norwegian stroke centre. *BMJ Qual Saf.* 2019;28(11):939-48.
62. Gray A, Chartier LB, Pavenski K, McGowan M, Lebovic G, Petrosoniak A. The clock is ticking: using in situ simulation to improve time to blood administration for bleeding trauma patients. *CJEM.* 2021;23(1):54-62.
63. Lindhard MS, Thim S, Laursen HS, Schram AW, Paltved C, Henriksen TB. Simulation-Based Neonatal Resuscitation Team Training: A Systematic Review. *Pediatrics.* 2021;147(4).
64. Pammi M, Dempsey EM, Ryan CA, Barrington KJ. Newborn Resuscitation Training Programmes Reduce Early Neonatal Mortality. *Neonatology.* 2016;110(3):210-24.
65. Flentje M, Eismann H, Sieg L, Friedrich L, Breuer G. Simulation als Fortbildungsmethode zur Professionalisierung von Teams. *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther.* 2018;53(01):20-33.
66. Eckels M, Zeilinger T, Lee HC, Bergin J, Halamek LP, Yamada N, et al. A Neonatal Intensive Care Unit's Experience with Implementing an In-Situ Simulation and Debriefing Patient Safety Program in the Setting of a Quality Improvement Collaborative. *Children (Basel).* 2020;7(11).
67. Lioce L, Lopreiato J, Downing D, Chang T, Robertson J, Anderson M, et al. Healthcare simulation dictionary - Second Edition. Rockville, MD: Agency for Healthcare Research and Quality. 2020(AHRQ Publication No. 20-0019).
68. Crawford SB, Baily LW, Monks SM. *Comprehensive Healthcare Simulation: Operations, Technology, and Innovative Practice.* Cham, SWITZERLAND: Springer International Publishing AG; 2019.
69. Löllgen RM, Mileder LP, Bibl K, Dörfler C, Paulun A, Rupp J, et al. Empfehlungen des Netzwerks Kindersimulation eV für die Durchführung simulationsbasierter pädiatrischer Teamtrainings 2020 [Available from: <https://www.netzwerk-kindersimulation.org/media/pages/pdf-qualitaetskriterien/3233047602-1616346316/kindersimu-dt-isbn.pdf>].
70. Anderson JM, Aylor ME, Leonard DT. Instructional design dogma: creating planned learning experiences in simulation. *J Crit Care.* 2008;23(4):595-602.
71. Eppich W, Cheng A. Promoting Excellence and Reflective Learning in Simulation (PEARLS): development and rationale for a blended approach to health care simulation debriefing. *Simul Healthc.* 2015;10(2):106-15.

72. Bajaj K, Meguerdichian M, Thoma B, Huang S, Eppich W, Cheng A. The PEARLS Healthcare Debriefing Tool. *Acad Med.* 2018;93(2):336.
73. Rudolph JW, Simon R, Rivard P, Dufresne RL, Raemer DB. Debriefing with good judgment: combining rigorous feedback with genuine inquiry. *Anesthesiol Clin.* 2007;25(2):361-76.
74. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ.* 2021;372:n71.
75. Yousef N, Moreau R, Soghier L. Simulation in neonatal care: towards a change in traditional training? *Eur J Pediatr.* 2022;181(4):1429-36.
76. Bates MJ. The design of browsing and berrypicking techniques for the online search interface. *Online Review.* 1989;13(5):407-24.
77. Sterne JAC, Savović J, Page MJ, Elbers RG, Blencowe NS, Boutron I, et al. RoB 2: a revised tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ.* 2019;366:l4898.
78. O'Quinn H, Mohr L, Tidwell J. Implementation of In Situ High Fidelity Simulation (INHFS) Mock Codes in a Level IV Neonatal Intensive Care Unit (NICU) 2018 [Available from: <https://nacns.org/wp-content/uploads/2018/02/Holly-OQuinn-2.pdf>].
79. Haynes J, Rettedal S, Perlman J, Ersdal H. A Randomised Controlled Study of Low-Dose High-Frequency In-Situ Simulation Training to Improve Newborn Resuscitation. *Children (Basel).* 2021;8(12).
80. Kamath-Rayne BD, Tabangin ME, Taylor RG, Geis GL. Retention of Basic Neonatal Resuscitation Skills and Bag-Mask Ventilation in Pediatric Residents Using Just-in-Place Simulation of Varying Frequency and Intensity: A Pilot Randomized Controlled Study. *Hosp Pediatr.* 2019;9(9):681-9.
81. Byrne BJ, Manhas D. Neonatal outreach simulation. *Semin Perinatol.* 2016;40(7):480-8.
82. Miller KK, Riley W, Davis S, Hansen HE. In situ simulation: a method of experiential learning to promote safety and team behavior. *J Perinat Neonatal Nurs.* 2008;22(2):105-13.
83. Maenhout G, Billiet V, Sijmons M, Beeckman D. The effect of repeated high-fidelity in situ simulation-based training on self-efficacy, self-perceived leadership qualities and team performance: A quasi-experimental study in a NICU-setting. *Nurse Educ Today.* 2021;100:104849.

84. Sawyer T, Burke C, McMullan DM, Chan T, Valdivia H, Yalon L, et al. Impacts of a Pediatric Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation (ECPR) Simulation Training Program. *Acad Pediatr*. 2019;19(5):566-71.
85. Reed DJW, Hermelin RL, Kennedy CS, Sharma J. Interdisciplinary onsite team-based simulation training in the neonatal intensive care unit: a pilot report. *J Perinatol*. 2017;37(4):461-4.
86. Bhatia M, Stewart AE, Wallace A, Kumar A, Malhotra A. Evaluation of an In-Situ Neonatal Resuscitation Simulation Program Using the New World Kirkpatrick Model. *Clin Simul Nurs*. 2021;50:27-37.
87. Wetzel EA, Lang TR, Pendergrass TL, Taylor RG, Geis GL. Identification of latent safety threats using high-fidelity simulation-based training with multidisciplinary neonatology teams. *Jt Comm J Qual Patient Saf*. 2013;39(6):268-73.
88. Salih ZNI, Draucker CB. Facilitators of and barriers to successful teamwork during resuscitations in a neonatal intensive care unit. *J Perinatol*. 2019;39(7):974-82.
89. Sharma A. From evidence to implementation: Introducing neonatal simulation to a tertiary neonatal centre in the UK. *Open J Pediatr*. 2013;3:10-6.
90. Surcouf JW, Chauvin SW, Ferry J, Yang T, Barkemeyer B. Enhancing residents' neonatal resuscitation competency through unannounced simulation-based training. *Med Educ Online*. 2013;18:1-7.
91. Rivera EK, Siple LM, Wicks EJ, Johnson HS, Skov CM. In Situ Neonatal Mock Codes: Assessing the Impact. *Neonatal Netw*. 2020;39(1):29-34.
92. Barry JS, Gibbs MD, Rosenberg AA. A delivery room-focused education and deliberate practice can improve pediatric resident resuscitation training. *J Perinatol*. 2012;32(12):920-6.
93. Braun D, Braun E, Chiu V, Burgos AE, Gupta M, Volodarskiy M, et al. Trends in Neonatal Intensive Care Unit Utilization in a Large Integrated Health Care System. *JAMA Netw Open*. 2020;3(6):e205239.
94. Bell EF, Hintz SR, Hansen NI, Bann CM, Wyckoff MH, DeMauro SB, et al. Mortality, In-Hospital Morbidity, Care Practices, and 2-Year Outcomes for Extremely Preterm Infants in the US, 2013-2018. *JAMA*. 2022;327(3):248-63.
95. INACSL Standards of Best Practice: SimulationSM Simulation Design. *Clin Simul Nurs*. 2016;12:S5-S12.
96. Palaganas JC, Fey M, Simon R. Structured Debriefing in Simulation-Based Education. *AACN Adv Crit Care*. 2016;27(1):78-85.

97. Cheng A, Grant V, Dieckmann P, Arora S, Robinson T, Eppich W. Faculty Development for Simulation Programs: Five Issues for the Future of Debriefing Training. *Simul Healthc*. 2015;10(4):217-22.
98. Finan E, Bismilla Z, Whyte HE, Leblanc V, McNamara PJ. High-fidelity simulator technology may not be superior to traditional low-fidelity equipment for neonatal resuscitation training. *J Perinatol*. 2012;32(4):287-92.
99. Nimbalkar A, Patel D, Kungwani A, Phatak A, Vasa R, Nimbalkar S. Randomized control trial of high fidelity vs low fidelity simulation for training undergraduate students in neonatal resuscitation. *BMC Res Notes*. 2015;8(1):636.
100. Al-Wassia H, Bamehriz M, Atta G, Saltah H, Arab A, Boker A. Effect of training using high-versus low-fidelity simulator mannequins on neonatal intubation skills of pediatric residents: a randomized controlled trial. *BMC Med Educ*. 2022;22(1):497.
101. Massoth C, Röder H, Ohlenburg H, Hessler M, Zarbock A, Pöpping DM, et al. High-fidelity is not superior to low-fidelity simulation but leads to overconfidence in medical students. *BMC Med Educ*. 2019;19(1):29.
102. Nosić A, Weber M. How Riskily Do I Invest? The Role of Risk Attitudes, Risk Perceptions, and Overconfidence. *Decision Analysis*. 2010;7(3):282-301.
103. Sherwood RJ, Francis G. The effect of mannequin fidelity on the achievement of learning outcomes for nursing, midwifery and allied healthcare practitioners: Systematic review and meta-analysis. *Nurse Educ Today*. 2018;69:81-94.
104. Schertzer K, Waseem M. *Use of Video During Debriefing In Medical Simulation*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023.
105. Zhang H, Mörelius E, Goh SHL, Wang W. Effectiveness of Video-Assisted Debriefing in Simulation-Based Health Professions Education: A Systematic Review of Quantitative Evidence. *Nurse Educ*. 2019;44(3):E1-e6.
106. Gröpel P, Wagner M, Bibl K, Schwarz H, Eibensteiner F, Berger A, et al. Provider Visual Attention Correlates With the Quality of Pediatric Resuscitation: An Observational Eye-Tracking Study. *Front Pediatr*. 2022;10:867304.
107. Wagner M, Gröpel P, Bibl K, Olischar M, Auerbach MA, Gross IT. Eye-tracking during simulation-based neonatal airway management. *Pediatr Res*. 2020;87(3):518-22.
108. Levitt C, Kaczorowski J, Outerbridge E, Jimenez V, Connolly B, Slapcoff B. Knowledge gained following Neonatal Resuscitation Program courses. *Fam Med*. 1996;28(6):403-6.
109. Patel J, Posencheg M, Ades A. Proficiency and retention of neonatal resuscitation skills by pediatric residents. *Pediatrics*. 2012;130(3):515-21.

110. Kaczorowski J, Levitt C, Hammond M, Outerbridge E, Grad R, Rothman A, et al. Retention of neonatal resuscitation skills and knowledge: a randomized controlled trial. *Fam Med*. 1998;30(10):705-11.
111. Nourkami-Tutdibi N, Hilleke AB, Zemlin M, Wagenpfeil G, Tutdibi E. Novel modified Peyton's approach for knowledge retention on newborn life support training in medical students. *Acta Paediatr*. 2020;109(8):1570-9.
112. Halamek LP, Kaegi DM. Who's teaching neonatal resuscitation to housestaff? Results of a national survey. *Pediatrics*. 2001;107(2):249-55.
113. Matterson HH, Szyld D, Green BR, Howell HB, Pusic MV, Mally PV, et al. Neonatal resuscitation experience curves: simulation based mastery learning booster sessions and skill decay patterns among pediatric residents. *J Perinat Med*. 2018;46(8):934-41.
114. Wyllie J, Perlman JM, Kattwinkel J, Wyckoff MH, Aziz K, Guinsburg R, et al. Part 7: Neonatal resuscitation: 2015 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science with Treatment Recommendations. *Resuscitation*. 2015;95:e169-201.
115. Greif R, Lockey A, Breckwoldt J, Carmona F, Conaghan P, Kuzovlev A, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Education for resuscitation. *Resuscitation*. 2021;161:388-407.
116. Vanderbilt AA, Pappada SM, Stein H, Harper D, Papadimos TJ. Increasing patient safety with neonates via handoff communication during delivery: a call for interprofessional health care team training across GME and CME. *Adv Med Educ Pract*. 2017;8:365-7.
117. Lim YS, Steinemann S, Berg BW. Team size impact on assessment of teamwork in simulation-based trauma team training. *Hawaii J Med Public Health*. 2014;73(11):358-61.
118. Kelleher DC, Kovler ML, Waterhouse LJ, Carter EA, Burd RS. Factors affecting team size and task performance in pediatric trauma resuscitation. *Pediatr Emerg Care*. 2014;30(4):248-53.
119. Forstrønen A, Johnsgaard T, Brattebø G, Reime MH. Developing facilitator competence in scenario-based medical simulation: Presentation and evaluation of a train the trainer course in Bergen, Norway. *Nurse Educ Pract*. 2020;47:102840.
120. Topping A, Bøje RB, Rekola L, Hartvigsen T, Prescott S, Bland A, et al. Towards identifying nurse educator competencies required for simulation-based learning: A systemised rapid review and synthesis. *Nurse Educ Today*. 2015;35(11):1108-13.
121. Miller GE. The assessment of clinical skills/competence/performance. *Acad Med*. 1990;65(9 Suppl):S63-7.

122. Brogaard L, Hvidman L, Esberg G, Finer N, Hjorth-Hansen KR, Manser T, et al. Teamwork and Adherence to Guideline on Newborn Resuscitation-Video Review of Neonatal Interdisciplinary Teams. *Front Pediatr.* 2022;10:828297.
123. Albino J, Young S, Neumann L, Kramer G, Andrieu S, Henson L, et al. Assessing Dental Students' Competence: Best Practice Recommendations in the Performance Assessment Literature and Investigation of Current Practices in Predoctoral Dental Education. *J Dent Educ.* 2009;72:1405-35.
124. Xu C, Zhang Q, Xue Y, Chow C-B, Dong C, Xie Q, et al. Improved neonatal outcomes by multidisciplinary simulation—a contemporary practice in the demonstration area of China. *Front Pediatr.* 2023;11.
125. Walker D, Otieno P, Butrick E, Namazzi G, Achola K, Merai R, et al. Effect of a quality improvement package for intrapartum and immediate newborn care on fresh stillbirth and neonatal mortality among preterm and low-birthweight babies in Kenya and Uganda: a cluster-randomised facility-based trial. *Lancet Glob Health.* 2020;8(8):e1061-e70.
126. Katowa-Mukwato P, Banda S. Self-perceived versus objectively measured competence in performing clinical practical procedures by final year medical students. *Int J Med Educ.* 2016;7:122-9.
127. Kirkpatrick D, Kirkpatrick J. Evaluating training programs: The four levels: Berrett-Koehler Publishers; 2006.
128. Finstad AS, Aase I, Bjørshol CA, Ballangrud R. In situ simulation-based team training and its significance for transfer of learning to clinical practice—A qualitative focus group interview study of anaesthesia personnel. *BMC Medical Educ.* 2023;23(1):208.
129. de Melo BCP, Rodrigues Falbo A, Sorensen JL, van Merriënboer JJG, van der Vleuten C. Self-perceived long-term transfer of learning after postpartum hemorrhage simulation training. *Int J Gynaecol Obstet.* 2018;141(2):261-7.
130. Drolet BC, Lorenzi NM. Translational research: understanding the continuum from bench to bedside. *Transl Res* 2011;157(1):1-5.
131. Ford JK, Baldwin TT, Prasad J. Transfer of training: The known and the unknown. *Annu Rev Organ Psychol Organ Behav.* 2018;5:201-25.
132. Leone TA. Using video to assess and improve patient safety during simulated and actual neonatal resuscitation. *Semin Perinatol.* 2019;43(8):151179.
133. Drummond D, Arnaud C, Guedj R, Duguet A, de Suremain N, Petit A. Google Glass for Residents Dealing With Pediatric Cardiopulmonary Arrest: A Randomized, Controlled, Simulation-Based Study. *Pediatr Crit Care Med.* 2017;18(2):120-7.

134. Mlinarić A, Horvat M, Šupak Smolčić V. Dealing with the positive publication bias: Why you should really publish your negative results. *Biochem Med (Zagreb)*. 2017;27(3):030201.