

**Diplomarbeit**

**Lärm und seine Auswirkungen im pädiatrischen  
Gesundheitsbereich**

eingereicht von

**René Maximilian Scheufele**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor(in) der gesamten Heilkunde**

**(Dr<sup>in</sup>. med. univ.)**

an der

**Medizinischen Universität Graz**

ausgeführt an der

**Universitätsklinik für Kinder- und Jugendheilkunde**

ausgeführt an der

**Klinischen Abteilung für allgemeine Pädiatrie**

unter der Anleitung von

**Ao.Univ.-Prof. Dr.med.univ. Siegfried Gallistl**

Graz, 21.08.2025

## **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.

Des Weiteren erkläre ich hiermit, dass, sofern bei der Erstellung dieser Arbeit Künstliche Intelligenz (KI) Werkzeuge zur Generierung und/oder Korrektur bestimmter Textpassagen verwendet wurden, dieser Einsatz unter Einhaltung ethischer Grundsätze, akademischer Integrität und den Vorgaben meiner Universität erfolgte, sowie in Folge dies transparent gemacht und in angemessener Weise gekennzeichnet wurde.

Graz, am 21.08.2025

*René Maximilian SCHEUFELE* eh.

## Danksagungen

Ich möchte mich hiermit bei all jenen bedanken, die mich während der Zeit des Medizinstudiums, sowie während dem Schreiben meiner Diplomarbeit unterstützt haben:

Mein besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mir den Traum meines Medizinstudiums ermöglicht haben.

Einen ausdrücklichen Dank möchte ich auch meinem Betreuer Ao. Univ.-Prof. Dr.med.univ. Siegfried Gallistl aussprechen, der mir dieses Projekt mit seiner unkomplizierten Hilfsbereitschaft und seinem wertvollen Rat ermöglicht hat.

Außerdem möchte ich mich noch bei meinem Freund André Frank bedanken, der mir in dieser doch herausfordernden Zeit mit Rat und Tat zur Seite gestanden ist.

Weiterhin möchte ich mich noch bei meiner Freundin Fiona Brugger bedanken. Die Zeit im Lockdown in unserer WG und während unserer Praktika in Deutschland wird mir ewig in Erinnerung bleiben.

Auch bei meinen Geschwistern und all meinen Freunden und Freundinnen, die mich auf dieser Reise begleitet haben möchte ich mich herzlich bedanken!

Vielen Dank für eure Unterstützung!

## Zusammenfassung

**Einleitung:** Die Arbeit befasst sich mit Lärm als unterschätztem, zugleich relevantem Risikofaktor in pädiatrischen Gesundheitseinrichtungen. Kinder, besonders Früh- und Neugeborene, sind wegen unreifer auditiver, neuroendokriner und schlafregulatorischer Systeme besonders vulnerabel. Ziel ist, Evidenz zu Exposition, gesundheitlichen Folgen und wirksamen Interventionsstrategien in Neonatologie, Pädiatrischer Intensivmedizin und Operationssaal systematisch zusammenzuführen, kritisch zu bewerten und praxisnahe Empfehlungen für klinische Führung, Teams und Planung abzuleiten.

**Material und Methode:** Es erfolgte eine systematische, thematisch fokussierte Literaturrecherche mit narrativer Synthese. Recherchiert wurde in großen biomedizinischen, pflegewissenschaftlichen, psychologischen und technischen Datenbanken, Leitlinienregistern sowie Behörden- und Normenportalen. Die Suchstrategie kombinierte kontrollierte Schlagwörter und Freitextbegriffe in deutscher und englischer Sprache zu Exposition, Setting, Population und Outcomes. Eingeschlossen wurden empirische Originalarbeiten, systematische Übersichten und evidenzbasierte Leitlinien zu Lärm in NICU, PICU und pädiatrischen OPs; übertragbare Befunde aus der Erwachsenenmedizin wurden berücksichtigt, wenn Methodik und Kontext vergleichbar waren. Die Datenerhebung erfolgte mittels standardisierter Extraktionsbögen zu Messprotokollen, Metriken, patienten- und personalbezogenen Outcomes sowie Interventionskomponenten. Aufgrund heterogener Expositionsdefinitionen und Outcome-Operationalisierungen wurde eine narrative Synthese mit qualitativen Einschätzungen zu interner Validität und Übertragbarkeit bevorzugt.

**Ergebnisse:** In allen Settings überschreiten Dauerschallpegel regelmäßig empfohlene Referenzwerte; Spitzenwerte sind häufig und korrelieren mit arbeitsorganisatorischen Spitzenlasten und alarmgetriebenen Ereignissen. Dominante Quellen sind medizinische Alarmer, Geräte- und Lüftungsgeräusche, instrumentelle Tätigkeiten und Teamkommunikation. Bei Früh- und Neugeborenen bestehen konsistente Zusammenhänge zwischen erhöhter Lärmbelastung und Stressreaktionen, Schlaffragmentierung, Atem- und Sauerstoffstörungen sowie

ungünstigen Verläufen bei Fütterung, Schmerzverarbeitung und Erholung. In der PICU deuten Befunde auf Zunahme von Angst, Delir und Störungen des Tag-Nacht-Rhythmus hin. Im OP wird Lärm mit Kommunikationsstörungen, erhöhter kognitiver Last, Informationsfehlern und potenziell ungünstigen intra- und postoperativen Verläufen assoziiert. Für Personal sind erhöhte Stressbelastung, Erschöpfung und Konzentrationsprobleme dokumentiert. Interventionsstudien zeigen den Nutzen durch Maßnahmenbündel wie Alarmmanagement, akustische Optimierung, geräuschsensible Abläufe, Schulungen mit Feedback sowie ruhefördernde Zeitfenster. Einzelmaßnahmen (z. B. Gehörschutz, Inkubatorabdeckungen) wirken kurzfristig, sind allein jedoch selten ausreichend. Heterogene Studien begrenzen Kausalität und Vergleichbarkeit.

**Conclusio:** Lärm in pädiatrischen Einrichtungen ist ein adressierbarer, klinisch relevanter und technisch wie organisatorisch beeinflussbarer Risikofaktor. Empfohlen wird eine mehrstufige Strategie mit baulich-akustischen Maßnahmen, standardisiertem Alarmmanagement, teambezogenen Interventionen und konsequenter Schlaf- und Ruheförderung. Grundlage ist kontinuierliches Monitoring mit definierten Kennzahlen und transparentem Feedback, verankert in Qualitäts- und Patientensicherheitsprogrammen. Forschungsbedarf besteht zu standardisierten Messprotokollen, longitudinalen patientenzentrierten Outcomes, Wirksamkeit von Maßnahmenbündeln im Routinebetrieb und gesundheitsökonomischen Analysen. Kliniken sollten Lärmprävention als Querschnittsaufgabe in strategische Planung, Beschaffung und Ausbildung integrieren, um vulnerable Patienten zu schützen und Arbeitsbedingungen nachhaltig zu verbessern.

## Abstract

**Introduction:** This thesis examines noise as an underestimated yet significant risk factor in pediatric healthcare. Children, especially preterm and newborn infants, are highly vulnerable due to immature auditory, neuroendocrine, and sleep-regulatory systems. The aim is to synthesize and critically appraise evidence on exposure, health consequences, and effective intervention strategies in neonatology, pediatric intensive care, and operating rooms, and to derive practice-oriented recommendations for clinical leadership, teams, and planning.

**Materials and Methods:** A systematic, thematically focused literature search with narrative synthesis was conducted in major biomedical, nursing, psychological, and engineering databases, guideline registries, and selected governmental and standards portals. The strategy combined controlled vocabulary and free-text terms in German and English across exposure, setting, population, and outcomes. Included were empirical studies, systematic reviews, and evidence-based guidelines on noise in NICUs, PICUs, and pediatric operating rooms; transferable findings from adult medicine were considered when methodology and context were comparable. Data extraction used standardized forms capturing measurement protocols, exposure metrics, patient- and staff-related outcomes, and intervention components. Due to heterogeneous definitions and outcome measures, a narrative synthesis was preferred, with qualitative assessments of internal validity and generalizability.

**Results:** Across all settings, equivalent continuous noise levels often exceeded recommended values; peaks were frequent and correlated with workload spikes and alarm events. Main sources were alarms, equipment and ventilation noise, instrumental activities, and team communication. In preterm and newborn infants, higher noise was consistently linked to stress responses, sleep fragmentation, respiratory and oxygenation disturbances, and adverse feeding, pain, and recovery outcomes. In PICUs, findings indicated increased anxiety, delirium, and circadian rhythm disruption. In operating rooms, noise was associated with impaired communication, higher cognitive load, information errors, and potentially adverse intra- and postoperative outcomes. For staff, elevated stress, fatigue, and

concentration problems were documented. Intervention studies showed benefits from bundles combining alarm management, acoustic optimization, noise-sensitive workflows, training with feedback, and quiet periods. Single measures (e.g., hearing protection, incubator covers) had short-term effects but were rarely sufficient. Study heterogeneity limited causal inferences and comparability.

**Conclusion:** Noise in pediatric facilities is a modifiable, clinically relevant risk factor. A multilevel strategy is recommended, integrating architectural-acoustic measures, standardized alarm management, team-based interventions, and consistent promotion of sleep and quiet. This requires continuous monitoring with defined metrics and transparent feedback, embedded in quality and patient safety programs. Research priorities include standardized measurement protocols, longitudinal patient-centered outcomes, effectiveness of bundles in routine care, and health-economic analyses. Hospitals should embed noise prevention in strategic planning, procurement, and training to protect vulnerable patients and improve working conditions.

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>IV</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>VI</b>
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Material und Methoden</b> .....	<b>9</b>
<b>3 Lärm im Gesundheitsbereich</b> .....	<b>11</b>
<i>3.1 Lärm im Gesundheitsbereich – Bestandsaufnahme jenseits pädiatrischer     Einrichtungen</i> .....	<i>11</i>
<i>3.2 Lärm auf der neonatologischen Intensivstation (NICU)</i> .....	<i>15</i>
<i>3.3 Lärmbelastung auf pädiatrischen Intensivstationen (PICU)</i> .....	<i>26</i>
<i>3.4 Lärm im pädiatrischen Operationssaal (OR)</i> .....	<i>30</i>
<b>4. Auswirkung von Lärm auf personelle Leistung und mentale Gesundheit</b>	<b>35</b>
<b>5. Personalstrategien zur Minimierung von Lärm</b> .....	<b>42</b>
<b>6. Interventionen und bauliche Maßnahmen zur Lärminderung</b> .....	<b>48</b>
<b>7. Diskussion</b> .....	<b>59</b>
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>61</b>

# 1. Einleitung

Lärm ist längst nicht mehr nur eine alltägliche Unannehmlichkeit. Er hat sich zu einem eigenständigen Problem der öffentlichen Gesundheit entwickelt, das in seiner Relevanz für die Bevölkerung mit anderen großen Umweltgefahren wie Luftverschmutzung konkurriert. Die Weltgesundheitsorganisation schätzt, dass Umgebungslärm allein in Europa jedes Jahr mehr als eine Million gesunde Lebensjahre kostet, vor allem infolge von Schlafstörungen, kardiovaskulären Erkrankungen und kognitiven Beeinträchtigungen (1). Kinder sind von dieser Belastung besonders stark betroffen, weil ihre Organsysteme sich noch in der Entwicklung befinden, sie Lärmquellen kaum kontrollieren können und sie empfindlicher auf akustische Reize reagieren. Vor diesem Hintergrund rückt die Frage nach den gesundheitlichen Folgen von Lärm in pädiatrischen Einrichtungen immer stärker in den Fokus. Aber nicht jedes Geräusch ist Lärm. Es muss zuerst geklärt werden, was Schall, Geräusche, und Lärm überhaupt bedeuten.

Lärm ist Schall, der als unerwünscht, störend oder potenziell gesundheitsschädlich empfunden wird (2). Schall hingegen wird physikalisch als jede periodische oder aperiodische Druckschwankung definiert, die sich in einem elastischen Medium, in der Regel Luft, ausbreitet und vom menschlichen Ohr registriert werden kann (3). Charakterisiert wird Schall durch seine Frequenz in Hertz und seinem Schalldruckpegel in Dezibel. Diese Differenz ist somit nicht in der Physik, sondern in der subjektiven und kontextabhängigen Bewertung begründet (4). Genau dieser Bewertungscharakter erklärt, warum dieselbe Rockmusik je nach Situation als wohltuend oder als quälend empfunden werden kann.

Neben der Lautstärke sind daher Vorhersagbarkeit, Kontrollierbarkeit und persönlicher Bedeutungsgehalt entscheidend für die Einordnung als Lärm oder als neutraler beziehungsweise angenehmer Schall (5). Die Wahrnehmung von Schall erfolgt über ein komplexes Zusammenspiel anatomischer und neurophysiologischer Prozesse. Schallwellen werden von der Ohrmuschel eingefangen, über den äußeren Gehörgang zum Trommelfell geleitet und anschließend durch Hammer, Amboss und Steigbügel verstärkt. In der Cochlea wandelt ein fein abgestimmtes System von Haarzellen den mechanischen Reiz in

elektrische Signale um, die über den Hörnerv zum Gehirn weitergeleitet werden (6). Bereits an dieser peripheren Station wird der Schall aufgrund der tonotopen Organisation der Basilarmembran nach Frequenzen sortiert. Efferente Bahnen modulieren die Empfindlichkeit der Haarzellen, sodass das zentrale Nervensystem relevante von irrelevanten Reizen unterscheiden kann (7). Parallel aktiviert jeder Schallreiz das limbische System sowie Hypothalamus, Hypophyse und Nebennierenrinde, was zu sympathischer Erregung und Cortisolausschüttung führt (8). Akustische Reize werden also nicht nur „gehört“, sondern auch „gefühl“.

Geräusche müssen dabei nicht zwingend schädlich sein. Eine wachsende Zahl von Untersuchungen belegt, dass natürliche Klanglandschaften oder wohlgestaltete Musik die parasympathische Aktivität steigern, Stressparameter senken und sogar Heilungsverläufe beschleunigen können (9). Gleichwohl darf nicht übersehen werden, dass dieselben physiologischen Schaltkreise unter ungünstigen Bedingungen in einen chronischen Alarmzustand übergehen. Lärm wird dann zum Umweltstressor, der Schlafrythmen stört, hormonelle und vegetative Regelkreise aus dem Gleichgewicht bringt und damit die Krankheitslast verschärft (10). Am unmittelbarsten manifestieren sich die Folgen exzessiver Geräuschbelastung im Hörorgan. Lärminduzierter Hörverlust entsteht, wenn mechanische Traumata und metabolischer Stress Haarzellen und Synapsen beschädigen. Schon Pegel knapp oberhalb von 85 dB können eine temporäre Schwellen-verschiebung verursachen, die bei wiederholter Exposition irreversibel wird (11). Zum Vergleich, was Menschen als Stille oder Hintergrundgeräusche wahrnehmen ist in etwa im Bereich um 30 dB zu verorten.

Neuere Arbeiten zeigen, dass bereits kurzzeitige Überschreitungen des normalen Geräuschpegels zu einer synaptopathischen Schädigung führen, die audiometrisch lange unsichtbar bleibt, aber das Sprachverstehen in geräuschvoller Umgebung drastisch verschlechtert (12). Die Bandbreite reicht von subtilen Sprachverständnisdefiziten bis zu dauerhaften sensorineuralen Hörstörungen, wobei Kinder aufgrund ihrer noch unreifen Haarzellmechanik besonders gefährdet sind (13). Darüber hinaus sind die nicht-auditiven Wirkungen von Lärm heute gut dokumentiert. Chronische Aktivierung der Stressachsen erhöht den Blutdruck, beschleunigt die Atherosklerose und verändert den

Glukose- sowie Fettstoffwechsel (8,14). Bei Kindern wurden erhöhte nächtliche Cortisolwerte, verringerte Herzfrequenzvariabilität und höhere Ruhe-Blutdruckwerte unter Verkehrslärm beobachtet (15,16). Kognitive Funktionen sind gleichfalls betroffen. Lärmbedingte Schlafdefizite und Aufmerksamkeitsstörungen können zu schlechteren schulischen Leistungen, Sprachentwicklungsverzögerungen und erhöhter emotionaler Reaktivität führen (17,18).

Die besondere Vulnerabilität von Kindern erklärt sich durch mehrere Faktoren. Anatomisch ist die Myelinisierung der zentralen Hörbahnen erst im Schulalter abgeschlossen, funktionell muss das Gehirn erst lernen, wichtige von unwichtigen Reizen zu unterscheiden (6). Psychologisch verfügen Kinder über weniger Bewältigungsstrategien und haben kaum Einfluss auf ihre akustische Umgebung. Epidemiologische Studien zeigen, dass bereits moderate Dauerpegel von 60 bis 65 dB(A) die Lesegeschwindigkeit und das Arbeitsgedächtnis von Schulkindern messbar beeinträchtigen (19,20). Diese Ergebnisse bestätigen frühe Befunde von Cohen et al., 1973 die zeigten, dass Kinder in lärmbelasteten Wohnungen schlechter in Sprach- und Hörwahrnehmungstests abschnitten. Die Wirkung einzelner Lärmquellen unterscheidet sich signifikant. Wiederholter Impulslärm, etwa vorbeifahrende Züge, wirkt besonders störend. In New Yorker Schulen entlang einer Hochbahn verfehlten Kinder unter solchen Bedingungen die erwarteten Leseleistungen um fast ein volles Schuljahr (22). Eine weitere zunehmende Lärmquelle ist Fluglärm. Dieser kombiniert hohe Dauerschallpegel mit noch laueren Einzelspitzen. Die multinationale RANCH-Studie zeigte, dass jedes Plus von 5 dB(A) Fluglärm das Leseverständnis signifikant verschlechterte (23). Haines et al. (2001) fanden darüber hinaus erhöhte Cortisolspiegel und Blutdruckwerte bei Kindern unter Fluglärm, und eine experimentelle Untersuchung konnte nach nur einer Woche nächtlicher Fluggeräusche verlangsamte Reaktionszeiten am Folgetag nachweisen (25). Kontinuierlicher Straßenverkehrslärm, oft unter 70 dB(A), reicht aus, um Blutdruck und Stresshormonprofile zu verändern und ist mit leicht schlechteren Aufmerksamkeits- und Sprachleistungen assoziiert (16).

Diese Befundlage macht deutlich, dass sowohl Dauer- als auch Impulslärm gesundheitlich relevant sind, wenn auch über teilweise unterschiedliche Mechanismen. Die Diskussion um klinischen Lärm erhält zusätzliche Brisanz, wenn man seine sozialräumliche Dimension berücksichtigt. In europäischen Ballungsräumen steigen die mittleren nächtlichen Dauerschallpegel seit Jahren trotz technischer Fortschritte an, wobei benachteiligte Quartiere oft besonders betroffen sind. Eine Analyse des Europäischen Umwelt- und Gesundheitssysteminformationssystems ergab, dass Kinder aus einkommensschwachen Stadtvierteln im Mittel um 7 dB(A) höheren Verkehrslärmpegeln ausgesetzt sind als Gleichaltrige in wohlhabenden Vierteln, was sich mit erhöhten Stresshormonwerten und leicht verminderten Schulleistungen deckt (26). Kliniken in solchen Arealen müssen folglich nicht nur interne, sondern auch externe Schallquellen in ihr Präventionskonzept einbeziehen.

Parallel dazu hat sich in den letzten Jahren ein dichtes Geflecht aus Normen und Leitlinien herausgebildet, welches jedoch im klinischen Alltag noch allzu selten beachtet wird. Die 2018 publizierten WHO-Umgebungslärmrichtlinien fordern für Patientenzimmer einen nächtlichen äquivalenten durchschnittlichen Dauerschallpegel ( $L_{eq}$ )  $\leq 30$  dB(A) und maximal 40 dB(A) untertags, während sie für Schulen und Kindergärten Grenzwerte von 35 dB(A) empfehlen (27). In Deutschland konkretisiert die aktuelle DIN 1946-4 die Anforderungen an die raumakustische Qualität von Intensiv- und OP-Bereichen und verlangt, dass kurzzeitige Pegel von 65 dB(A) nicht überschritten werden dürfen (28).

Lärmreduktion ist dabei längst zu einem anerkannten Qualitätsindikator in der patientenzentrierten Versorgung geworden. Phänomene wie „Alarm Fatigue“, die sogenannte Alarmmüdigkeit, wird als Problem ab den 2000ern intensiv diskutiert. Hierbei handelt es sich ursprünglich um ein betriebliches Modell. Es beschreibt, wie die ständige Konfrontation des Personals mit einer Flut von Alarmtönen zu einer Desensibilisierung führt. Theoretisch lehnt es sich an psychologische Habituations- und Ermüdungsmodelle an. Die Annahme ist, dass das Gehirn bei zu vielen Reizen irgendwann beginnt zu filtern und nicht mehr adäquat reagiert. Dieses Konzept wurde zwar nicht in einem einzigen Grundlagenartikel „erfunden“, doch Behörden und Fachgremien, wie z.B. die US-amerikanische Joint

Commission, eine Organisation zur Akkreditierung und laufenden Qualitätssicherung in der Krankenversorgung, haben es in offizielles Vokabular übernommen (29,30). Empirisch belegt wird das Konzept etwa durch Studien, die zeigten, dass Pflegepersonal auf Intensivstationen echte Alarmer teils überhörte oder verspätet reagierte, wenn zuvor sehr viele Fehlalarme liefen (29,30). Alarm Fatigue ist damit ein Beispiel, wie eine Kombination aus Beobachtungen und allgemeiner Theorie (Reizüberflutung) zu einem praxisrelevanten Modell wurde, das inzwischen als Grundlage für Richtlinien zur Alarmreduktion dient.

Auch hinsichtlich der technologischen Weiterentwicklung wird dem Thema Lärmreduktion im Intensivbereich zunehmend Aufmerksamkeit geschenkt. Ein Projekt will den Pflegekräften in diesem Bereich mit einer visuellen Anzeige, die in Echtzeit die Geräuschpegel überwacht und meldet, unter die Arme greifen. Dies soll ein sofortiges Feedback ermöglichen und proaktives lärmreduzierendes Verhalten fördern. Grundlegend bei der Erstellung dieser Anzeige war vor allem die Einbindung aktueller Mitglieder eines ICU-Teams mittels iterativen Benutzertests um das Design und die Funktionalität dieses Systems zu verfeinern und es sowohl ästhetisch als funktional für die zentrale Zielgruppe zu gestalten (31). Dass eine alleinige Verhaltensänderung nicht ausreichend ist um den Lärm zu reduzieren, sondern dies immer nur in Kombination mit weitergefassten Maßnahmen vonstatten gehen kann zeigt diese Studie: Hier wurde die Lärmreduktion mit einem kostengünstigen Programm zur Verhaltensänderung getestet. Das Ergebnis dieser Studie war, dass durch bloße Verhaltensänderungen keine signifikante Reduktion des Lärmpegels erzielt werden konnte (32).

Wie dieser Ansatz der Visualisierung zeigt, steckt in der visuellen Bewusstwerdung der Geräuschsituation eine starke Wirkung. Eine andere Studie setzte sich zum Ziel, den stationsbezogenen Geräuschpegel in drei Intensivstationen (anästhesiologisch, neurologisch und neonatologisch) zu senken. Dies erfolgte mittels eines stationsspezifischen Maßnahmenbündels, welches aus folgenden Komponenten bestand: Einem stationsspezifischen Leitfaden zum Lärmmanagement, weiteren Maßnahmen zur Lärmreduktion und -vermeidung, sowie der Nutzung einer sogenannten „Lärmampel“ zur

Visualisierung der Geräuschpegel. Die Überprüfung der Wirksamkeit wurde in einer Implementierungsstudie mit Prä-Post-Design evaluiert. Es zeigte Wirkung: Nach der Interventionsphase stellten die Autoren eine signifikante Gesamtverringerung des Geräuschpegels um 0,77 dB(A) fest (33).

Eine Studie in einem städtischen, tertiären, universitären NICU-Zentrum konnte durch das aktive Einbinden des Personals sehr gute Erfolge hinsichtlich der Lärmreduktion erzielen. Ziel dieser mehrphasigen Qualitätsverbesserungsinitiative war es die Lärmbelastung in der NICU gegenüber dem Ausgangsniveau um 3 dB zu senken. Genutzt wurde hierfür ein pflegeorientiertes Empowerment-Konzept, das mit einer Basismessung der Geräuschpegel begann. In weiterer Folge kamen Umfragen unter den Mitarbeitenden und den Besucher\*innen zum Einsatz, um deren Wahrnehmung der Lärmsituation zu ermitteln. Nach jedem Messzeitpunkt erhielten die Mitarbeitenden Feedback, um Bewusstsein, Engagement und die Einhaltung der Lärmreduktionsmaßnahmen zu verbessern. Unter aktiver Beteiligung der klinischen Fachkräfte wurden schließlich Änderungen entwickelt und umgesetzt, darunter eine Senkung der Alarmlautstärke der Geräte, die Einführung von definierten „Ruhezeiten“ („quiet times“) und ein maßgeschneidertes Schulungsprogramm für das Personal. Das gesteckte Ziel einer Senkung der Lärmbelastung um 3 dB gegenüber dem Ausgangsniveau konnte mithilfe dieser Maßnahmen erreicht werden (34). Eine chinesische Studie bestätigt diese Annahme, dass nur ein kombiniertes Maßnahmenpaket, bestehend aus Verhaltensänderungen, sowie Umgestaltung der Umgebung, eine sinnvolle Reduktion der Geräuschkulisse ermöglicht. Der Geräuschpegel im Inkubator konnte so um 9,1 dB reduziert werden und die Geräuschpegel lagen die meiste Zeit unter 45 dB (35).

Auch hinsichtlich der Kosten-Nutzen-Frage gibt es seitens der Forschung Überlegungen, dass eine Lärmreduktion im Intensivbereich ökonomisch lohnen kann. Bei einer patientenorientierten Musikintervention bei mechanisch beatmeten Intensivpatienten\*innen wurde nachweislich die Rate von Angstzuständen reduziert. Dies bedeutete auch gleichzeitig die Senkung der Behandlungskosten im Vergleich zur üblichen Versorgung. Diese Kosten-Effektivitätsanalyse aus Sicht des Krankenhauses zeigte, dass eine derartige Intervention nicht nur das

Patientenwohl signifikant verbessert, sondern auch durchschnittlich um circa 2.000 US-Dollar pro Patient\*in einspart (36).

Gleichwohl bleibt die Implementierung in der Praxis herausfordernd. Qualitative Untersuchungen heben hervor, dass Lärm als „unsichtbares“ Problem oft hinter akut lebensbedrohlichen Aufgaben zurücktritt. Erst wenn ein interdisziplinäres Team gemeinsame Ziele definiert, Lärmwerte transparent kommuniziert und Verstöße adressiert, tritt eine nachhaltige Kulturveränderung ein (37). Entscheidend ist dabei die Balance zwischen notwendiger akustischer Stimulation, etwa der Stimme der Eltern, und dem Schutz vor schädlicher Überreizung. Aktuelle Konzepte wie „Family-Integrated Care“ integrieren Eltern bewusst in das Klanggeschehen, um sinnvolle auditive Reize zu fördern und gleichzeitig das Personal für überflüssigen Hintergrundlärm zu sensibilisieren (38).

Auch methodisch zeichnet sich ein Fortschritt ab. Während frühe Studien meist reine Mittelwertpegel heranzogen, erfassen heutige Projekte zusätzlich Parameter wie Peak-Level-Dichte, Frequenzverteilung und psychoakustische Kenngrößen (Lästigkeitsindex, Roughness). Diese Mehrdimensionalität ermöglicht präzisere Risikoabschätzungen. Eine kanadische Analyse identifizierte kürzlich die Kombination aus hoher Spitzenhäufigkeit ( $> 10$  Ereignisse  $> 80$  dB/h) und dominanten Hochfrequenzanteilen ( $> 2$  kHz) als stärksten prädiktiven Faktor für Schlafunterbrechungen bei Säuglingen (39). Solche Erkenntnisse können in evidenzbasierte Richtlinien einfließen und damit die bisher primär energetisch definierten Grenzwerte verfeinern. Vor diesem Hintergrund gewinnt die Frage an Gewicht, wie pädiatrische Einrichtungen Lärm nicht nur messen, sondern aktiv managen können.

Die vorliegende Arbeit nimmt daher bewusst einen transnationalen Blick ein. Sie verknüpft physiologische Grundlagen, epidemiologische Evidenz und praxisnahe Interventionsstudien, um konkrete, umsetzbare Strategien zu formulieren, die über reine Geräuschemessungen hinausgehen. Die theoretische Rahmung liefert das Noise-Stress-Konzept von Babisch (2002), das Lärm als psychosozialen Stressor beschreibt, der aufgrund fehlender Kontrollierbarkeit, hoher Vorhersageunsicherheit und direkter Aktivierung der Stressachsen sowohl akute als auch chronische Gesundheitsschäden verursacht (40). Bereits in den 1980er-

Jahren zeigten Cohen & Weinstein (1981) sowie Westman & Walters, (1981), dass unvorhersehbare Lärmimpulse die Stresshormonspiegel bei Schulkindern erhöhen, Hilflosigkeitsgefühle fördern und die kognitive Leistung beeinträchtigen. Shield & Dockrell (2003) wiesen zudem nach, dass selbst kurzfristige Impulslärmereignisse, wie zum Beispiel Pausenglocken oder Außengeräusche, störender wirken als gleichmäßiger Hintergrundschall gleicher energetischer Gesamtbelastung. Diese Konzepte haben Eingang in aktuelle WHO-Leitlinien gefunden, die für Schulen und Krankenhäuser deutlich niedrigere Pegel empfehlen als für allgemeine Wohngebiete (44).

Obwohl viele dieser Evidenzen aus Wohn- oder Schulumgebungen stammen, ist die klinische Situation nicht weniger brisant. Neonatale und Pädiatrische Intensivstationen weisen Mittelungspegel von 55 bis 70 dB(A) auf und überschreiten damit die WHO-Empfehlung von höchstens 30 dB(A) in Schlafbereichen deutlich (18). Hauptverursacher sind Beatmungsgeräte, Inkubatoren, Alarmsignale und personelle Kommunikation. Eine aktuelle Interventionsstudie zeigte, dass eine systematische Reduktion des Geräuschniveaus auf einer neonatologischen Station die durchschnittlichen Speichel-Cortisolwerte der Frühgeborenen senkte und gleichzeitig die Gewichtszunahme verbesserte (45). Diese Befunde machen deutlich, dass Lärm in pädiatrischen Gesundheitseinrichtungen nicht nur ein Komfort-, sondern ein echtes Sicherheits- und Gesundheitsproblem darstellt.

Vor diesem Hintergrund verfolgt die vorliegende Arbeit drei Ziele: Erstens wird das Geräuschprofil in verschiedenen pädiatrischen Settings, von der Notaufnahme über die Intensivstation bis zum Regelpflegebereich, objektiv erfasst und mit internationalen Referenzwerten verglichen. Zweitens werden die empirischen Befunde zu auditiven und nicht-auditiven Lärmfolgen bei Kindern systematisch zusammengeführt, wobei besondere Aufmerksamkeit auf die spezifischen Lärmquellen und deren Wirkprofile gelegt wird. Drittens werden praxisorientierte Strategien zur Lärminderung entwickelt und diskutiert, um eine kindgerechte und gesundheitsfördernde Akustik in Kliniken zu ermöglichen. Auf diese Weise soll die Arbeit einen Beitrag dazu leisten, Lärm als vermeidbaren Stressor im Gesundheitssystem zu erkennen und nachhaltig zu reduzieren.

## 2 Material und Methoden

Die erstellte Diplomarbeit zum Thema Lärm im pädiatrischen Gesundheitsbereich basiert auf einer strukturierten und umfassenden Literaturrecherche. Um die Forschungsfragen in dieser Arbeit zu beantworten, wurden sowohl aktuelle, als auch ältere qualitativ hochwertige Studien herangezogen. Diese wurden durch (inter)nationale und organisatorische Leitlinien ergänzt, um wichtigen Kontext zu schaffen. Durch die Auswahl der Literatur wird ein Überblick über die Problematik Lärm in verschiedenen pädiatrischen Gesundheitsbereichen geschaffen. Die Kombination aus empirischen Studien, theoretischen Modellen, und Leitlinien im Verlauf der Jahre erlaubt es außerdem, einen Trend zu erkennen. Lärm als Problem im Gesundheitsbereich wird immer wichtiger, und als immer wichtiger wahrgenommen.

Recherchiert wurde in internationalen und fachspezifischen Datenbanken der Medizin, Pflegewissenschaft, Psychologie und Technik. Primäre Kernquellen waren PubMed/MEDLINE, Embase, CINAHL, PsycINFO, Web of Science Core Collection, Scopus und die Cochrane Library. Zur Abdeckung der technischen Alarm- und Akustikliteratur wurden IEEE Xplore und Inspec ergänzt. Für Leitlinien, Normen und behördliche Empfehlungen wurden einschlägige Repositorien systematisch durchsucht, darunter die Webseiten der Weltgesundheitsorganisation, der European Environment Agency, der American Academy of Pediatrics, der Joint Commission sowie nationale Normenportale mit Relevanz für Klinikakustik und Alarmmanagement. Zur Vollständigkeitserhöhung und Zitationsverfolgung wurde Google Scholar als sekundäre Quelle genutzt. Die Auswahl dieser Quellen reflektiert die in dieser Arbeit definierten Ziele und Inhalte.

Die Suchbegriffe wurden a priori in deutscher und englischer Sprache festgelegt und mittels Boolescher Operatoren kombiniert. Verwendet wurden kontrollierte Schlagwörter und Freitextterme zu Exposition, Setting, Population und Outcomes, unter anderem „noise“, „sound“, „acoustic\*“, „decibel“, „alarm\*“, „intensive care“, „NICU“, „PICU“, „operating room“, „pediatric\*“, „neonate\*“, „infant\*“, „child\*“, „sleep“, „cortisol“, „heart rate“, „neurodevelopment“, „communication error“, „surgical complications“, ergänzt um deutschsprachige Entsprechungen. Wo

verfügbar wurden MeSH- und Emtree-Begriffe eingesetzt, Trunkierungen genutzt und Suchfilter für Altersgruppen, Studientyp und Sprache angewandt. Der zeitliche Suchkorridor umfasste Januar 1970 bis August 2025, um historische Messserien und aktuelle Interventionsansätze gleichwertig abzubilden.

Einschlusskriterien waren empirische Originalstudien, systematische Reviews und evidenzbasierte Leitlinien mit direktem Bezug zu Lärm in klinischen Kinder- und Jugendbereichen, insbesondere NICU, PICU und Operationssaal, sowie Studien aus der Erwachsenenmedizin, sofern sie methodisch und inhaltlich für die pädiatrische Versorgung übertragbar sind. Ausgeschlossen wurden nicht klinikspezifische Umweltlärmuntersuchungen ohne Bezug zur Gesundheitsversorgung und nicht belastbare Einzelfallberichte. Die Sprachkriterien beschränkten sich auf Deutsch und Englisch.

Zur Datenerhebung wurden standardisierte Extraktionsmasken genutzt, in denen Setting, Population, Studiendesign, Expositionsmetriken (z. B. Leq, Lmax, Frequenzanteile, A-Bewertung, Messprotokoll), Outcomes und Kernergebnisse erfasst wurden. Die methodische Qualität wurde studientypspezifisch bewertet. Bei randomisierten Studien kamen etablierte Verzerrungsbewertungen, bei Beobachtungsstudien entsprechende Assessments zur Anwendung. Aufgrund heterogener Expositions- und Outcome-Definitionen wurde eine narrative Synthese bevorzugt. Quantitative Sekundärauswertungen wurden nur bei ausreichender Homogenität der Messgrößen erwogen. Die Ergebnisse sind entlang der in dieser Arbeit definierten Hauptziele strukturiert und verknüpfen Messwerte, gesundheitliche Effekte und Interventionsoptionen in pädiatrischen Settings.

### **3 Lärm im Gesundheitsbereich**

Im folgenden Kapitel wird auf Lärm im Gesundheitsbereich eingegangen. Es folgt eine Bestandsaufnahme jenseits pädiatrischer Einrichtungen. Hier wird deutlich, dass Lärm generell ein Problem im Gesundheitsbereich ist. Die darauffolgenden Unterkapitel beschreiben anschließend die Problematik von Lärm in den verschiedenen pädiatrischen Gesundheitseinrichtungen: Neonatologische Intensivstation (NICU), Pädiatrische Intensivstation (PICU) und im Operationssaal (OR).

#### **3.1 Lärm im Gesundheitsbereich – Bestandsaufnahme jenseits pädiatrischer Einrichtungen**

Lärm stellt in nahezu allen klinischen Bereichen einen unterschätzten Umweltstressor dar, dessen Pegel die international empfohlenen Richtwerte seit Jahrzehnten systematisch überschreiten. Obwohl die folgenden Ausführungen weitgehend auf Ergebnisse aus Intensiv-, Operations-, Notfall- und Allgemeinstationen der Erwachsenenmedizin fokussieren, lassen sich viele Befunde auf andere Fachdisziplinen übertragen, denn die zugrunde liegenden Quellen und Wirkmechanismen ähneln sich in ihrem physiologischen und organisatorischen Gefahrenpotenzial.

Die dokumentierte Geräuschlandschaft moderner Krankenhäuser entsteht multifaktoriell aus menschlichen Aktivitäten, technischen Alarmen und baulichen Infrastrukturgeräuschen. In adulten Intensivstationen dominieren Mitarbeitergespräche (75–81 dB(A)), Beatmungs- und Sauerstoffgeräte (70–77 dB(A)), Klimaanlage (60–67 dB(A)) und Alarmtöne, die Spitzenwerte bis 84 dB(A) erreichen (46). Operationssäle weisen ein eigenes Profil auf: Während in ruhigen Phasen der Lärmpegel selten unter 50 dB(A) sinkt, erzeugen bohrende oder sägende Instrumente in der Orthopädie und Neurochirurgie kurzfristige Extreme weit über 100 dB(A) (47). Auf Allgemeinstationen generieren Telefone, Transportequipment und Türanschläge kontinuierliche Hintergrundpegel von 45–68 dB(A) mit impulsiven Spitzen bis 85 dB(A) (48). Notaufnahmen wiederum kombinieren das technische Grundrauschen diagnostischer Geräte mit

unvorhersehbaren Patienten- und Besucherströmen, was häufig zu einem konstant hohen Pegel ohne nächtliche Absenkung führt (46). Neuere Einzelstudien bestätigen diesen Trend. In einer griechischen Sechs-Betten-ICU lagen die Mittelungspegel zwischen 60,3 und 67,4 dB(A), mit Spitzen bis 90 dB(A) (49). Eine australische Untersuchung fand nach modernem Umbau einer Erwachsenen-ICU „besorgniserregend“ hohe Werte, die selbst bauliche Schallschutzmaßnahmen nur marginal senken konnten (50). Ein Review von Konkani und Oakley fasst 29 Studien und dutzende ICU-Messungen zusammen und ordnet typische Dauerschallpegel auf 55–70 dB(A) ein, wobei der nächtliche Rückgang nur wenige Dezibel beträgt (51). Messungen auf den Normalstationen belegen durchschnittlich 52,6 dB(A) am Tag und rund 46 dB(A) in den ruhigsten Nachtstunden (52), womit selbst ruhige Phasen über den von der Weltgesundheitsorganisation empfohlenen 35 dB(A) liegen (53).

Die Weltgesundheitsorganisation empfiehlt bereits seit 1999 maximale Dauerschallpegel von 35 dB(A) tagsüber und 30 dB(A) nachts für patientennahe Räume (53). Die US-Umweltschutzbehörde schlug 1974 einen 24-Stunden-Mittelwert von 45 dB(A) vor, um langfristige Gesundheitsgefährdungen auszuschließen (54). Diese Grenzwerte werden in nahezu allen gemessenen Bereichen überschritten. In einer österreichischen Erwachsenen-ICU registrierten Balogh et al. konstante 60–65 dB(A), doppelt so hoch wie der EPA-Grenzwert (55). Auch auf Allgemeinstationen in Akutkrankenhäusern liegen selbst nächtliche Minimalpegel systematisch über den WHO-Empfehlungen (52). Die Diskrepanz lässt sich nur teilweise durch bauliche oder technische Maßnahmen verringern, da ein erheblicher Anteil des Lärms aus menschlicher Kommunikation sowie aus Alarmen resultiert, deren Häufigkeit und Lautstärke bislang nur ungenügend reguliert werden. Lärm wirkt in Gesundheitseinrichtungen über mehrere, teils interagierende Pfade.

Lärm in Krankenhäusern lässt sich modellieren und dadurch kausal analysieren. Hansell konzeptualisierte hospitalen Lärm als potenziellen Auslöser des nachfolgenden Deliriums bei Intensivpatienten, indem dauerhafte akustische Stimulation zu Desorientierung und Schlafentzug beiträgt (56). Bakers Annoyance-Modell betont die kognitive Bewertung des Geräuschereignisses:

Unkontrollierbarkeit und Unvorhersehbarkeit erhöhen Stress, selbst wenn der physikalische Pegel unverändert bleibt (57). Topf integrierte diese Perspektiven in ein allgemeines Umweltstressmodell, das Lärm über Zwischenmechanismen wie Schlafstörung und Kommunikationserschweren in konkrete gesundheitliche Folgen übersetzt (58).

Organisatorisch wurde das Konzept der Alarmmüdigkeit geprägt. Eine Überexposition gegenüber akustischen Signalen führt zur Habituation des Personals und damit zu verzögerter Reaktion auf kritische Alarme (30). Parallel bettet Ulrich den Akustikfaktor in sein Framework der „unterstützenden Umgebung“ ein und fordert eine Gestaltung, die Heilung fördert, Stress mindert und Fehler reduziert (59).

Akut führt Geräuscheinwirkung bei erwachsenen Intensivpatienten zu sympathoadrenergen Reaktionen. Herzfrequenz, Blutdruck und Stresshormonspiegel steigen signifikant an, während Schlafperioden verkürzt und fragmentiert werden (50). Studien belegen, dass Dauerschallpegel über 55 dB(A) in der Nacht die Wahrscheinlichkeit von Aufwachreaktionen und Schlafverlust erhöhen (60). Chronische Exposition wird mit einem erhöhten Risiko für Delir, verlängerter Genesungsdauer und erhöhter Morbidität in Verbindung gebracht (61). Kurmann et al. zeigten etwa einen Zusammenhang zwischen intraoperativ hohen Pegeln und postoperativen Wundinfektionen (62).

Für das Personal ist Lärm gleichermaßen belastend. Prospektive Beobachtungen demonstrieren eine Korrelation zwischen Geräuschspitzen und Herzfrequenzanstieg bei Pflegekräften (63). Topf dokumentierte, dass lärmempfindliches Intensivpersonal häufiger Symptome emotionaler Erschöpfung zeigt (64). Alarmmüdigkeit gilt als eigenständiges Sicherheitsrisiko, da 85–99% der Alarme keine Intervention erfordern und somit das Aufmerksamkeitssystem des Personals kontinuierlich überstrapazieren (30). Interventionsstudien in Erwachsenenabteilungen verdeutlichen das Potenzial multimodaler Programme. Kahn et al. etablierten auf einer Erwachsenen-ICU „Quiet Times“, optimierten Alarmparameter und schulten das Personal. Der nächtliche Mittelungspegel sank um etwa 5 dB, und die Patientenschlafqualität verbesserte sich messbar,

wenngleich der Effekt ohne kontinuierliche Verstärkung nicht dauerhaft anhielt (66). In einer quantitativen Studie demonstrierten die Forschenden, dass schallabsorbierende Deckenpaneele oder Gummipuffer an Türen den Pegel um 3-4 dB reduzieren können (67). In Operationssälen reduzierte ein Noise-Reduction-Programm den mittleren Pegel um rund 3 dB und halbierte die Komplikationsrate (68). Solche Befunde unterstreichen, dass Lärmmanagement wirksam ist, wenn bauliche, technische und verhaltensbezogene Komponenten kombiniert werden und eine dauerhafte Feedbackschleife etabliert wird. Bauliche Maßnahmen allein verpuffen, wenn Personalverhalten und Alarmkultur unverändert bleiben.

Umgekehrt gibt es reine Sensibilisierungskampagnen ohne bauliche Unterstützung. Lärm in Erwachsenen-Krankenhausbereichen ist ein persistentes, interdisziplinäres Qualitätsproblem. Die gemessenen Pegel liegen kontinuierlich oberhalb der WHO- und EPA-Grenzwerte, wobei technischer Fortschritt paradoxerweise zur Zunahme akustischer Störsignale beiträgt. Empirische Evidenz belegt akute kardiovaskuläre und psychische Effekte bei Patient\*innen, erhöhtes Delir- und Komplikationsrisiko sowie Stress und Erschöpfung beim Personal. Zugleich haben Interventionsstudien gezeigt, dass selbst moderate Pegelreduktionen spürbare klinische Verbesserungen bewirken können. Die Datenlage stützt daher die Forderung, Lärm als kontrollierbaren Umweltfaktor anzuerkennen, systematisch zu monitoren und in Qualitäts- sowie Sicherheitsindikatoren aufzunehmen. Eine nachhaltige Reduktion erfordert multimodale Bundles, kontinuierliche Schulung und architektonische Planung, damit sich der derzeitige Abstand zwischen Evidenz und Praxis künftig schließt.

### **3.2 Lärm auf der neonatologischen Intensivstation (NICU)**

Auf neonatologischen Intensivstationen werden überwiegend Frühgeborene und schwerkranke Neugeborene betreut, oft mit einem Gestationsalter von deutlich unter 30 Wochen. In dieser Phase sind sowohl das zentrale Nervensystem als auch die peripheren Regulationsmechanismen noch unreif, sodass selbst moderate Umweltreize zu Stressreaktionen führen können (69). Das auditorische System reift bereits intrauterin. Ab etwa der 25.-30. Schwangerschaftswoche reagieren Feten zuverlässig auf akustische Stimuli (69). Die Klanglandschaft des Uterus ist dabei von gedämpften, überwiegend tieffrequenten Geräuschen geprägt, Frequenzen oberhalb von circa 0,5 kHz werden um 40-50 dB abgeschwächt (70). Mit der Aufnahme auf die NICU entfällt dieser natürliche Filter schlagartig, sodass Frühgeborene noch während kritischer Entwicklungsphasen einer ungefilterten Geräuschumgebung ausgesetzt sind.

Schon ab einem Gestationsalter von rund 32 Wochen lassen sich ausgeprägte Startle-Reaktionen, also Schreckreflexe, Tachykardien und Apnoen, auf plötzliche laute Geräusche beobachten, was die geringe Toleranzschwelle gegenüber hohen Schalldruckpegeln unterstreicht (69). Die American Academy of Pediatrics empfiehlt, den mittleren Dauerschallpegel in neonatologischen Intensivbereichen auf höchstens 45 dB(A) zu begrenzen, um Hörschäden, Schlafstörungen und kardiovaskuläre Stressreaktionen zu vermeiden (71). Messstudien zeigen jedoch, dass dieser Richtwert im klinischen Alltag häufig überschritten wird. In einer amerikanischen Untersuchung lagen die Hintergrundpegel offener Stationen bereits bei 53-60 dB, während kurzzeitige Ereignisse wie das Zuschlagen von Inkubatortüren oder laut geführte Gespräche Spitzenwerte von über 80 dB erreichten (72). Messungen in Inkubatoren in Italien ergaben sogar Dauergeräusche von 74-80 dB allein durch die Ventilatormotoren, zusätzlich wurden wiederholt Impulse über 80 dB registriert, wenn die Plexiglasportale gestoßen oder abrupt geöffnet wurden (73). Insgesamt liegt die akustische Belastung in vielen NICUs damit deutlich oberhalb der empfohlenen 45 dB(A) und stellt ein potenzielles Risiko für Schlaf, Stressregulation und neurologische Entwicklung von Früh- und kranken Neugeborenen dar.

Auffallend ist, dass die Lärmcharakteristik einer NICU sich deutlich von der gewohnten intrauterinen Klangwelt unterscheidet. Frühgeborene werden nun einem breiten Frequenzspektrum ausgesetzt, inklusive hoher Frequenzen, das im Mutterleib so nicht vorkommt (74). Die Autoren\*innen bezeichnen diese Diskrepanz als „akustische Lücke“ zwischen Uterus und NICU. Diese hat theoretisch die Besorgnis aufkommen lassen, dass eine frühzeitige Überexposition gegenüber unphysiologischen Geräuschen die normale Hirnreifung des Hörsystems stören könnte (74). Insbesondere der dauerhafte Hochfrequenzlärm in der NICU könnte die tonotopische Organisation der Hörbahn beeinflusst. Mögliche Folgen davon könnten langfristige Defizite in der Fähigkeit sein, unwichtige Geräusche herauszufiltern, was zu erhöhtem Risiko von Hörverarbeitungs-, Sprach- und Aufmerksamkeitsstörungen führen könnte (74). Außerdem maskiert der technische NICU-Lärm wichtige sprachliche Reize (z.B. Stimmen der Eltern), was die für die Sprachentwicklung so wertvolle Stimulation reduziert (74). Diese theoretischen Überlegungen untermauern die Forderung, die Schallumwelt für Frühgeborene möglichst an die natürlichen Bedingungen anzunähern.

Aufgrund solcher Erkenntnisse wurden nach und nach Grenzwerte und Empfehlungen etabliert. Die bereits erwähnte AAP-Empfehlung von 45 dB(A) Dauerschallpegel (Leq) stammt aus dem Jahr 1997 und orientierte sich ursprünglich an einem von der US-Umweltschutzbehörde EPA vorgeschlagenen Richtwert für Büroumgebungen (54). Allerdings erwies sich dieses „Tomatenfeld-Kriterium“, 45 dB entsprechen dem nächtlichen Geräuschpegel in einem einsamen Tomatenfeld, in der Praxis als äußerst schwer einzuhalten (54). Tatsächlich erreichen nur wenige Intensivstationen im Routinebetrieb einen derart niedrigen Mittelungspegel. Graven et al. (2000), eine interdisziplinäre Expertengruppe, überprüften Ende der 1990er die Evidenzlage und formulierten feinere Empfehlungen. Sie schlagen für die NICU einen stundenbezogenen Leq  $\leq 50$  dB(A) vor, ergänzt um Grenzwerte für kurzzeitige Pegel (L10  $\leq 55$  dB(A); 1 Sekunden-Maximum  $\leq 70$  dB(A)) (75). Außerdem wird regelmäßiges Lärmmonitoring empfohlen und organisatorische Maßnahmen zur Lärmkontrolle gefordert (75). International existieren ähnliche Richtwerte, so nennen US-Quellen z.B.  $\leq 45$  dB(A) am Tag und  $\leq 35$  dB(A) in der Nacht als Zielwerte für Intensivstationen (76). Die WHO-Richtlinien für Umgebungslärm (1999) empfehlen

für Krankenhaus-Schlafräume ebenfalls sehr niedrige Dauerschallpegel (im Bereich von 30–35 dB(A) nachts), um Schlafstörungen zu minimieren. All diese Empfehlungen zielen darauf ab, eine akustische Umgebung zu schaffen, die den Schlaf der Frühgeborenen schützt, stabile Vitalzeichen fördert und Hörschäden vorbeugt (77).

Allerdings weisen Fachleute darauf hin, dass der strikte 45-dB-Grenzwert allein die komplexe Problematik nicht vollständig erfasst. Inzwischen ist bekannt, dass vereinzelte laute Ereignisse und die spezifische Frequenzcharakteristik des Lärms mindestens ebenso kritisch sind wie der Mittelwert (78). Mit anderen Worten, ein gelegentlicher schriller Alarmton kann trotz kurzen Zeitfensters potenziell schädlicher sein als ein konstantes Hintergrundrauschen knapp über 45 dB. Moderne Konzepte plädieren daher für ein „holistisches“ Lärmmanagement, das nicht nur den Durchschnittspegel senkt, sondern vor allem häufige laute Transienten vermeidet (z.B. Alarmmanagement, sanfteres Schließen von Inkubatoren etc.) (79). Gleichzeitig wird betont, dass ein völliges Eliminieren aller Geräusche ebenfalls nicht wünschenswert ist. Säuglinge brauchen positive akustische Reize wie die Stimme der Eltern, um ihre sensorische Entwicklung und Bindung zu fördern (77,80). Einzelne neuere Studien deuten z.B. an, dass Frühgeborenenstationen mit Einzelzimmern zwar den Lärmpegel senken, aber ohne regelmäßige elterliche Präsenz paradoxerweise zu einer Art akustischer Deprivation führen könnten, die die Sprachentwicklung verzögert (80). Eine Balance aus Lärmreduktion und gezielter positiver Stimulation ist also anzustreben.

Schon in den 1980er und 1990er Jahren begannen Forscher, die Auswirkungen des Dauerlärms auf Frühgeborene systematisch zu untersuchen. Viele dieser frühen Studien waren Beobachtungsstudien oder prä-post Interventionsstudien in einzelnen NICUs. Ein zentrales Anliegen war zunächst die Objektivierung der Lärmbelastung und deren Quellen. So zeigte z.B. eine Studie von Catlett & Holditch-Davis (1990), dass eine Vielzahl typischer Pflegehandlungen (Absaugen, Inkubator öffnen, Mülleimer schließen etc.) kurzfristige Schallspitzen erzeugen kann, die weit über dem empfohlenen Niveau liegen. Dies wurde verbunden mit der Hypothese, dass solche Umweltstimulation physiologische Stressreaktionen

beim Frühgeborenen auslösen (81). Lotas fasste den Wissensstand jener Zeit in einem Review zusammen und äußerte die wachsende Sorge, dass bestimmte Aspekte der NICU-Umgebung (vor allem Dauerlärm und grelles Licht) zu subtilen Entwicklungsbeeinträchtigungen bei lang hospitalisierten Frühgeborenen beitragen könnten (82). Sie präsentierte bereits Ergebnisse mehrerer Studien zu akustischen und visuellen Reizen und leitete pflegepraktische Empfehlungen ab. Im Kern forderte sie, Lärmquellen zu reduzieren und die Sensorik der Kinder zu schützen, um insgesamt ihre neurologische Entwicklung zu verbessern (82). Zeitgleich begannen Interventionsstudien, einfache Maßnahmen zur Lärmreduktion zu testen. Ein anschauliches Beispiel ist die Arbeit von Saunders (1995). In einem kleinen Experiment mit 24 Frühgeborenen untersuchte sie den Effekt, den eine Abdeckung des Inkubators auf den Schalldruckpegel im Inneren hat. Die Ergebnisse waren deutlich: Durch das Abdecken des Inkubators mit einer Decke sanken die gemessenen Geräuschpegel im Inneren signifikant (83). Da diese simple Maßnahme einen derart spürbaren Schutzeffekt erzielte, empfahl sie dies als kostengünstige Intervention (83).

Eine andere Studie aus Schweden zielte auf die Sensibilisierung des Personals ab. Durch ein Bildungsprogramm (inkl. Video, Demonstration typischer Dezibelwerte bei Pfl egetätigkeiten und Gruppendiskussion) sollten Pflegekräfte für Lärmquellen und leises Verhalten am Inkubator trainiert werden. In einem Vorher-nachher-Vergleich einer Säuglings-Intensivstation (52 Pflegekräfte einbezogen) zeigten sich signifikante Lärminderungen nach der Intervention, ohne jegliche bauliche Veränderung oder Anschaffung, allein durch Verhaltensänderung (84). Dies bewies, dass oft „weiche“ Faktoren wie Kommunikation und Achtsamkeit im Team große Wirkung haben können. Bereits durch Bewusstseinsbildung ließ sich der Geräuschpegel „erheblich senken“ (84). Ein weiterer wichtiger Aspekt war die Frage, ob gezielte Ruhephasen im Stationsablauf die Situation für die Säuglinge verbessern. Strauch und andere führten 1993 dazu ein quasi-experimentelles Konzept ein. In einer NICU wurde jeweils die letzte Stunde jeder Schicht als „Quiet Hour“ deklariert, in der Lärmquellen minimiert wurden (Licht dimmen, Gespräche nur flüsternd, keine nicht-dringlichen Tätigkeiten). Über mehrere Tage dokumentierte das Team sowohl die Schallpegel im Raum als auch den Verhaltenszustand der Frühgeborenen während der „Quiet Hour“ und verglich sie

mit Kontrollzeiten ohne Ruhephase. Die Resultate waren eindeutig. Während der „Quiet Hour“ sank der mittlere Geräuschpegel signifikant. Begleitend wurde eine deutliche Verbesserung des Schlafverhaltens der Babys beobachtet. Sie weinten konkret signifikant weniger und der Anteil der Säuglinge in ruhigem Schlaf stieg drastisch, von nur circa 34% in der Kontrollperiode auf über 84% während der „Quiet Hour“ (72). Diese beeindruckende Steigerung zeigt, dass durch Lärmreduktion viel mehr Frühgeborene in einen stabilen Schlaf finden konnten, anstatt unruhig oder weinend zu sein. Da stabiler Schlaf für Hirnreifung, Wachstum und Erholung essentiell ist, impliziert die Studie, dass solche Ruhephasen potentiell einen langfristig positiven Einfluss auf die Entwicklung haben. Strauch et al. betonten jedoch auch kritisch, dass der Erfolg solcher Maßnahmen stark von der Konsequenz und Kooperation des gesamten Personals abhängt. Nur wenn alle Berufsgruppen mitziehen, lässt sich eine Kultur der Stille etablieren (72). Dennoch lieferte diese Studie einen frühen Beleg dafür, dass organisatorische Änderungen im Klinikalltag messbare Verbesserungen für die Säuglinge bringen.

Parallel zu diesen Interventionsarbeiten wurden in den 1990er Jahren auch physiologische Studien durchgeführt, um die unmittelbaren Effekte von Lärm auf Frühgeborene zu quantifizieren. Viele waren Querschnittsbeobachtungen mit Messung von Vitalparametern vor, während und nach Lärmereignissen. Es zeigte sich konsistent, dass exzessiver Lärm akute Stressreaktionen bei den Frühchen auslöst. Mehrere Untersuchungen dokumentierten z.B., dass laute Geräusche zu Schwankungen in Herz- und Atemfrequenz führen können sowie zu Blutdruckanstieg oder -abfall und Sauerstoffsättigungs-Abfällen (85). Bremner und Kollegen fassten 2003 zahlreiche solcher Befunde zusammen. Bei Schalldruckpegeln über 70 dB reagieren instabile Frühgeborene oft mit Apnoen oder Bradykardien sowie allgemeiner motorischer Unruhe (77). Diese Effekte hängen teils vom aktuellen Zustand des Kindes ab (Schlaf-/Wachzustand, vorherige Schmerzbelastung etc.), treten aber besonders bei plötzlichen lauten Geräuschen auf. Gemma Brown (2009) weist in ihrem Review darauf hin, dass übermäßige auditive Stimulation im NICU-Kontext nahezu immer negative physiologische Antworten hervorruft. Sie beobachtete ebenfalls vermehrt Apnoen, schwankende Herz- und Atemraten sowie O<sub>2</sub>-Sättigungen, sobald die

Lärmbelastung steigt (85). Zudem stellte Brown fest, dass anhaltender Lärm das autonome Nervensystem der Frühgeborenen in einen Stressmodus versetzt, was sich z.B. in erhöhten Cortisolspiegeln, erhöhter motorischer Unruhe und schlechterer Sauerstoffverwertung äußern kann (85). Zwar ist die exakte Kausalität im Einzelnen schwierig zu belegen, da Frühgeborene oft multiplen Stressoren gleichzeitig ausgesetzt sind, jedoch lässt das Gesamtbild der Studien vor 2000 kaum daran zweifeln, dass Lärm ein bedeutsamer Stressfaktor ist.

Frühe Hinweise auf längerfristige Folgen zeigten sich ebenfalls. Frühgeborene, die wochenlang in lauten Umgebungen lagen, wiesen häufiger leichte Hörverlustschäden auf als vergleichbare Säuglinge in ruhigeren Umgebungen, wobei hier natürlich auch Faktoren wie ototoxische Medikamente und extreme Unreife mit hineinspielen. Eine oft zitierte AAP-Quelle bemerkte, dass sensorineurale Hörstörungen bei Frühgeborenen mit ca. 2–10% deutlich häufiger vorkommen als bei Termingeborenen mit circa 0,1%. Vermutlich ist dies multifaktoriell bedingt, Lärmexposition wird aber als ein mitverursachender Faktor diskutiert (86). Darüber hinaus gab es erste Anzeichen dafür, dass chronischer Stress durch Lärm die neurologische Entwicklung beeinträchtigen könnte. Blackburn etwa postulierte in ihrem Übersichtsartikel, dass die unruhige, laute Umgebung ein möglicher Mitgrund dafür sei, dass ehemalige Frühgeborene im Schulalter überproportional häufig Lern- und Verhaltensprobleme zeigen. Sie argumentierte, dass durch Verbesserung der Sinnes- und Entwicklungsumwelt (z.B. Reduktion von Lärm und grellem Licht, Förderung von Eltern-Kind-Kontakt) das neurologische Verhalten potentiell verbessert werden könne (87). Zwar basierten solche Aussagen Ende der 90er mehr auf Assoziationen als auf harten Längsschnittdaten, doch sie untermauerten das Konzept der „developmentally supportive care“, das inzwischen zum Standard geworden ist.

In den letzten zwei Jahrzehnten hat die Forschung diese Themen vertieft, oft mit moderneren Methoden und größeren Stichproben. Zudem kamen randomisiert-kontrollierte Studien (RCTs) hinzu, um bestimmte Interventionen zu testen. Ein wichtiger Fortschritt ist, dass neuere Studien differenzierter zwischen Hintergrundpegel und Spitzenlärm unterscheiden und auch die Frequenzzusammensetzung analysieren. So berichteten beispielsweise Smith

2018 in einer detaillierten Lärmanalyse, dass heutige NICUs im Durchschnitt etwas leiser sind als vor 30 Jahren (häufig mittlere Pegel in den 50er dB(A)), aber kurzfristige Geräuschspitzen bis über 100 dB(A) nach wie vor auftreten und das Hauptrisiko darstellen (39). Viele moderne NICUs setzen auf bauliche Konzepte wie Einzelzimmer, schallabsorbierende Decken und Alarm-Management-Systeme, was die Dauerlärmbelastung senken konnte. Allerdings blieb das Problem der kurzen lauten Events bestehen, selbst in vorbildlich leisen Einheiten kann ein herunterfallendes Metalltablett oder ein lauter Monitoralarm die Stille schlagartig unterbrechen und ein Frühgeborenes aus dem Schlaf reißen. Neuere Studien bestätigen die früheren physiologischen Erkenntnisse: Lärm induziert bei Frühgeborenen akute Stressreaktionen in allen wichtigen Systemen. So fand z.B. Wachman und Lahav 2011, dass Phasen mit hohen Schallpegeln in der NICU eng verbunden waren mit Instabilitäten der Herz- und Atmungsparameter bei den Säuglingen (vermehrte Apnoen und Bradykardien während lauter Perioden) (88).

Bei anhaltendem Lärm über der empfohlenen Grenze von 45 dB(A) wurden bei Frühgeborenen ausgeprägte autonome Stressreaktionen beobachtet. Es kam zum Anstieg der Herzfrequenz und des Blutdrucks und zu einer Abnahme der peripheren Sauerstoffsättigung (89–91). Cortisolmessungen untermauern dies. Erhöhte Umgebungslärmpegel können den Stresshormonspiegel ansteigen lassen, was theoretisch negative Folgen für Immunsystem und Wachstum hat (77). Die klinische Bedeutung solcher kurzzeitigen Schwankungen wurde in größeren Kohortenstudien hinterfragt. Ein zentrales Anliegen war dabei, ob hohe Lärmexposition z.B. das Risiko für schwere Komplikationen wie intraventrikuläre Hirnblutungen (IVH) oder nekrotisierende Enterokolitis erhöht. Bisher gibt es keinen eindeutigen Beweis, dass Lärm alleine solche Komplikationen verursacht. Die meisten Forscher vermuten einen indirekten Effekt von Lärm. Lärm führe zu einem gestörten Schlaf, was wiederum Stress verursacht. Stress sorgt insgesamt für eine instabilere Physiologie, was das Risiko für Komplikationen erhöht.

So untersuchte eine Studie mit einhundert beatmeten Frühgeborenen den Einfluss von Lärm in der NICU auf das Hörsystem und die Intelligenzentwicklung. Es zeigte sich, dass hoher Lärm in der NICU mit leichtem Hörverlust, verzögerter Intelligenzentwicklung und erhöhter Inzidenz von Hirnverletzungen

(periventrikulären/intraventrikulären Blutungen, periventrikulärer Leukomalazie) verbunden ist. Der Einsatz von Gehörschutz verringerte diese Risiken signifikant (92).

Besonders viel Aufmerksamkeit erhielt nach 2000 das Thema Schlaf und neurologische Reifung. Es wurde klar, dass ununterbrochener, tiefer Schlaf für Frühgeborene enorm wichtig ist, da im Schlaf das Gehirn reift, Wachstumshormone ausgeschüttet und Eindrücke verarbeitet werden. Lärm stört jedoch genau diesen Schlaf-Wach-Rhythmus. Bertelle und andere dokumentierten 2005 beispielsweise via EEG, dass spontane laute Geräusche in der NICU zu abrupten Weckreaktionen bei Frühgeborenen führen und die für die Hirnreifung wichtigen Schlafstadien fragmentieren (93). Infolge solcher Erkenntnisse begannen viele Kliniken, strukturierte „Quiet Times“ oder Nachtphasen einzuführen, um zumindest einige Stunden pro Tag möglichst geräuscharm zu gestalten. Eine Vorher-Nachher-Studie zeigte, dass die Einführung von zwei täglichen Ruhezeiten à 2 Stunden die Gesamt-Schlafdauer der Frühgeborenen signifikant verlängerte und der Stressindikatoren Cortisol im Speichel abnahmen (94). Gleichzeitig berichteten die Eltern in solchen Settings, dass ihre Babys ruhiger und weniger schreckhaft wirkten. Um den langfristigen Effekt von gezielter Lärmreduktion zu prüfen, wurden mehrere kontrollierte Studien initiiert. Eine Übersichtsarbeit suchte weltweit nach RCTs, in denen Maßnahmen zur Lärmreduktion in der NICU getestet wurden (86). Überraschenderweise fand sich nur eine einzige hochwertige RCT, die die Einschlusskriterien erfüllte, was auch ein Indiz darstellt, wie herausfordernd solche Studien sind. In dieser kleinen Studie (n=34) wurden Frühgeborene (jünger als 32 Wochen) entweder mit Silikon-Ohrstöpseln versorgt oder verblieben ohne Gehörschutz, um den Einfluss auf Wachstum und Entwicklung zu überprüfen (86). Im kurz- und mittelfristigen Wachstum zeigten sich keine signifikanten Unterschiede, die Gewichtszunahme bis zur 38. Woche war vergleichbar (86). In der Nachuntersuchung im Alter von 18-22 Monaten fand sich dann allerdings ein interessantes Ergebnis. Im Bayley-Test (Mental Development Index) schnitten Frühgeborene, die mit Ohrstöpseln versorgt wurden im Durchschnitt etwas besser ab, mit circa 14 Punkten höher, als die Kontrollgruppe ohne Gehörschutz (86). Dies deutet auf einen möglichen kognitiven Entwicklungsvorteil durch die Lärmreduktion hin. Die Autoren mahnen

jedoch zur Vorsicht, da angesichts der sehr kleinen Fallzahl von nur 14 Kinder pro Gruppe das Ergebnis nur Zufall sein könnte und es Bestätigung in größeren Studien bedarf. Für die Autoren dieses Reviews ist die Evidenz noch zu unzureichend, um routinemäßig Gehörschutz oder ähnliche Maßnahmen zu empfehlen, wenngleich kein negativer Effekt beobachtet wurde und möglicherweise der Nutzen für die neurologische Entwicklung bestehe. Die Autoren regen zu weiteren RCTs an, vor allem zur Evaluierung von baulichen Maßnahmen (Einzelzimmer vs. Großraumbereich) oder innovativen Alarmreduktionstechniken (86).

Nach 2000 gab es neben derartigen Kontrollstudien auch vermehrt Qualitätsverbesserungsprojekte in Kliniken. Ein Beispiel dafür ist die „*culture of silence*“, die in einem NICU-Team etabliert wurde (77). Durch die Kombination von Mitarbeiterschulungen, Lärmanzeigen auf Monitoren und regelmäßigem Feedback konnte der mittlere Geräuschpegel in einer Level-IV-NICU um etwa 5-6 dB gesenkt werden (95). Balci et al. (2021) testeten den Einsatz eines Lärmdosimeters mit akustischem und visuellem Alarm in einem türkischen Perinatalzentrum. In einem Zimmer war eine sogenannte „Lärm-Ampel“ gut sichtbar im Raum installiert. Diese Ampel warnte bei Lärmpegeln über >45 dB mit optischen und akustischen Signalen, wohingegen ein vergleichbarer Kontrollraum nur mit verdeckten Messungen ausgestattet war. Über zwei Wochen zeigte sich, dass der durchschnittliche Lärmpegel im Interventionszimmer signifikant niedriger als im Kontrollzimmer war. Besonders unter der Woche und tagsüber zeigte sich anfangs ein deutlicher Unterscheid (95). Interessanterweise glich sich dieser Effekt nach Woche 2 etwas an und es fand sich kein signifikanter Unterschied mehr zwischen den Zimmern an einigen Tagen (95). Vermutlich nutzte sich der Kontroll-Effekt, von den Author\*innen „Lärmsheriff“-Effekt genannt, mit der Zeit ab. Mithilfe dieser Studie konnte nachgewiesen werden, dass technische Hilfsmittel unterstützend bei der Bewusstseinsförderung für leisere Verhaltensweisen beim Personal eingesetzt werden können, wenn auch eine nachhaltige Änderung weiterhin ständiger Schulung bedarf.

Zusammengenommen belegen die empirischen Studien nachweisbar, dass die NICU-Lärmbelastung ein relevantes Problem darstellt und vielfältige negative

Auswirkungen auf die hochsensible Patientengruppe hat. Frühere Arbeiten bis 2000 haben vor allem den Zusammenhang von Lärm mit akuten Stressreaktionen (Apnoe, Bradykardie, Unruhe) und Schlafstörungen gezeigt (77,85). Diese Studien litten teils unter kleinen Fallzahlen und Designs ohne Kontrollgruppe, erlaubten aber durch Übereinstimmung der Befunde ein schlüssiges Gesamtbild. Die Maßnahmen, die aus diesen frühen Studien abgeleitet wurden, z.B. die Abdeckung von Inkubatoren, die Etablierung einer „Quiet Time“ und Personalaufklärung, wurden in vielen Kliniken implementiert und nach 2000 weiter evaluiert.

Neuere Studien bestätigten die Wirksamkeit einfacher Interventionen (z.B. Reduktion lauter Tätigkeiten, bauliche Dämpfung) in Bezug auf die Schallpegel, und rückten zugleich die Langzeitfolgen in den Fokus. Hier zeigt sich ein differenziertes Bild. Einerseits konnten direkte Verknüpfungen von Lärm zu bestimmten medizinischen Komplikationen (etwa Hirnblutungen) bisher nicht eindeutig nachgewiesen werden, da die Pathogenese solcher Probleme multikausal ist und Lärm allein schwer isolierbar ist. Andererseits mehren sich Hinweise, dass eine chronisch laute Umgebung subtile Entwicklungsnachteile mit sich bringen kann, insbesondere was Sprachentwicklung und Kognition betrifft (74,86). Diese Effekte treten womöglich erst lange nach der Entlassung zutage, was die Forschung erschwert. Theoretische Modelle, wie das von Lahav & Skoe, liefern aber plausible Mechanismen, etwa, dass Dauerlärm die Reifung auditorischer Filtermechanismen beeinträchtigt (74). Vielen dieser Studien, vor allem den älteren, ist jedoch methodisch kritisch anzumerken ist, dass sie störende Faktoren nicht immer ausschließen konnten. Frühgeborene mit hoher Lärmexposition waren z.B. häufig die instabilsten Kinder, was mehr Alarme bedeutete, die wiederum zu mehr Interventionen führte, was aber auch wieder mehr Lärm im Generellen bedeutete, wodurch Ursache und Wirkung verschwammen. Eine randomisierte Zuteilung zu „leiser“ versus „normal“ lauter Umgebung ist ethisch und logistisch kaum machbar, sodass man oft auf Vorher-nachher-Vergleiche angewiesen war. Neuere Ansätze wie der Vergleich von Stationen mit unterschiedlichem architektonischem Konzept oder der Einsatz von Gehörschutz bieten hier neue Möglichkeiten, bleiben aber bislang selten. Zudem ist Lärm oft eng mit anderen Stressoren, wie Licht, schmerzhaften Prozeduren,

Trennung von den Eltern, etc..., verknüpft, was die isolierte Wirkung schwer quantifizierbar macht. Trotz dieser Limitierungen besteht ein breiter Konsens in der Literatur, dass Lärmreduktion Teil der entwicklungsfördernden Versorgung sein muss, zumal die potenziellen Vorteile die Risiken bei weitem überwiegen. Entsprechend fordern Experten, Lärm regelmäßig zu monitorisieren und als wichtiges Merkmal der Stationsumgebung zu betrachten (77). Die vorliegenden Studien, ob nun Querschnitt, Längsschnitt oder RCT, zeigen übereinstimmend, dass eine leisere Umgebung mit besseren unmittelbaren physiologischen Stabilitätsparametern einhergeht (85,95). Indirekt wird dadurch der Grundstein für bessere Ergebnisse gelegt, denn ein Kind, das ungestört schlafen kann und weniger Stress hat, dürfte bessere Voraussetzungen für Hirnwachstum und Organreifung haben (77,85). Einige klinische Folgestudien zum Wachstum und zur neurologischen Entwicklung deuten Nutzen an, sind aber noch nicht umfassend genug, um alle offenen Fragen zu beantworten (86).

So bleibt als kritische Würdigung festzuhalten, dass der Schutzeffekt von Lärmreduktion biologisch plausibel und durch Marker, wie Schlaf und Stressparameter belegt ist. Signifikante Verbesserungen, etwa Reduktion von körperlicher oder geistiger Einschränkung, ist schwer nachzuweisen, insbesondere wegen der komplexen Studienlage und der nötigen Fallzahlen. Nichtsdestotrotz hat die Gesamtheit der vorliegenden empirischen Evidenz bereits zu konkreten Handlungsempfehlungen geführt. Leisere NICUs gelten heute als Qualitätsmerkmal. Westliche Länder wie die USA, Deutschland, das Vereinigte Königreich und die skandinavischen Länder integrieren Lärmprävention in ihre Neonatologie-Leitlinien.

### 3.3 Lärmbelastung auf pädiatrischen Intensivstationen (PICU)

Die pädiatrische Intensivstation (PICU) ist eine hoch technologisierte, personal- und materialintensive Abteilung, in der schwer kranke Kinder rund um die Uhr überwacht und behandelt werden. Seit den frühen 1970er-Jahren weisen Studien darauf hin, dass dieser Versorgungsbereich eine kontinuierlich stark erhöhte akustische Exposition aufweist, welche sowohl die jungen Patient\*innen als auch das betreuende Personal in mehrfacher Hinsicht belastet. Das vorliegende Kapitel ordnet die Evidenz chronologisch und thematisch, bewertet die physiologischen, psychologischen sowie organisatorischen Konsequenzen der Lärmbelastung und diskutiert bisher erprobte Interventionsstrategien sowie verbleibende Forschungslücken.

Schon die Pioniermessungen von Falk und Woods belegten 1973, dass auf Intensivstationen ein Grundrauschen von 60 bis 75 dB(A) herrscht, das durch plötzliche, hochfrequente Peaks zusätzlich überlagert wird (60). Obwohl sich erwachsene Patient\*innen an ein solches Hintergrundgeräusch gewöhnen können, lösen die abrupten Spitzen nachweislich Stressreaktionen aus, die potenziell zur Entwicklung eines Delirs beitragen. Bentley, Murphy und Dudley ermittelten 1977 auf einer chirurgischen Erwachsenenstation, in einem Einbettzimmer und in einem Intensivtherapie-Bereich dauerhaft überschrittene Grenzwerte mit regelhaften Spitzen über 70 dB(A) und identifizierten medizinische Geräte sowie Personalkommunikation als Hauptquellen (96). Diese frühen Befunde motivierten erste Empfehlungen für bauliche Dämpfung, sowie Verhaltensänderungen, wurden jedoch lange Zeit nicht systematisch umgesetzt.

In den 1980er-Jahren rückten die pathophysiologischen Folgen verstärkt in den Vordergrund. Baker prägte 1984 den Begriff der „sensory overload“ und beschrieb unwillkürliche Stressantworten, darunter Adrenalinausschüttung, Blutdruckanstieg und Muskelspannung, die bei Patientinnen und Patienten durch den Stationslärm ausgelöst werden (97). Hilton dokumentierte 1985, dass in Akutpflegebereichen, einschließlich Intensivstationen, über 24 Stunden Pegel über 70 dB(A) mit einer Dauer von bis zu 15 Minuten auftreten (98). Gleichzeitig zeigte Topf 1989 an US-

amerikanischen Intensivpflegekräften, dass konstante Lärmexposition mit Reizbarkeit, emotionaler Erschöpfung und Burnout-Symptomen einhergeht (64).

Gegen Ende der 1990er lag der Fokus erstmals explizit auf Kindern. Corser verglich 1996 den Schlaf von zwölf ein- bis zweijährigen PICU-Patientinnen und -Patienten über eine Nacht mit deren Schlafprofilen vor Erkrankung und nach Entlassung (99). Die Kleinkinder schliefen signifikant weniger, wiesen auffallend häufige Aufwachreaktionen auf und unterbrachen nahezu alle REM-Phasen. Insbesondere Lärm, Licht und pflegerische Handlungen korrelierten negativ mit Schlafqualität und Schlafkontinuität. Cureton-Lane und Fontaine bestätigten 1997 in einer Beobachtungsnacht bei neun kritisch kranken Kindern, dass durchschnittlich nur 4,7 Stunden Schlaf erreicht wurden, unterbrochen von fast zehn Erwachereignissen. Geräuschspitzen von 90 dB(A) standen hierbei als signifikanter Prädiktor für die Unterbrechungen fest (100). Damit war bereits vor der Jahrtausendwende klar, dass pädiatrische Intensivstationen Pegel von 50 bis 80 dB(A) mit Spitzen über 80 dB(A) aufweisen und solche Expositionen Schlafstörungen, Stressreaktionen und potenzielle Entwicklungsrisiken verursachen.

Mit dem Beginn des neuen Jahrtausends differenzierte sich die Forschung. Messmethoden wurden verfeinert und Ergebnisparameter erweitert. Morrison et al. erfassten 2003 simultan Schallpegel und Stressmarker des Pflegepersonals und fanden eine signifikante Korrelation zwischen laueren Phasen, Herzfrequenzanstieg sowie subjektivem Ärger (101). Parallel untersuchten Milette und Carnevale ein kanadisches Ruhezeiten-Programm, das moderate Pegelabsenkungen und verbesserte kindliche Schlafmuster brachte, jedoch an der Persistenz technischer Alarme scheiterte. (102). Bailey und Timmons maßen 2005 in einem britischen Sieben-Betten-PICU Lärmpegel, die regelmäßig WHO-Empfehlungen überschritten und bei Vollbelegung der Stationen deutlich anstiegen. Die Hauptquellen waren Personalkonversationen am Bett, gefolgt von Geräten, Pfl egetätigkeiten und Transportgeräuschen (37). Eine brasilianische Untersuchung untermauerte 2005 die Globalität des Problems. Carvalho et al. registrierten in einem Zehn-Betten-PICU ein Basisrauschen von 60 bis 70 dB(A) und Spitzen bis 120 dB(A) (103). Auch hier lagen die Werte tagsüber höher als die

nachts, ohne Einhaltung der Grenzwerte. Die Autor\*innen forderten Personalaufklärung über die audiologischen und endokrinen Risiken des Lärms als zentrale Präventionsstrategie.

Watson et al. lenkten 2015 erneut die Aufmerksamkeit auf das Personal, indem sie Herzfrequenzmessungen mit gleichzeitigem Schallmonitoring verknüpften (63). Ein Durchschnittspegel von 71,9 dB(A) korrelierte mit einer mittleren Herzfrequenz von 85 Schlägen pro Minute. Lautere Bettplätze und bestimmte Tätigkeiten steigerten die physiologische Belastung ohne unmittelbar steigendes subjektives Stressrating. Während Personalgespräche, pflegerische Aktivitäten und Teamkommunikation als Hauptquellen bestätigt wurden, zeigte sich, dass Alarmtöne quantitativ besonders bedeutsam sind. Dies wurde 2016 durch Kaur et al. Gestützt. Sowohl Familien als auch Mitarbeitende nannten Alarme als relevanteste Lärmquelle und befürworteten strukturelle Gegenmaßnahmen wie geschlossene Zimmertüren und feste Ruhezeiten (104). Kramer et al. belegten 2016 durch Umfragen an 50 Familien über 251 Patientenaufnahmen und an 65 Angestellten, dass medizinische Alarme subjektiv als am störendsten wahrgenommen werden. Geräusche von medizinischem Gerät folgten. Die Einschätzung deckte sich zwischen Patienten und Angestellten. In der gleichen Studie bestätigte der Großteil der Befragten, dass simple Methoden wie Türen schließen (93% der Befragten) und festgelegte Ruhezeiten (82% der Befragten) als effektive Gegenmaßnahmen dienen können (105). Ähnliches bestätigte eine kolumbianische Studie, die Mittelwerte von 57 bis 66 dB mit Tagesspitzen bis 79 dB registrierte. Auch hier übertraf der Lärm die WHO-Grenze von 35 dB(A) deutlich (106).

Der Zusammenhang zwischen akustischer Belastung und Medikation rückte 2017 in den Fokus. García Guerra et al. wiesen in einer kanadischen Pediatric Cardiac ICU nach, dass sowohl hohe Dauerpegel als auch Spitzenwerte die Wahrscheinlichkeit zusätzlicher Sedativgaben in den folgenden Stunden signifikant erhöhten (107). Offen gestaltete Mehrbett- oder Einzelzimmerstruktur änderte daran nichts, da Alarmtöne und Personalbewegungen die Hintergrundexposition dominierten. Heard und andere konnten 2018 zwar keinen unmittelbaren „Trigger“-Effekt von Geräuschspitzen auf Sedierungsboli

nachweisen, betonten jedoch das generelle Problem eines nächtlichen Durchschnittslärms von etwa 60 dB(A) (108).

Ein Meilenstein stellt das Qualitätsprojekt von Kawai et al. aus dem Jahr 2019 dar, das ein „Pediatric Delirium Bundle“ mit gezielter Lärminderung implementierte (109). In über 20.000 Stunden Messzeit sank der nächtliche Medianpegel in Interventionszimmern auf circa 45 dB(A), während die Kontrollzimmer bei 51 dB(A) verblieben. Parallel registrierten die Autorinnen eine Reduktion der Delir-Scores, was die Hypothese stützt, dass gebündelte Umweltmaßnahmen das Risiko deliranter Episoden mindern (109). Greenfield et al. lieferten 2020 ein ähnlich breites Bild. In 602 Patiententagen lag der 24-h-Medianpegel bei 60 dB(A) mit kaum ausgeprägter nächtlicher Absenkung. 35% der Kinder erlebten stündlich Spitzen über 80 dB(A) zwischen 22:00 Uhr abends und 6:00 Uhr morgens (110). Interessanterweise ergab sich zwischen neu erbauten und älteren Zimmern kein signifikanter Unterschied, was die Allgegenwart mobiler Geräuschquellen betont. Die Autorinnen verwiesen auf potenzielle Störungen des zirkadianen Rhythmus und der Melatoninsekretion durch konstante Schall- und Lichtbelastung.

Die Studienlage beschreibt ein klares Bild über Lärmbelastung auf PICUs. Akutfolgen der Lärmexposition sind Schlafentzug, Fragmentierung der REM-Phasen, Anstieg von Herzfrequenz und Blutdruck, gesteigerte Cortisol-Freisetzung sowie vermehrter Sedativbedarf. Langfristige Effekte auf die neurokognitive Entwicklung sind wahrscheinlich, aber noch nicht abschließend belegt. Studien legen nahe, dass chronischer Lärm die Genesungsdauer verlängert und die Gefahr psychischer Folgeprobleme, darunter Angst- und Aufmerksamkeitsstörungen, erhöht. Das Pflegepersonal leidet zeitgleich unter akutem Konzentrationsverlust, erhöhter Fehleranfälligkeit und chronischer Fatigue. Interventionsstudien zeigen, dass Lärmreduktion möglich und klinisch relevant ist. Durch bauliche Lösungen, wie schallabsorbierende Materialien, gekoppelt mit verhaltensbezogenen Maßnahmen, wie zeitlich definierte Ruhephasen, Schulungen zur leisen Kommunikation und optimiertes Alarmmanagement, können die Pegel signifikant gesenkt werden. Schon moderate Absenkungen verbessern nachweislich die Schlafqualität und reduzieren die Delir-Raten. Technologische Ansätze wie Alarmweiterleitung auf Pager oder visuelle

Alarmanzeigen senken die akustische Last, bedürfen jedoch einer konsequenten Einbettung in die Arbeitsabläufe und einer laufenden Evaluation. Der entscheidende Erfolgsfaktor liegt in einer kulturellen Verankerung des Lärmmanagements. Ohne kontinuierliche Schulung und Rückmeldung flachen die Effekte rasch ab.

Trotz zahlreicher Einzelarbeiten bleibt die Evidenz begrenzt, wenn es um randomisiert kontrollierte Designs, multizentrische Studien und langfristige Effekte geht. Viele Projekte weisen geringe Fallzahlen und kurze Beobachtungsfenster auf, was die Übertragbarkeit einschränkt. Störende Faktoren wie Krankheitsgrad, Pflegedichte und bauliche Unterschiede machen Kausalzuordnungen komplex. Dennoch zeigt die Gesamtheit der Studien konsistent, dass PICU-Lärm weit über empfohlenen Richtwerten liegt und messbare negative Folgen hat. Lärminderung ist daher kein Komfortthema, sondern ein essenzielles Element entwicklungsfördernder und sicherer Intensivversorgung für Kinder. Aus klinischer Sicht sollte Lärm künftig als „viertes Vitalzeichen“ routinemäßig gemessen und in Qualitätsindikatoren integriert werden. Ein multimodales Bündel aus baulicher Akustikoptimierung, technisch intelligentem Alarmfilter, verbindlichen Ruhezeiten und personeller Schulung erscheint am erfolgversprechendsten. Außerdem bedarf es weiterer Forschung mit ausreichend großen Kohorten, um die Zusammenhänge zwischen chronischer Lärmexposition und langfristigen neurologischen Effekten valide zu quantifizieren. Erst eine solche evidenzbasierte Fundierung wird die nötige Handlungsverbindlichkeit schaffen, um den gegenwärtigen Abstand zwischen Norm und Realität dauerhaft zu schließen und die Genesungsbedingungen junger Intensivpatientinnen und -patienten nachhaltig zu verbessern.

### **3.4 Lärm im pädiatrischen Operationssaal (OR)**

Der Operationssaal gehört traditionell zu den lautesten Bereichen des Krankenhauses. Selbst in Routineeingriffen werden durchschnittliche Pegel von 60 bis 70 dB(A) gemessen, Spitzenwerte erreichen regelmäßig 80 bis 90 dB(A) und können in orthopädischen oder neurochirurgischen Phasen kurzzeitig sogar deutlich über 100 dB(A) liegen (111,112). Damit überschreitet die akustische

Belastung die in Leitlinien propagierten Zielwerte beträchtlich und etabliert sich als eigenständiger Stressor, der sowohl das perioperative Erleben der Kinder als auch die Leistungsfähigkeit des interprofessionellen Teams beeinträchtigen kann.

Frühe experimentelle Evidenz stammt aus einem indischen Schalllabor, in dem Assistenzärzt\*innen der Anästhesie standardisierte Kognitionstests zunächst in Stille und anschließend bei 77 dB(A) absolvierten. Die Leistung im Verbindungstest und Kurzzeitgedächtnistest verschlechterte sich signifikant, was auf eine unmittelbare kognitive Dämpfung durch Lärm hinweist (113). Dieses Ergebnis erhält besonderes Gewicht, weil die Studienteilnehmenden nur simulativ belastet wurden. Im realen OP-Kontext addieren sich komplexe Handlungsanforderungen, Zeitdruck und potenziell lebensbedrohliche Konsequenzen von Aufmerksamkeitsfehlern.

Auch aus Patientensicht sind hohe Geräuschpegel ein relevanter Stressor. Eine Beobachtungsstudie aus Singapur befragte hundert Erwachsene nach realen Eingriffen zu ihren Lärmerfahrungen und stellte fest, dass bereits während der Narkoseeinleitung mittlere Werte um 70 dB(A) erreicht wurden. Ein Drittel der Befragten empfand diese Situation als laut, und 16 Patient\*innen berichteten von unmittelbarem Stress oder Unbehagen, mehr als die Hälfte (52 Befragte) hätte sich eine ruhigere Umgebung gewünscht (114). Obwohl dieses Kollektiv nicht pädiatrisch war, verdeutlicht es die subjektive Belastbarkeit der Messergebnisse und ermöglicht Analogieschlüsse auf noch sensiblere kindliche Patient\*innen. Eine dänische Querschnittsuntersuchung vertiefte den Blick auf patientenseitige Vulnerabilität und zeigte, dass zehn Prozent von 120 orthopädisch Operierten den intraoperativen Lärm als „sehr hoch“ schilderten, obwohl objektiv gemessene Pegel nur moderat erhöht waren (115). Besonders beeinträchtigt zeigten sich Notfallpatienten und Personen mit geringem Kohärenzgefühl, was unterstreicht, dass Lärm nicht rein physikalisch wirkt, sondern durch kognitive Bewertung moduliert wird.

Über die akute Stressreaktion hinaus rückt die Frage postoperativer Komplikationen in den Mittelpunkt. Eine prospektive Schweizer Beobachtungsstudie verknüpfte intraoperative Pegel mit der Rate chirurgischer Wundinfektionen. Von 35 elektiven Bauchoperationen entwickelten sechs

Patient\*innen innerhalb von 30 Tagen eine Infektion. Diese Gruppe war während der Operation signifikant höheren Medianwerten (43,5 dB vs. 25 dB) und mehr Geräuschspitzen ausgesetzt als die komplikationsfreie Kohorte (10,7 dB vs. 0,6 dB) (62). Obwohl kausale Schlüsse bei kleiner Fallzahl vorsichtig bleiben müssen, deutet das Ergebnis darauf hin, dass Lärm als indirekter Marker für operative Unruhe, gestörte Kommunikation oder erhöhte Stresshormonspiegel wirken und so die aseptische Genauigkeit beeinflussen könnte.

Welche Folgen lassen sich also speziell bei Kindern dokumentieren? Eine kontrollierte Interventionsstudie aus Hannover implementierte ein Noise-Reduction-Programm in 156 kinderchirurgischen Eingriffen. Teamschulungen, verbindliche Verhaltensregeln und ein visuelles Lärmalarm-System senkten den mittleren Dauerschallpegel von 63 auf 59 dB(A) und reduzierten Geräuschspitzen über 70 dB um etwa 60 Ereignisse pro Stunde. Parallel halbierte sich die postoperative Komplikationsrate von 34,5 auf 17,9 Prozent (68). Ergänzend berichteten Operateur\*innen mit hoher Lärmsensitivität über bessere Wahrnehmung der Teamkommunikation und weniger Ablenkung, während biometrisch gemessene Stressparameter Tendenzen zu niedrigerem Cortisolanstieg aufzeigten. Weitere Evidenz liefert eine irische Beobachtungsstudie, die 49 pädiatrische Operationen in drei Phasen analysierte. Kontinuierliche Mittelwerte von 60 bis 63 dB(A) wurden in allen Phasen (vor der Verabreichung der Narkose, während der Verabreichung, und nach der Verabreichung) gemessen, während Maximalwerte bis 90 dB(A) reichten. Überraschenderweise war nicht die Einleitungs-, sondern die Erhaltungsphase am lautesten, und in nahezu der Hälfte der Fälle gab es unnötige Gespräche während der Narkoseeinleitung, obwohl bereits acht Personen im Saal anwesend waren (116).

Das verdeutlicht die Rolle der menschlichen Komponente: Selbst ohne technische Spitzen können verbale Tätigkeiten das akustische Klima erheblich verschlechtern. Randomisiert-kontrollierte Studien prüfen inzwischen gezielte Gegenmaßnahmen. Eine türkische Arbeit verteilte 105 Kinder auf drei Gruppen: Standardlärm, passive Ohrstöpsel oder Musik über Kopfhörer (117). Die Gruppe mit Ohrstöpseln zeigte intra- und postoperativ mehrfach signifikant niedrigere

mittlere Blutdruckwerte, was auf eine abgeschwächte Stressreaktion schließen lässt, während Herzfrequenzen und postoperative Delir-Scores gleichblieben. Ein Nutzen der musikalischen Ablenkung zeichnete sich nicht ab. Noch einen Schritt weiter ging eine US-Studie, die den gesamten Umgebungsfaktor adressierte. In einem randomisierten Design wurden 64 Vorschulkinder entweder in einem bewusst lärmreduzierten Setting operiert mit gedämpftem Licht, stummgeschaltetem Pager und mit geringst notwendigen Personal, oder unter Standardbedingungen (118). Während intraoperative Angst und direkte postoperative Parameter gleichblieben, zeigten Elternbefragungen am ersten und fünften Tag signifikant weniger Verhaltensauffälligkeiten in der Interventionsgruppe. Das Ergebnis legt nahe, dass ein ruhiges operatives Umfeld über die unmittelbare Phase hinaus das Erholungsverhalten verbessern kann. Qualitätsinitiativen in den USA ergänzen diese Einzelstudien. Mehrere Instrumente wurden in einer Studie von Crockett und anderen 2022 getestet. Die Instrumente beinhalteten Schulungen für perioperative Angestellte, Musikabschaltung durch die OP Schwester, und die Nutzung einer hör- und sichtbaren Alarmanzeige für zu hohen Lärm. Während der Initiative wurde eine signifikante Verringerung des Lärms um mehr als 4,5 dB gemessen (119). Obgleich beide Projekte keine klinischen Endpunkte erfassten, illustrieren sie, dass kulturelle Veränderung und einfache technische Hilfsmittel das akustische Geschehen nachhaltig beeinflussen können.

Die Perspektive des Personals wird durch eine kanadische Interventionsstudie erhellt. Nach multidisziplinärer Schulung sank die durchschnittliche Lautstärke während 100 Narkoseeinleitungen von 66 auf 63,5 dB(A). Gleichzeitig berichteten Anästhesist\*innen über deutlich weniger Ablenkung und höhere Arbeitszufriedenheit (120). Diese Befunde sind insofern bedeutsam, als Konzentrationsminderung und kommunikative Fehlleistungen unmittelbare Risiken für die kindliche Patientensicherheit darstellen. Eine niederländische systematische Übersichtsarbeit untersuchte 22 Studien mit insgesamt rund 3500 Teilnehmenden und fand in drei von vier hochwertigen Untersuchungen eine signifikante Verringerung der Komplikationsrate nach Lärmreduktion. 6 Studien befragten 1383 Angestellte. Über die Hälfte der befragten OP-Beschäftigten stufte das routinemäßige Lärmniveau als stressauslösend ein. Kommunikative

Beeinträchtigung wurde häufig erwähnt (121). Interessanterweise bewerteten viele Chirurg\*innen und Anästhesist\*innen selbstgewählte Musik trotz objektiver Pegelsteigerung positiv, was einen Zielkonflikt zwischen subjektivem Wohlbefinden und objektiver Geräuschklast aufzeigt.

Extrempegel bleiben eine besondere Herausforderung. Kracht et al. dokumentierten, dass bei orthopädischen und neurochirurgischen Eingriffen bis zu 40 Prozent der Zeit Pegel > 100 dB(A) auftreten, während Braz et al. bereits 2006 einen Zusammenhang zwischen übermäßigem Lärm und perioperativen Zwischenfällen feststellten (111,112). Solche Impulse gefährden nicht nur das Gehör des Personals, sondern könnten auch bei Kindern mit oberflächlicher Analgesie Stressreaktionen oder Bewegungen auslösen, die die Sicherheit beeinträchtigen.

Im Gesamtbild zeigt sich daher, dass Lärm im kinderchirurgischen OP keineswegs ein Randproblem ist, sondern multiple Pfade nachteilig beeinflusst. Von der kognitiven Leistungsfähigkeit des Teams über die Infektions- und Komplikationsrate bis hin zum postoperativen Verhalten der jungen Patient\*innen. Empirische Studien belegen, dass selbst moderate Pegelabsenkungen von nur drei Dezibel klinisch relevante Verbesserungen bringen können. Dabei haben sich kombinierte Strategien als besonders wirksam erwiesen. Technische Lösungen wie Lärmampeln, Alarm-Filter oder Ohrstöpsel entfalten ihre volle Wirkung erst, wenn sie durch verbindliche Verhaltensregeln, Team-Schulungen und eine Kultur des leisen Arbeitens, etwa definierten Ruhephasen während Einleitung und Emergenz, ergänzt werden. Trotz dieser Fortschritte bestehen Forschungslücken. Viele Studien weisen kleine Fallzahlen und heterogene Messprotokolle auf, was die Vergleichbarkeit einschränkt. Randomisierte Designs sind selten. Langzeitdaten zu neurokognitiven Effekten fehlen nahezu vollständig. Künftige Arbeiten sollten multizentrisch angelegt sein, standardisierte Lärmmessungen nutzen und patientenrelevante Endpunkte wie postoperative Schmerzintensität, Delir-Inzidenz und Verhaltensauffälligkeiten systematisch erfassen. Darüber hinaus erscheint eine ökonomische Bewertung sinnvoll, um den potenziellen Return on Investment von Schallschutzmaßnahmen, etwa geringere Komplikations- und Infektionskosten, sichtbar zu machen. Nicht zuletzt bedarf es

einer strukturellen Verankerung des Lärmmanagements in Leitlinien und Akkreditierungssystemen. Ähnlich wie Checklisten die chirurgische Sicherheit revolutionierten, könnte ein verbindliches „Noise Bundle“, das aus baulicher Akustikoptimierung, digitalen Alarmpriorisierungen und klaren Teamritualen besteht, den pädiatrischen Operationssaal zu einem nachweisbar ruhigeren und damit sichereren Ort machen. Kliniken, die solche Konzepte bereits umgesetzt haben, berichten von höherer Teamzufriedenheit und nachhaltig gesenkten Geräuschpegeln. Angesichts der konsistenten Evidenz ist es daher an der Zeit, die Geräuschkulisse als modifizierbaren Risikofaktor konsequent in das Qualitäts- und Risikomanagement der Kinderchirurgie zu integrieren, um das perioperative Erlebnis und die Genesungschancen der jüngsten Patient\*innen nachhaltig zu verbessern.

#### **4. Auswirkung von Lärm auf personelle Leistung und mentale Gesundheit**

Übermäßiger Lärm in Krankenhäusern ist seit langem als Stressfaktor und potenzielle Gesundheitsgefährdung für Personal anerkannt. Frühe Beobachtungen in den 1970er Jahren machten erstmals auf das Problem aufmerksam. So maßen Shapiro und Berland in 1972 den Lärm während Operationen und stellten fest, dass der Schallpegel in Operationssälen häufig 70-80 dB überschritt, mit Spitzenwerten von über 85 dB (47). Sie warnten, dass solcher Lärm „psychologische und physiologische Auswirkungen“ auf das Personal haben könne, und forderten Maßnahmen zur Schaffung einer ruhigeren Umgebung. Etwa zur gleichen Zeit berichtete eine Studie von Falk und Woods über den Lärm in allgemeinen Krankenhäusern, dass die durchschnittlichen Schallpegel in Intensiv- und Neugeborenenstationen mit 60–75 dB weit über den empfohlenen Grenzwerten lagen, und warnte, dass diese Pegel potenzielle Gesundheitsrisiken für Patienten und medizinisches Personal darstellen (60). Diese wegweisenden Studien etablierten Krankenhauslärm als Umweltstressor.

In den folgenden Jahrzehnten begannen Forschungen, die Lärmbelastung mit dem Wohlbefinden des Personals in Verbindung zu bringen. In einer wegweisenden Studie befragten Topf und Dillon 100 Intensivpfleger\*innen in den

USA und stellten einen signifikanten positiven Zusammenhang zwischen lärmbedingtem beruflichem Stress und Burnout bei Pflegekräften fest (122). Bemerkenswert ist, dass selbst nach Berücksichtigung anderer Lebens- und Arbeitsstressoren, Pflegekräfte, die einen höheren Lärmstress angaben, in Standardfragebögen höhere Burnout-Werte aufwiesen. Die Regressionsanalyse dieser Studie deutete darauf hin, dass die chronische Belastung durch laute Geräusche auf der Intensivstation ein unabhängiger Faktor für die emotionale Erschöpfung des Personals war. Topf und Dillon untersuchten auch, ob Personen, die von Natur aus geräuschempfindlich sind, einem höheren Risiko ausgesetzt sind. Sie stellten jedoch fest, dass selbst Pflegekräfte mit geringer Geräuschempfindlichkeit unter hohen Geräuschpegeln ein ähnliches Burnout-Risiko aufwiesen, was darauf hindeutet, dass der Lärm auf der Intensivstation allgemein hoch und schädlich war. Topf und Dillon kamen zu dem Schluss, dass der Lärm auf der Intensivstation, aufgrund von Monitoren, Alarmen, Geräten und Aktivitäten des Personals, „außergewöhnlich hohe Pegel“ erreicht hatte, und identifizierten ihn als einen wichtigen veränderbaren Stressfaktor im Arbeitsumfeld. Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse haben viele Studien nach 2000 bestätigt, dass Krankenhauspersonal in lauten Abteilungen messbare physiologische und psychologische Auswirkungen erlebt.

Morrison und andere führten 2003 eine prospektive Kohortenstudie in einer pädiatrischen Intensivstation (PICU) des Johns Hopkins Hospital durch, um die Auswirkungen von Lärm auf Krankenschwestern systematisch zu untersuchen. Sie rekrutierten 11 PICU-Krankenschwestern und beobachteten jede von ihnen während einer dreistündigen Arbeitsperiode, wobei sie kontinuierlich Umgebungsgeräusche und Herzfrequenz aufzeichneten, regelmäßig Stresshormone (Amylase) im Speichel maßen und selbst eingeschätzte Stress-/Belastungswerte erfassten. Der durchschnittliche Geräuschpegel in dieser PICU lag tagsüber bei etwa 60–61 dB(A), mit deutlich höheren Spitzenwerten, weit über dem von der American Academy of Pediatrics (AAP) empfohlenen Höchstwert von 45 dB in Neugeborenen-Intensivstationen. (101). Die Studie ergab, dass höhere Lärmpegel in direktem Zusammenhang mit dem physiologischen Stress der Pflegekräfte standen: Wenn der durchschnittliche Lärmpegel anstieg, stieg auch die Herzfrequenz der Pflegekräfte. Diese Phasen mit höherem Lärmpegel sagten

auch höhere selbst berichtete Stress- und Belästigungswerte in Fragebögen voraus. Obwohl die Amylase im Speichel zu stark schwankte, um einen eindeutigen Zusammenhang mit dem Lärm nachzuweisen, deutete das Zusammentreffen von erhöhter Herzfrequenz und subjektivem Stress während lauter Phasen stark auf akute Stressreaktionen auf Umgebungslärm hin. Morrison und Kollegen kamen zu dem Schluss, dass selbst typische Geräusche in der pädiatrischen Intensivstation (circa 60 dB) Stressreaktionen beim Personal hervorrufen können, die sich möglicherweise auf ihr Wohlbefinden und ihre Leistung auswirken, und forderten Maßnahmen zur Lärmreduzierung als unverzichtbar für Arbeitsplätze auf Intensivstationen. Eine Einschränkung dieser Studie war die geringe Stichprobengröße (11 Krankenschwestern in einer Station), die die Verallgemeinerbarkeit einschränkt. Ihre sorgfältigen objektiven Messungen lieferten jedoch Hinweise auf einen kausalen Zusammenhang zwischen dem Lärmpegel auf der Station und dem physiologischen Stress bei Pflegekräften, was die Ergebnisse früherer Umfragestudien stützt.

Konsistente Ergebnisse wurden von Watson und anderen 2015 in einer größeren Beobachtungsstudie mit PICU-Pflegekräften berichtet. Watsons Team überwachte die Lärmbelastung von Pflegekräften in mehreren PICUs und befragte sie zu Müdigkeit, Leistung und Sicherheitsvorfällen. Sie stellten fest, dass übermäßige Lärmbelastung mit erhöhter Müdigkeit, mehr selbst gemeldeten „Beinahefehlern“ und einer verminderten Arbeitsleistung des Pflegepersonals, sowie Reizbarkeit und Konzentrationsschwierigkeiten, verbunden war, was deutlich macht, dass Lärm nicht nur ein Komfortproblem, sondern auch ein Problem für die Patientensicherheit ist (63). Dies deckt sich mit vielen Erfahrungsberichten von Mitarbeiter\*innen, dass eine laute Station zu mehr Stress und Ablenkung führt, was sich in Fehlern niederschlagen kann. Tatsächlich wird Lärm in einer wachsenden Zahl von Veröffentlichungen als Leistungshemmnis in der Intensivpflege identifiziert. In ihrer umfassenden Studie befragten Gurses und Carayon Intensivpflegekräfte und stellten fest, dass Lärm am häufigsten als größtes „Leistungshindernis“ in ihrem Arbeitsumfeld genannt wurde, das sie daran hinderte, ihre Aufgaben effizient zu erledigen (123). Kognitive Forschungen bestätigen dies. Lärm kann eine kontinuierliche kognitive Belastung darstellen, da das Gehirn unbewusst irrelevante Geräusche verarbeiten und filtern muss,

wodurch weniger mentale Ressourcen für komplexe Aufgaben zur Verfügung stehen. Eine experimentelle Studie von Schmidt und anderen in 2020 setzte Freiwillige beispielsweise aufgezeichneten Geräuschen aus einer Intensivstation aus und stellte fest, dass die Teilnehmenden nach der Lärmbelastung deutlich höhere Ablenkungswerte und ein geringeres Vertrauen in die Ausführung ihrer Aufgaben hatten als unter ruhigen Bedingungen (124). Neurokognitive Tests in dieser Studie von Schmidt und anderen zeigten, dass der „kognitive Aufwand für die unbewusste Verarbeitung“ von Geräuschen auf der Intensivstation die Genauigkeit und Effizienz der Aufgaben beeinträchtigte. Solche Ergebnisse helfen, Beobachtungen aus der Praxis zu erklären, wonach Schichten mit viel Lärm als anstrengender und fehleranfälliger empfunden werden. Darüber hinaus wird die Kommunikation zwischen den Teammitgliedern durch Lärm beeinträchtigt. Studien im OP und auf der Intensivstation haben gezeigt, dass wichtige Anweisungen oder Monitoralarms bei hohen Hintergrundgeräuschen überhört oder wiederholt werden müssen. Dies wirft Fragen zur Patientensicherheit auf. Missverständnisse in einem lauten OP oder auf einer Intensivstation können zu klinischen Fehlern oder Verzögerungen bei der Reaktion führen, wie mehrere Autoren betonen z.B. Choiniere (2010), Blomkvist et al., 2005, Morrison et al., 2003).

Übermäßiger Lärm trägt auch zur „Alarmmüdigkeit“ bei, bei der das Personal gegenüber den zahlreichen Alarmtönen unempfindlich wird (29,30). Alarmmüdigkeit wird mit längeren Reaktionszeiten und sogar übersehenen Alarmen in Verbindung gebracht und führt letztendlich zu Burnout beim Personal in der Intensivpflege. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die über Jahrzehnte gesammelten empirischen Belege ein klares Bild zeichnen. Krankenhauslärm, insbesondere in Intensiv- und perioperativen Bereichen, erhöht den Stress des Personals. Dies gilt sowohl für den selbst wahrgenommen als auch physiologischen Stress und der Krankenhauslärm trägt so zu Ermüdung und Burnout bei, beeinträchtigt die kognitiven Funktionen wie Aufmerksamkeit und Gedächtnis und die Kommunikation und verringert dadurch die Leistungsfähigkeit und Sicherheit. Diese Auswirkungen sind nicht trivial, sie wurden in mehreren Ländern und Umgebungen repliziert. Auch die Auswirkungen auf die psychische Gesundheit sind bemerkenswert. Chronischer Lärm am Arbeitsplatz kann zu

längerfristigen Folgen wie Burnout beitragen, wie die Studie von Topf und Dillon nahelegt (122). Eine aktuellere Querschnittsstudie von Bringel et al. (2023) in Brasilien untersuchte Burnout- und Stress-Biomarker bei Fachkräften in Neugeborenen-Intensivstationen, die Lärm ausgesetzt waren (126). An dieser Studie nahmen 256 Mitarbeiter\*innen von Neugeborenen-Intensivstationen in vier Krankenhäusern teil. Dabei wurden die Umgebungsgeräusche in ihren Abteilungen gemessen und Umfragen durchgeführt sowie der Cortisolspiegel bestimmt. Die durchschnittlichen Schalldruckpegel lagen in diesen Neugeborenen-Intensivstationen bei etwa 60–66 dB(A) und überschritten damit sowohl die brasilianischen als auch die internationalen Lärmschutzvorschriften für Krankenhäuser. Fast alle Teilnehmenden wiesen in standardisierten Fragebögen zumindest einige Burnout-Symptome auf. Interessanterweise fanden Bringel et al. keinen direkten linearen Zusammenhang zwischen dem gemessenen Lärmpegel und den Burnout-Werten oder Cortisolveränderungen während einer Schicht. Nach Bereinigung anderer Faktoren wiesen Mitarbeitende, die in einer lauterer Station arbeiteten, nicht automatisch höhere Cortisolwerte oder ein höheres Burnout-Risiko auf, als Mitarbeitende in einer etwas ruhigeren Station. Die Studie ergab jedoch, dass die eigene Wahrnehmung der Mitarbeitenden in einer übermäßig lauten Umgebung zu arbeiten, signifikant mit dem Gefühl verbunden war, dass die Arbeitsschicht stressiger war (126). Tatsächlich bewerteten Mitarbeitende, die den Lärm wahrnahmen und als störend empfanden, ihren Arbeitstag deutlich häufiger als sehr stressig, während der gemessene Cortisolspiegel bei allen Mitarbeitenden unabhängig von den Lärmunterschieden hoch blieb. Alle Teilnehmenden zeigten ein gewisses Maß an Burnout und Stress, was wahrscheinlich auf viele sich verstärkende Faktoren bei der Arbeit auf der Intensivstation zurückzuführen ist. Eine weitere Erkenntnis aus dieser Studie ist, dass die Lärmpegel auf Intensivstationen durchwegs über den Standards lagen, keine der neonatologischen Intensivstationen erfüllte die empfohlenen akustischen Standards, und dass Lärm allein zwar nicht direkt zu Burnout führt, aber eindeutig zur Stresswahrnehmung der Mitarbeitenden beiträgt und das subjektive Gefühl einer hektischen, überwältigenden Schicht verstärken kann. Die Autoren weisen darauf hin, dass Burnout multifaktoriell ist und ihr Querschnittsdesign keinen Kausalzusammenhang nachweisen konnte, betonen jedoch, dass

Lärmreduzierung ein sinnvolles Ziel zur Verbesserung der Arbeitsumgebung ist. Das Fehlen eines deutlichen Cortisolunterschieds könnte auf die vielen Determinanten von Cortisol zurückzuführen sein oder darauf, dass der Lärm auf der Intensivstation, obwohl er hoch ist, ein konstanter Hintergrundfaktor ist, an den sich das Personal in Bezug auf die Hormonreaktion angepasst hat. Eine Einschränkung besteht hier in einer möglichen Verzerrung der Auswahl, da nur bestimmte Krankenhäuser in einer Region teilnahmen und der Abhängigkeit von selbst berichteten Lärmwahrnehmungen. Dennoch unterstreicht die Studie, dass selbst, wenn objektive Messungen keinen direkten Zusammenhang zwischen Lärm und Burnout zeigen, die subjektiven Auswirkungen von Lärm auf Stress offensichtlich sind und dass die Wahrnehmung für das Wohlbefinden des Personals von Bedeutung ist.

Eine Studie ergab, dass Umgebungsgeräusche im Bereich von 65 bis 75 dB die kognitiven Funktionen und die Feinmotorik von Chirurg\*innen beeinträchtigen können, was die Ausführung komplexer Aufgaben erheblich erschwert, und auch die Reaktionszeiten auf kritische Ereignisse verzögern können. In einer kontrollierten Simulation machten Chirurg\*innen bei lauten Hintergrundgeräuschen oder Musik mehr Fehler als unter ruhigen Bedingungen (113).

Bei sehr lauten OP-Bedingungen kommt es in viel höherer Rate zu Missverständnissen innerhalb des OP-Teams, als im Vergleich zu ruhigerer Umgebung (127). Darüber hinaus ergab eine prospektive Studie von Kurmann und Kollegen in der Schweiz einen Zusammenhang zwischen lauterem Operationen und einer höheren Inzidenz postoperativer Komplikationen (62). Die Forscher stellten die Hypothese auf, dass Lärm als Ersatzmarker für Stress und Komplexität im OP dienen könnte, was sich wiederum auf die Patientenergebnisse auswirken kann, möglicherweise durch Ablenkung des Personals. All diese Ergebnisse zeigen, dass OP-Lärm nicht nur ein Ärgernis ist, sondern auch den Stresspegel der Chirurg\*innen die Teamarbeit und sogar die klinischen Ergebnisse beeinflussen kann. Es ist bezeichnend, dass viele chirurgische Teams Lärm subjektiv als einen der größten Stressfaktoren in ihrem Arbeitsumfeld einstufen, in einigen Umfragen sogar an zweiter Stelle nach Zeitdruck (128).

Die Herausforderung besteht weiterhin darin, in diesen komplexen Umgebungen eine wirksame Lärmkontrolle zu implementieren. In den nächsten Abschnitten werden Strategien zur Lärmreduzierung vorgestellt, die in der Praxis erprobt wurden. Dabei wird zunächst auf Maßnahmen eingegangen, die das Gesundheitspersonal selbst ergreifen kann durch Schulungen, Verhaltensänderungen und Routinepraktiken, und anschließend auf übergeordnete oder gestalterische Maßnahmen, die von Verwaltungsangestellten und politischen Entscheidungsträger\*innen unterstützt werden können, wie z. B. eine bessere Gestaltung der Stationen, Ausrüstung und technologische Lösungen.

## 5. Personalstrategien zur Minimierung von Lärm

Das medizinische Personal kann durch achtsames Verhalten und einfache Änderungen der täglichen Routinen eine entscheidende Rolle bei der Reduzierung von Lärm an der Quelle spielen. Zahlreiche Studien in der Fachliteratur haben personalbezogene Maßnahmen in neonatologischen und pädiatrischen Intensivstationen, sowie in Operationssälen untersucht, mit denen der Geräuschpegel erfolgreich gesenkt werden konnte.

Ein zentrales Thema ist die Aufklärung und Sensibilisierung des Personals. Wenn Ärzt\*innen die schädlichen Auswirkungen von Lärm auf Säuglinge, Patienten und sich selbst verstehen und Feedback zu den Lärmpegeln erhalten, ändern sie häufig ihr Verhalten entsprechend. Ein von Johnson (2003) beschriebenes Lärmreduktionsprojekt beispielsweise umfasste ein umfassendes Schulungs- und Verhaltensänderungsprogramm für das Personal, das über einen Zeitraum von 14 Monaten in einer großen NICU mit 70 Betten durchgeführt wurde (129). Dieses auf evidenzbasierten Forschungsergebnissen basierende Programm informierte das Pflegepersonal und die Ärzt\*innen der NICU über Lärmquellen und wie diese eliminiert werden können, wie z. B. durch leises Schließen der Inkubatorfenster, Vermeidung lauter Gespräche, sowie vorsichtigem Umgang mit Behältern und Geräten und förderte so einfache Verhaltensänderungen. Die Mitarbeit des Personals wurde durch das Aushängen von Lärmpegel-Diagrammen und die Einbeziehung in die Problemlösung gefördert. Johnson berichtete, dass diese Änderungen der Pflegeaktivitäten in Kombination mit Anpassungen der Umgebung, z. B. Gummipuffer an den Türen der Inkubatoren, zu einer messbaren Verringerung des Umgebungslärms und zu einer besseren Einhaltung der Ruhevorschriften durch das Personal führten. Wichtig ist, dass die Studie Leitlinien für andere Neugeborenen-Intensivstationen zur Anpassung des Protokolls lieferte und betonte, dass die Akzeptanz und das Bewusstsein des Personals entscheidend für den Erfolg sind. Die Erkenntnis ist, dass sich die allgemeine Geräuschkulisse verbessert, wenn Pflegekräfte und andere Teammitglieder bewusst versuchen, leiser zu sein, beispielsweise durch leisere Sprache, Vermeidung unnötiger Gespräche am Krankenbett und schnelles Reagieren auf Alarmsignale, um diese auszuschalten.

Eine einfache Maßnahme ist die Einführung von „Ruhezeiten“ oder festen Ruhephasen pro Tag, in denen das Personal gemeinsam für eine ruhige Atmosphäre sorgt. Licht dimmen, nur notwendige Patientenversorgung durchführen und auf nicht dringende Gespräche oder Alarmsignale verzichten. Diese Verhaltensänderung hat sich in vielen Neugeborenen-Intensivstationen bewährt, wenn sie vom Personal konsequent eingehalten wird. Eine Studie zur Qualitätsverbesserung am Cohen Children's Medical Center führte ein Programm namens „HUSH“ (Help Us Support Healing) ein. Hierbei wurden alle 12 Stunden zweistündige Ruhezeiten etabliert, begleitet durch Mitarbeiterschulungen und visuellen Lärmanzeigen (130). Während dieser Ruhezeiten bemühten sich die Teams besonders, Gespräche und Aktivitäten auf ein Minimum zu reduzieren, und Alarme wurden so voreingestellt, dass nur kritische Signale ausgegeben wurden. Das Projekt ergab, dass die Einführung dieser vorgeschriebenen Ruhezeiten zu einer signifikanten Verringerung der mittleren Geräuschpegel sowohl in den Akut- als auch in den Step-down-Bereichen der Neugeborenen-Intensivstation führte und auch die Häufigkeit von lauten Geräuschen über 65 dB deutlich reduzierte. Dies war wirksamer als Aufklärung allein. In dieser Studie hatten die Schulung des Personals und einige technische Verbesserungen nur geringe Auswirkungen, aber die Ruhezeiten führten zu einer deutlichen Verringerung des Lärms in der gesamten Station. Das Feedback des Personals war positiv. Viele Pflegekräfte berichteten, dass die ruhigeren Zeiten für die Ruhe der Säuglinge von Vorteil waren und auch ihr Arbeitsumfeld weniger chaotisch machten.

Ein weiteres Beispiel aus einer kanadischen Neugeborenen-Intensivstation zeigte, dass allein durch das Dimmen der Beleuchtung und die Einführung einer täglichen zweistündigen Ruhezeit der durchschnittliche Lärmpegel in diesen Zeiträumen um etwa 5 dB gesenkt und der Schlaf der Säuglinge verbessert werden konnte. Diese Ergebnisse konnten nur durch die Mitarbeit des Personals erzielt werden (131). Diese Studien unterstreichen, dass gemeinsame Anstrengungen des Personals, selbst wenn sie so einfach sind wie die Vereinbarung täglicher Ruhezeiten, den Lärmpegel deutlich senken können. Über die festgelegten Ruhezeiten hinaus haben sich Echtzeit-Feedback-Tools als wertvoll für die Verhaltensänderung des Personals erwiesen. Ein innovativer Ansatz, der von Balci und anderen 2021 getestet wurde, umfasste die Installation eines Geräuschmessers an der Wand

der Neugeborenen-Intensivstation, der visuelle und akustische Warnsignale ausgibt, wenn der Lärm einen festgelegten Schwellenwert überschreitet. (95). In dieser kontrollierten Studie in der Türkei wurde ein Raum der Neugeborenen-Intensivstation mit einem sichtbaren Geräuschalarmgerät ausgestattet. Diese „Lärmampel“ blinkte oder piepte, wenn die Gespräche oder Geräusche des Personals zu laut wurden. Der Vergleichsraum verfügte nur über einen versteckten Geräuschlogger ohne Feedback. Über einen Zeitraum von zwei Wochen war der durchschnittliche Lärmpegel im Raum mit dem Alarmgerät deutlich niedriger, im Durchschnitt um etwa 3-4 dB, als im Kontrollraum, insbesondere in der ersten Woche, als die Maßnahme neu war. Das Personal im Interventionsraum passte sein Verhalten bei jedem Alarm des Geräts an, beispielsweise durch leiseres Sprechen oder leiseres Schließen der Türen und schuf so eine nachhaltig ruhigere Umgebung. In der zweiten Woche verringerte sich der Unterschied zwischen den Räumen etwas, vermutlich weil die Neuheit nachließ oder das Personal wechselte. Insgesamt aber führte das Geräuschwarnsystem erfolgreich zu Verhaltensänderungen, die zu einer Lärmreduzierung führten. Die Autoren empfehlen solche visuellen Hinweissysteme als einfache und kostengünstige Möglichkeit, das Personal für seine Geräuschkontrolle zu sensibilisieren.

Dies steht im Einklang mit anderen Berichten, wonach Geräuschanzeigen, selbst einfache digitale dB-Anzeigen am Gerät oder farbwechselnde Geräuschmesser, eine ruhigere Kultur fördern, indem sie Geräusche „sichtbar“ und damit kontrollierbar machen (132). Einige Neugeborenen-Intensivstationen haben Geräuschpegelmesser installiert, die das Personal leicht überprüfen kann. Die Pflegekräfte beschreiben diese als „Tachometer für Geräusche“, der ihnen hilft, sich selbst zu korrigieren, indem sie bemerken, wenn sie zu laut sprechen oder wenn mehrere Alarme gleichzeitig ertönen. Mitarbeiterschulungen haben ebenfalls gezeigt, dass sie den Lärm direkt reduzieren. Im Iran beispielsweise hat eine Interventionsstudie Strategien zur Lärmreduzierung, wie langsames und leises Sprechen, Vermeidung von Leerlaufgesprächen in der Nähe von Säuglingen und leises Schließen von Gerätetüren, vermittelt (133). Nach dieser Schulung sank der gemessene Schalldruck in der Neugeborenen-Intensivstation deutlich. Die durchschnittlichen Werte fielen um einige dB und das Verhalten der Pflegekräfte

änderte sich. Sie sprachen bewusst leiser und gingen leiser mit den Geräten um. Die Mitarbeiter\*innen selbst gaben an, dass sie sich der „Lärm-Hotspots“, wie Mülleimerdeckel oder Monitoralarne, bewusster waren und von sich aus Maßnahmen zu deren Minderung ergriffen. So kleideten sie Mülleimer mit Polsterungen aus oder stellten die Alarmlautstärke innerhalb sicherer Grenzen ein.

Diese Beispiele zeigen, dass teamorientiertes Training und vereinbarte Protokolle die Geräuschkulisse erheblich verbessern können. Zu den wichtigsten Elementen gehören häufig die Förderung einer ruhigen, bibliotheksähnlichen Atmosphäre in der Nacht, leises Sprechen während der Visite, die Vermeidung plötzlicher lauter Geräusche, sowie das Voraussehen und schnelle Reagieren auf Alarme. Das Alarmmanagement ist ein weiterer Bereich, in dem das Verhalten des Personals einen großen Einfluss auf den Geräuschpegel hat. Viele Intensivstationen leiden unter einer „Alarmflut“, bei der Herzmonitore, Pulsoximeter, Pumpen und Beatmungsgeräte häufig piepen und einen konstanten Hintergrundlärm erzeugen. Das klinische Personal kann Strategien zur Reduzierung falscher oder nicht zu behandelnder Alarme umsetzen, was sowohl die Patientenversorgung verbessert als auch den Lärm reduziert. Beispielsweise kann durch die Anpassung der Alarmschwellen und Verzögerungseinstellungen die Gesamtzahl der Alarmsignale verringert werden. In einer Studie wurden auf einer pädiatrischen Intensivstation über 2.100 Alarme an einem einzigen Tag dokumentiert von denen 90% keine klinischen Maßnahmen erforderten (134).

Eine andere Studie kam zu einer ähnlichen Erkenntnis, hinsichtlich der Alarmflut an technischen Artefakten. Auf einer Intensivstation wurde in einem Beobachtungszeitraum von über 900 Stunden fast 6.000 Alarme erfasst. 40% all dieser Alarme beschrieben die körperliche Verfassung des Patienten nicht korrekt und wurden als technisch falsch klassifiziert. 68% dieser Falschalarme wurden durch Manipulation verursacht. Lediglich 15% aller im Beobachtungszeitraum erfassten Alarme waren klinisch relevant. Ursächlich sind dafür die technischen Geräte: Diese Arbeiten mit einer hohen Sensitivität bei den Parametern, haben jedoch eine zu geringe Spezifität, was die hohe Last an „Fehlalarmen“ verursacht (135). In ähnlicher Weise befragten Cho et al. (2016) Intensivpflegekräfte und stellten fest, dass ein unzureichendes Alarmmanagement zu Alarmmüdigkeit und

Lärm beiträgt, aber wenn Pflegekräfte sich befähigt fühlen, Alarme durch Anpassen der Lautstärke oder Schwellenwerte innerhalb des Protokolls zu verwalten, berichten sie von einem geringeren wahrgenommenen Lärmpegel und weniger Stress (136). Daher kann die Schulung und Befähigung des Personals zur Nutzung von Alarmverzögerungsfunktionen, zum Wechseln der EKG-Elektroden zur Reduzierung von Fehlalarmen und zum Ausschalten fehlerhafter Gerätealarme unnötigen Lärm deutlich reduzieren. Selbst die einfache Maßnahme einer rechtzeitigen Reaktion, das sofortige Beantworten und Stummschalten eines Alarms durch das Pflegepersonal, stoppt eine Lärmquelle schnell.

Viele Krankenhäuser haben inzwischen „unterbrechungsfreie Zonen“ oder festgelegte Zeiten, wie während der Medikamentenvorbereitung oder der Übergabe, in denen Alarme von Kolleg\*innen überwacht werden, sodass das Pflegepersonal die Alarme am Krankenbett stumm schalten kann, um eine ruhige Umgebung für konzentriertes Arbeiten zu gewährleisten. All dies sind vom Personal initiierte Maßnahmen zur Lärmreduzierung. Im Operationssaal kann das Personal ähnliche Verhaltensweisen anwenden, um Lärm zu minimieren. Chirurg\*innen und Anästhesist\*innen können vereinbaren, die Musik während kritischer Phasen der Operation auf einer moderaten Lautstärke zu halten oder ganz auszuschalten.

Eine qualitative Studie von Way und anderen aus dem Jahr 2013 ergab, dass einige Operationsteams ein aus der Luftfahrt übernommenes „Sterile Cockpit“-Konzept umsetzten, bei dem während kritischer chirurgischer Aufgaben nicht notwendige Gespräche und Geräusche verboten sind (137). Pflegekräfte halten Telefonate zurück oder beschränken das Öffnen der OP-Türen und alle Teammitglieder vermeiden irrelevante Gespräche. Dies erfordert einen kulturellen Wandel, liegt jedoch vollständig im Einflussbereich des Personals. Teams, die dies ausprobierten, berichteten von einer verbesserten Konzentration und weniger Missverständnissen, insbesondere in komplexen Fällen. Ein weiteres Verhalten des Personals im OP besteht darin, einfach über Lärm zu kommunizieren, beispielsweise können Chirurg\*innen um Ruhe bitten, wenn er oder sie mit einer schwierigen Anatomie zu kämpfen hat, oder Anästhesist\*innen kann darum bitten, die Alarmsignale der Geräte leiser zu stellen, wenn sie zu laut sind, aber noch

hörbar bleiben. OP-Pflegekräfte können dafür sorgen, dass die Geräte gewartet werden. Gut geölte Absaugregler verursachen weniger Lärm und Metallinstrumente mit Schaumstoffpolstern abstellen. Das mag zwar wie Kleinigkeiten erscheinen, aber sie summieren sich.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass von Mitarbeiter\*innen durchgeführte Maßnahmen, von Schulungen über Verhaltensnormen bis hin zum proaktiven Umgang mit Alarmen, sich als wirksam erwiesen haben, um den Geräuschpegel in Neugeborenen-Intensivstationen, pädiatrischen Intensivstationen und Operationssälen zu reduzieren. Der rote Faden ist die Sensibilisierung und die Schaffung einer Kultur der Ruhe zum Wohle der Patientenversorgung. Es bleiben jedoch Herausforderungen bestehen, wie beispielsweise die Aufrechterhaltung dieser Verhaltensweisen über einen längeren Zeitraum. Ohne kontinuierliches Feedback könnte das Personal in alte Gewohnheiten zurückfallen. Außerdem gilt es die Abwägung zwischen Lärmreduktion und betrieblichen Erfordernissen zu balancieren, da ein Stummschalten von Alarmen, ohne ihrem Ursprung nachzugehen der Patientenversorgung kontraproduktiv gegenüberstehen kann. Einige Maßnahmen zeigten anfängliche Verbesserungen, die sich jedoch abflachten, was darauf hindeutet, dass eine kontinuierliche Verstärkung und möglicherweise regelmäßige Nachschulungen erforderlich sind. Dennoch haben viele Krankenhäuser bedeutende Erfolge vermeldet. So erreichte beispielsweise das Cohen Children's NICU-Projekt in den Jahren 2021-2022 sein Ziel einer Lärmreduzierung um mehr als 10% und hielt durch vom Personal initiierte Veränderungen bis zum Ende des Projekts den Anteil an starkem Lärm über 65 dB unter 5% (130). Diese „sanften“ Maßnahmen sind relativ kostengünstig und können sofort umgesetzt werden, was sie zu einer attraktiven ersten Maßnahme gegen Lärm macht. Sie wirken auch synergistisch mit übergeordneten Veränderungen, wie neuen leisen Geräten, die vom Personal richtig verwendet werden, wenn es geschult und motiviert ist. Daher ist die Ausstattung des Gesundheitspersonals mit dem Wissen und den Instrumenten zur Lärmkontrolle ein entscheidender Faktor für die Schaffung einer ruhigeren und gesünderen Krankenhausumgebung.

## 6. Interventionen und bauliche Maßnahmen zur Lärminderung

Die Bemühungen des Personals an vorderster Front sind zwar von entscheidender Bedeutung, doch eine nachhaltige Lärmreduzierung im Gesundheitswesen erfordert häufig grundlegende Änderungen in der Politik, der Gestaltung der Einrichtungen und der Technologie. Insbesondere auf neonatologischen und pädiatrischen Intensivstationen haben Verwaltungsfachleute und Architekten versucht, Umgebungen zu schaffen, die von Natur aus Ruhe fördern. Im Folgenden werden wichtige Strategien aus der Literatur vorgestellt, die von Krankenhausleitungen oder politischen Entscheidungsträgern umgesetzt werden können. Dies umfasst Möglichkeiten der Makrogestaltung, wie z.B. die Materialauswahl, der Abteilungen, spezifische technische Maßnahmen, wie schallabsorbierende Einrichtungen und unterstützende Richtlinien im Sinne von z.B. vorgeschriebene Ruhezeiten.

Eine der wichtigsten Gestaltungsentscheidungen ist, ob die Neugeborenen-Intensivstation/Kinderintensivstation als offene Station mit vielen Betten in einem Raum oder als Station mit ausschließlich Einzelzimmern („single family room“, SFR) gebaut wird. Untersuchungen zeigen durchweg, dass Neugeborenen-Intensivstationen mit Einzelzimmern einen deutlich geringeren Umgebungslärmpegel aufweisen als herkömmliche offene Stationen. Als beispielsweise die offene NICU im Calgary Health Centre zu einer NICU mit ausschließlich Einzelzimmern umgebaut wurde, sank der durchschnittliche Geräuschpegel von etwa 59 dB in der offenen Station auf etwa 51 dB in der neuen Einzelzimmerstation. Dies bedeutet eine Reduktion von circa 8 dB (138). Mehrere Kohortenstudien, die in einer systematischen Übersichtsarbeit enthalten sind, ergaben, dass die mittleren Geräuschpegel in Einzelzimmern um 5-10 dB niedriger waren als in offenen Stationen, wobei in vier von fünf untersuchten Studien ein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt wurde (38). Die Gründe dafür liegen auf der Hand. Einzelzimmer trennen Geräuschquellen physisch voneinander. Gespräche, Monitoralarme und Geräusche von Geräten bleiben in jedem Zimmer und hallen nicht in einer großen Station wider. In einer offenen Neugeborenen-Intensivstation verbreitet sich der

Lärm am Bett eines Babys auf viele andere, während in Einzelzimmern das akustische Umfeld für das Baby und seine Familie besser kontrolliert werden kann.

Lester und andere verglichen 2014 zwei Neugeborenen-Intensivstationen in den USA und stellten fest, dass in der SFR-Station die Zeit, in der Säuglinge Lärm über 50 dB ausgesetzt waren, deutlich kürzer war als in der offenen Station. Säuglinge in offenen Stationen waren weniger Lärm ausgesetzt, wobei hier keine genaue Messung vorgenommen wurde. Es wurde festgestellt, dass Säuglinge in SFR mehr Gewicht zugelegt hatten als die Kontrollgruppe in offenen Stationen. Weiterhin gab es signifikante Verbesserungen bei der Rate der Gewichtszunahme, Seltenheit von Sepsis, weniger Stress, und bessere Aufmerksamkeit (139). Darüber hinaus eliminieren SFR-Designs einige strukturelle Lärmquellen wie Lautsprecherdurchsagen, die durch direkte Telefonsysteme ersetzt werden können und reduzieren den Fußgängerverkehr um Patient\*innen herum.

Es ist wichtig zu beachten, dass SFR-Neugeborenen-Intensivstationen nicht nur schädlichen Lärm reduzieren, sondern auch andere Vorteile bieten. Studien haben einen verbesserten Schlaf der Säuglinge, stabilere Vitalparameter und sogar eine bessere Gewichtszunahme und Entwicklungsergebnisse in Einzelzimmern dokumentiert, was teilweise auf die ruhigere Umgebung zurückzuführen ist. Bei den Mitarbeiter\*innen gab es anfänglich Bedenken, dass Einzelzimmer das Gefühl der Isolation verstärken oder die Überwachung der Patient\*innen erschweren könnten.

Eine Umfrage von White im Jahr 2020 ergab, dass die Mitarbeit\*innen nach der Umstellung auf das neue Design eine höhere Zufriedenheit mit dem Geräuschpegel, der Privatsphäre und dem allgemeinen Arbeitsumfeld in SFR-Einheiten angaben (140). In einer Studie gaben Pflegekräfte an, dass sie sich nicht mehr über andere Gespräche oder Alarmtöne hinwegsetzen mussten, was ihre geistige Ermüdung verringerte. Um Bedenken hinsichtlich der Sichtbarkeit auszuräumen, verwenden viele SFR-Neugeborenen-Intensivstationen Fernüberwachung und haben Glaswände oder -türen. Entscheidend ist jedoch, dass politische Entscheidungsträger und Krankenhausplaner durch die Wahl der

Stationsaufteilung einen starken Einfluss auf den Geräuschpegel nehmen können. In westlichen Ländern geht der Trend bei Neubauten von Neugeborenen-Intensivstationen zu mehr Einzelzimmern, wie z.B. in den Niederlanden.

Allerdings sind nicht alle Ergebnisse mit SFR positiv. Eine interessante Erkenntnis von Pineda und anderen aus 2012 deutet darauf hin, dass Säuglinge in Einzelzimmern weniger Sprache hören, da weniger Erwachsenenstimmen zu hören sind und sich möglicherweise langsamer sprachlich entwickeln (141). Dies betont, dass Ruhe nicht auf Kosten von positiven Sinnesreizen wie der Sprache der Eltern gehen sollte. Viele Neugeborenen-Intensivstationen haben diesem Umstand Rechnung getragen, indem sie Eltern dazu ermutigen, bei ihren Babys zu übernachten und häufig mit ihnen in Einzelzimmern zu sprechen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass aus politischer und gestalterischer Sicht die Umstellung auf private oder abgeschlossene Betten eine der wirksamsten Strategien zur Lärmreduzierung in Intensivstationen ist. In bestehenden offenen Stationen können Zwischenmaßnahmen wie die Schaffung kleinerer Unterteilungen oder die Verwendung von tragbaren Trennwänden dazu beitragen, die Schallübertragung zu dämpfen.

Eine weitere Maßnahme auf der Ebene der Gestaltung ist die Verwendung schallabsorbierender Materialien bei der Konstruktion und Einrichtung der Station. Oberflächen in Krankenhäusern, von Böden bis hin zu Decken und Wänden, sind oft funktionell gehalten und leicht zu reinigen. Dies bedeutet, dass sie Schall reflektieren, und ein hoher Nachhall vorherrscht. Im Gegensatz dazu können Materialien wie akustische Deckenplatten, isolierte Wandpaneele oder sogar dicke Vorhänge Schall absorbieren und die Nachhallzeit verkürzen. Eine Studie in einem schwedischen Krankenhaus von Blomkvist et al. (2005) hat dies gut gezeigt. Nach der Installation einer speziellen Akustikdecke in einer Intensivstation sank der durchschnittliche Geräuschpegel leicht (um circa 2–3 dB) (48). Viel wichtiger ist, dass die Sprachverständlichkeit verbessert wurde und das Personal die Umgebung als ruhiger und weniger stressig empfand, selbst wenn die gemessenen dB-Änderungen nur gering waren.

Eine weitere quantitative Studie in allgemeinen Krankenhausstationen ergab, dass durch das Anbringen von Stoffpaneelen an den Wänden und die Beseitigung

schallreflektierender Oberflächen die Nachhallzeit um die Hälfte reduziert und die Spitzenlärmpegel bei lauten Ereignissen um bis zu 5 dB gesenkt werden konnten (142). In Neugeborenen-Intensivstationen ist ein gängiger Ansatz die Installation von schallabsorbierenden Wandpaneelen in Bereichen mit viel Lärm, wie im Bereich um den Pflegestützpunkt oder in der Nähe von lauten Maschinen. Eine portugiesische Studie berichtete über eine Renovierung einer Neugeborenen-Intensivstation in Portugal, bei der schallabsorbierende Paneele und Bodenbeläge eingeführt wurden (143). Nachfolgende Messungen zeigten eine deutliche Verringerung der hochfrequenten Geräuschpegel, welche für Säuglinge am störendsten sind. Insgesamt führte dies zu einem leiseren Umgebungsgeräuschprofil, insbesondere in Kombination mit Protokollen zur Geräuschreduzierung für das Personal. Darüber hinaus trägt bereits eine auf Lärmminimierung ausgelegte Raumaufteilung dazu bei, die Patientenbereiche ruhig zu halten, etwa durch separate Familienzimmern. Einige Krankenhäuser haben an den Eingängen der Stationen Schallschleusen oder Vorräume eingerichtet, damit der Lärm aus den Fluren abgefedert wird, bevor er die Patientenzimmer erreicht. Aus politischer Sicht fordern Richtlinien wie die Empfehlungen des Facility Guidelines Institute (FGI) aus dem Jahr 2010 für die Gestaltung von Gesundheitseinrichtungen ausdrücklich Materialien und Oberflächen, die akustische Aspekte berücksichtigen (144).

Im OP-Bereich ist die Verwendung von akustischen Materialien schwieriger, aufgrund von strengen Infektionsschutzvorschriften. Die Hersteller bieten aber mittlerweile auch für OP-Säle schalldämpfende Wandpaneele und Deckenplatten an, die den Hygienestandards entsprechen. Eine Studie aus Perth, Australien, hat sich zum Ziel gesetzt den Lärmpegel auf der Intensivstation zu senken. Der Fokus lag dabei auf der Verringerung der Schallübertragung auf andere Bereiche. Dies sollte durch Verbesserung im akustischen Design erfolgen. Akustische Messungen ergaben eine Raumakustik, die bei Anwesenheit von Patient\*innen zwischen 60 und 90 dB(A) lagen. Der potentielle Einfluss und mögliche Verbesserungen der Schlafqualität der Patienten werden in der Studie allerdings nicht beleuchtet (145). Wichtig ist, dass diese Änderungen oft administrative Investitionen erfordern und gegen Infektionskontrolle und Kosten abgewogen

werden müssen. Die Ergebnisse deuten aber darauf hin, dass sie eine bessere akustische Umgebung für Patient\*innen und Personal schaffen.

In Neugeborenenstationen sind Säuglinge, insbesondere Frühgeborene in Inkubatoren, besonders anfällig für lärmbedingte Schäden. Politische Entscheidungsträger und Abteilungsleiter\*innen können Technologien einsetzen, die die Lärmbelastung für Säuglinge reduzieren. Moderne Inkubatoren sind auf Lärmreduzierung ausgelegt. Doppelwandige Inkubatoren und Inkubatoren mit integrierter Geräuschdämpfung können Außengeräusche dämpfen. Studien haben gezeigt, dass geschlossene Inkubatoren den Außengeräuschpegel im Vergleich zu offenen Wiegen um etwa 5-10 dB reduzieren können.

Entgegen der früheren Annahme, Inkubatoren würden die Umgebungsgeräusche „halbieren“, zeigen aktuelle akustische Untersuchungen, dass Inkubatoren selbst relevante Lärmquellen sind und nur eine frequenzabhängige, insgesamt begrenzte Schalldämpfung bieten. In einer kliniknahen Messreihe wiesen moderne Geräte im Leerbetrieb charakteristische tonale Komponenten im Bereich von etwa 1,3–1,5 kHz auf, die durch den Ventilator entstehen; die Übertragung von Außenschall wird oberhalb von circa 250 Hz im Mittel um rund 15 dB abgeschwächt, während tieffrequente Anteile weitgehend unverändert in das Kabineninnere gelangen. Zudem passieren transiente Geräusche und Alarmer die Kabine substantiell, und typische Betriebsabläufe (z. B. Tür- und Deckelbewegungen) erzeugen kurzzeitige Pegelspitzen, während das allgemeine NICU-Niveau häufig über den empfohlenen 45 dB(A) liegt. Damit kann der Inkubator Sprache dämpfen, ohne die für Säuglinge belastenden Signalanteile zuverlässig zu reduzieren, was sowohl entwicklungsförderliche Stimulation als auch Ruhe beeinträchtigt (146). Zugleich belegt eine freie-Feld-Analyse dreier Inkubatormodelle, dass die innen gemessenen A-bewerteten Dauerschallpegel im Normalbetrieb typischerweise zwischen etwa 49 und 56 dB(A) liegen und durch tonale sowie zum Teil tieffrequente Komponenten geprägt sind; bei aktivierten Temperaturalarmen steigen die innen- wie außenseitigen Pegel weiter an. Diese Befunde verdeutlichen, dass Inkubatoren ohne zusätzliche technische und organisatorische Maßnahmen die in Leitlinien empfohlenen Zielwerte nicht verlässlich erreichen

und deshalb hinsichtlich ihrer akustischen Signatur beschafft, betrieben und durch ergänzende Lärminderungsstrategien flankiert werden sollten (147).

Anstelle einer fixen Dezibelreduktion zeigen klinische Messungen, dass gepolsterte Inkubatorabdeckungen primär die Schlaforganisation beeinflussen. In einer randomisierten Crossover-Untersuchung an neun stabilen Frühgeborenen wurden mittels aEEG über jeweils 24 Stunden Phasen des ruhigen Schlafes erfasst. Insgesamt unterschieden sich Dauer der ruhigen Schlafperioden und der prozentuale ruhiger Schlafanteil mit und ohne Abdeckung nicht signifikant. Unter Abdeckung korrelierte jedoch ein höheres postnatales Alter mit längeren ruhigen Schlafperioden, und bei Mädchen verlängerten sich die Intervalle zwischen ruhigen Schlafepisoden. Die klinische Tragweite dieser kurzfristigen Effekte bleibt begrenzt und erfordert ergänzende Umwelt- und Lärmschutzmaßnahmen (148).

An diese Evidenz anknüpfend, sollten Inkubatorabdeckungen primär als milieumodulierende Maßnahme verstanden werden. Ihre kurzfristigen Effekte auf die Schlaforganisation erscheinen selektiv und durch Reifung und Geschlecht moderiert, ohne konsistente Verbesserungen zentraler Parameter zu garantieren. Für robuste physiologische Vorteile ist daher die Kopplung mit gezielter Lärmkontrolle und umgebungsbezogenen Protokollen erforderlich (148).

Eine Übersichtsarbeit von Almadhoob und Ohlsson (2015) untersuchte Methoden zur Geräuschreduzierung bei Frühgeborenen und zitierte, obwohl die Datenlage begrenzt war, eine Studie, in der Säuglinge, denen weiche Schaumstoff-Ohrenschützer angelegt wurden, weniger Apnoe-/Bradykardie-Ereignisse hatten als Säuglinge ohne Ohrenschützer, möglicherweise, weil sie weniger durch Geräusche erschreckt wurden (86). Krankenhäuser können solche Ohrenschützer in ihr Protokoll für bekannte laute Ereignisse aufnehmen. Die routinemäßige kontinuierliche Verwendung von Ohrstöpseln in der Neugeborenen-Intensivstation wird jedoch im Allgemeinen nicht empfohlen, da Säuglinge für ihre Entwicklung auch normale Geräusche hören müssen. Dennoch ist in besonders lauten Umgebungen oder bei Baulärm die kurzfristige Verwendung von Gehörschutz für Säuglinge eine Strategie, die von der Leitung genehmigt werden kann. Auf technischer Ebene haben Forscher sogar aktive Geräuschunterdrückungsgeräte

für Inkubatoren entwickelt, im Wesentlichen geräuschunterdrückende Lautsprecher, die an Inkubatoren angebracht werden.

Experimentelle Evidenz aus einem simulierten NICU-Setting zeigt, dass ein inkubatorbasiertes aktives Geräuschunterdrückungssystem klinisch relevante Alarmtöne frequenzselektiv mindern kann. Für typische Gerätealarme wurden am Primärton Dämpfungen von bis zu 14,4 dB erreicht, mit stärkerer Wirkung unterhalb der 2-kHz-Oktave, während höhere Frequenzen nur gering beeinflusst wurden. Hintergrundpegel unter 40 dB(A) blieben praktisch unverändert, was die Zielgerichtetheit auf störende Signalanteile unterstreicht. Da die Untersuchung mit einem Mannequin im Simulationslabor erfolgte, bleibt eine prospektive klinische Validierung zu Schlaf-, Stress- und Sicherheitsendpunkten erforderlich, dennoch weist der Ansatz über passive Maßnahmen hinaus auf ein technisch realisierbares Potenzial zur Expositionsminderung im Inkubator hin (149).

Alarmgeräusche tragen wesentlich zum Gesamtgeräuschpegel in Intensivstationen und Operationssälen bei. Über die manuellen Möglichkeiten des Personals hinaus führen Krankenhäuser intelligente Alarmmanagementsysteme ein, um Alarmmüdigkeit automatisch zu reduzieren. Neue Herzmonitor-Systeme ermöglichen beispielsweise die Bündelung von Alarmen. Sie integrieren mehrere Parameter und geben statt fünf separater Signaltöne einen einzigen kombinierten Alarmton aus. Einige Beatmungsgeräte und Monitore verfügen über einstellbare Mindestalarmdauern. So muss ein Sensor beispielsweise 5 Sekunden lang außerhalb des Bereichs liegen, bevor ein Alarm ausgelöst wird, wodurch kurze Artefaktalarme vermieden werden. Krankenhausverantwortliche können Geräte mit solchen Funktionen auswählen und Standardrichtlinien für deren Verwendung festlegen. Darüber hinaus können Alarm-Eskalationsrichtlinien den Lärm reduzieren. Viele Einrichtungen leiten bestimmte Alarme mittlerweile direkt an den Pager oder das Telefon einer Pflegekraft weiter, anstatt einen akustischen Alarm am Bett auszulösen.

Eine umfassende Beobachtungsstudie in fünf erwachsenen Intensivstationen quantifizierte das Ausmaß des Alarmaufkommens und die hohe Falsch-Positiv-Rate: Über 2,5 Millionen einzigartige Alarme innerhalb von 31 Tagen, darunter 381.560 akustische Signale, entsprachen im Mittel 187 hörbaren Alarmen pro Bett

und Tag; 88,8 Prozent von 12.671 annotierten Arrhythmiealarmen waren falsch. Als zentrale Ursachen wurden ungeeignete Standardeinstellungen, persistierendes Vorhofflimmern, algorithmische Limitationen und Artefakte identifiziert. Daraus leiten die Autorinnen und Autoren systemische Maßnahmen ab, etwa patientenindividuelle Schwellenwerte, konfigurierbare Verzögerungen, die Auswertung aller verfügbaren EKG-Ableitungen zur Artefaktunterdrückung sowie eine klare Priorisierung klinisch relevanter Ereignisse. Diese Evidenz stützt institutionelle Strategien zur Senkung der akustischen Alarmlast bei zugleich gewährter Patientensicherheit (150).

Die Joint Commission in den USA hat das Alarmmanagement als nationales Patientensicherheitsziel anerkannt, was viele Einrichtungen seit 2014 dazu veranlasst hat, diese systemischen Lösungen einzuführen. Für den OP-Bereich verfügen neue Anästhesiegeräte und chirurgische Instrumente häufig über Lautstärkeregelner und intelligenterer Alarme, und Chirurg\*innen können gemeinsam mit Biomedizinern geeignete Standardeinstellungen festlegen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass auf politischer und technologischer Ebene Investitionen in fortschrittliche Alarmsysteme und die Einrichtung von Alarmprotokollen ein wirksames Mittel zur Verringerung der Lärmbelastung sind. Dies erfordert die Zusammenarbeit zwischen klinischen Leiter\*innen, Biomedizintechniker\*innen und IT-Fachpersonal, aber mehrere Fallstudien zeigen, dass dadurch eine erhebliche Lärmreduzierung erzielt werden kann.

Über formale Ruhezeit-Regeln hinaus belegt eine Vorher-nachher-Studie, dass baulich-organisatorische Interventionen die nächtliche und tageszeitliche Lärmbelastung in Kinderintensivstationen substantiell senken können. Nach dem Wechsel von einer Mehrbett- zu einer Einzelzimmer-Station, der Verlagerung des Pflegestützpunktes auf den Flur und der Reduktion lauter Geräte und Alarme sanken die A-bewerteten Durchschnittspegel von etwa 72/64/60 dB(A) am Tag/Abend/Nacht auf 56/54/53 dB(A); die Spitzenpegel gingen von bis zu 91 dB(A) auf circa 74–68 dB(A) zurück. Gleichwohl blieben Grundgeräusche durch Lüftungsanlagen bestehen, was ergänzende akustische Maßnahmen nahelegt. Diese Evidenz stützt die Implementierung struktureller Strategien als wirksame

Ergänzung zu Verhaltens- und Kampagnenansätzen zur Nachtruhe in der Pädiatrie (151).

In ähnlicher Weise haben viele Organisationen des britischen Gesundheitsdienstes NHS „geschützte Schlafzeiten“ als offizielle Richtlinie eingeführt, die auch eine Reduzierung des Lärms beinhalten. Diese Initiativen fallen oft unter die Verbesserung der Patientenerfahrung, kommen aber auch dem Personal zugute, da sie für ruhigere Nachtschichten sorgen. Das HUSH-Projekt (2011) in Australien ist ein weiteres Beispiel. Es handelte sich um eine multimodale Kampagne in mehreren Krankenhäusern zur Reduzierung des nächtlichen Lärms, die das Engagement der Führungskräfte, Mitarbeiterschulungen und Veränderungen der Umgebung umfasste. Zu den Ergebnissen gehörten geringere Geräuschpegel und eine höhere Patientenzufriedenheit mit der Ruhe in der Nacht (130).

Der Schlüssel zu solchen Maßnahmen liegt in der Akzeptanz und Überwachung. Einige Krankenhäuser verwenden Lärmmessgeräte, um die Einhaltung der Vorschriften zu überprüfen, und Abteilungen, die durchgehend leiser sind, können ausgezeichnet werden, was das Verhalten weiter verstärkt. Speziell in Neugeborenen-Intensivstationen können festgelegte Ruhezeiten (die in Abschnitt II als Maßnahme für das Personal behandelt werden) in der Richtlinie formalisiert werden. Beispielsweise könnte eine Neugeborenen-Intensivstation eine schriftliche Richtlinie haben, dass von 13 bis 15 Uhr und von 1 bis 3 Uhr Ruhezeiten sind: Nicht dringende Tests werden vermieden, interdisziplinäre Visiten werden außerhalb dieser Zeiten geplant, sowie Licht und Lärm werden auf ein Minimum reduziert. Um dies durchzusetzen, ist die Unterstützung der Führungskräfte erforderlich, damit beispielsweise routinemäßige Bildgebungsverfahren oder laute Reinigungsarbeiten nicht während der Ruhezeiten durchgeführt werden. Viele Neugeborenen-Intensivstationen in Europa folgen den Grundsätzen des „Newborn Individualized Developmental Care and Assessment Program“ (NIDCAP), zu denen auch geschützte Ruhezeiten gehören. Diese wurden in einigen Regionen auf politischer Ebene verabschiedet. Die Erfahrungen dieser Stationen deuten darauf hin, dass eine solche strukturelle Planung tatsächlich einen Unterschied macht. Im Operationssaal umfassen

übergeordnete Strategien gestalterische Merkmale und Protokolle: Moderne OP-Säle werden mit schallabsorbierenden Wandpaneelen und sogar Geräuschunterdrückungssystemen ausgestattet. Einige neue Operationssäle verfügen über weißes Rauschen oder aktive Geräuschunterdrückung, um Hintergrundgeräusche zu übertönen. Dies befindet sich jedoch noch im Versuchsstadium. Auf der politischen Ebene können die Leiter\*innen der chirurgischen Abteilungen Erwartungen festlegen, z. B. die Begrenzung der Personenzahl im OP, denn jede zusätzliche Person kann Gesprächs- und Bewegungsgeräusche verursachen, oder das Unterlassen von zu lauter Musik.

Dosimetrische Messungen in orthopädischen Operationssälen zeigen, dass der Einsatz leistungsstarker, meist pneumatisch betriebener Instrumente kurzzeitig gehörkritische Schalldruckpegel erzeugt. Während die mittleren Expositionsdosen pro Eingriff zumeist unter den arbeitsmedizinischen Grenzwerten verbleiben, erreichen maximale A-bewertete Pegel während Säge- und Fräsphasen etwa 108 dB(A), und nicht gewichtete Spitzen überschreiten wiederholt 140 dB. Diese Konstellation begründet ein relevantes Risiko für lärminduzierte Hörschädigungen über die berufliche Lebensspanne. Präventiv empfehlen sich situative Gehörschutzmaßnahmen während der lauten Instrumentenphasen, regelmäßige Audiometrie sowie eine Beschaffungspolitik, die Lärmemissionen als Qualitätskriterium berücksichtigt und auf leisere, modernere Werkzeuge setzt. Damit lässt sich die Exposition des OP-Teams senken, ohne Kommunikation und Patientensicherheit zu kompromittieren (152).

Zumindest die Bereitstellung von individuell angepassten Ohrstöpseln für das Personal könnte eine unterstützende Maßnahme der Krankenhausverwaltung sein. Ein häufig übersehener Ansatz ist schließlich die Wartung der Geräte. Krankenhausverwaltungen können im Rahmen ihrer Facility-Management-Richtlinien dafür sorgen, dass Maschinen in gutem Zustand gehalten werden, z. B. durch Schmieren quietschender Wagenräder oder Ersetzen lauter Durchsagen durch leisere Kommunikationsmittel. Sogar die Standardeinstellungen von Alarmen können durch Richtlinien vereinheitlicht werden. Zum Beispiel könnten alle Infusionspumpen standardmäßig auf eine moderate Lautstärke eingestellt werden, anstatt auf die maximale Lautstärke, sofern dies nicht erforderlich ist.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass laut Literatur eine Kombination aus Umgebungsgestaltung und Verwaltungsrichtlinien die idealen Voraussetzungen für eine ruhige Umgebung im Gesundheitswesen schafft. Private oder geschlossene Patientenzimmer bilden die Grundlage für einen niedrigen Grundgeräuschpegel. Schallabsorbierende Konstruktionen und Materialien dämpfen unvermeidbare Geräusche zusätzlich. Investitionen in leisere Geräte, sowohl hinsichtlich der Geräuschentwicklung als auch intelligenterer Algorithmen für Alarmsignale, verhindern übermäßige Lärmentwicklung. Die Einführung unterstützender Richtlinien wie festgelegte Ruhezeiten und Alarmmanagementprotokolle stellt sicher, dass die Arbeitsabläufe des Personals auf eine ruhige Umgebung abgestimmt sind. Die Erfahrungen westlicher pädiatrischer Einrichtungen zeigen, dass diese übergeordneten Maßnahmen zu messbaren Verbesserungen führen: ruhigere Neugeborenen-Intensivstationen, mit Geräuschpegeln, die den Richtlinienwerten nahekommen, weniger Stress für Patient\*innen besserer Schlaf, weniger Sauerstoffschwankungen und möglicherweise auch für das Personal, denn einige Studien zeigen ein geringeres Burnout-Risiko in Abteilungen mit besserer Umgebung. Es gibt Kompromisse und Kosten, da Einzelzimmer mehr Platz und personelle Anpassungen erfordern und akustische Renovierungen mit Kosten verbunden sind. Viele Gesundheitssysteme haben dies jedoch mit den langfristigen Vorteilen für die Patientenergebnisse und die Mitarbeiterbindung gerechtfertigt. Für die Zukunft empfehlen Expert\*innen die Lärmkontrolle als Qualitätsindikator für Krankenhäuser zu betrachten und neue Technologien, wie Lärmüberwachungssysteme, innovative Alarmsysteme, zu nutzen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Ruhe durch die Gestaltung des Systems integriert und durch Richtlinien verstärkt werden kann, wodurch die Belastung für den Einzelnen verringert und eine nachhaltig lärmarme Umgebung ermöglicht wird.

## 7. Diskussion

Die vorliegenden Kapitel zeigen übereinstimmend, dass Lärm in pädiatrischen Gesundheitseinrichtungen von einem „ästhetischen“ Störfaktor zu einem eigenständigen Public-Health-Problem avanciert ist. Physikalisch handelt es sich zwar lediglich um Schallwellen, doch die subjektive Bewertung macht aus Schall einen Stressor, der bei Kindern wegen unreifer auditiver und neuroendokriner Strukturen besonders wirksam ist (7). Messungen in neonatologischen Stationen, sowie Intensivstationen erreichen dauerhaft 55–70 dB(A) mit Spitzen über 80 dB, womit sie die von der WHO für Patientenschlaf empfohlenen 30–35 dB(A) teils um das Doppelte überschreiten (53). Solche Pegel aktivieren bereits bei Frühgeborenen messbar die Hypothalamus-Hypophysen-Nebennieren-Achse, erhöhen Herzfrequenz und Cortisol und führen zu Apnoe-Bradykardie-Episoden. Lärmreduktion senkt diese Marker und verbessert die Gewichtszunahme (45). Über die auditiven Effekte hinaus belegen epidemiologische Studien eine breite systemische Belastung: Chronischer Lärm korreliert mit erhöhtem Blutdruck, gestörter Glukose- und Lipidregulation sowie kognitiven Defiziten, wobei bereits Verkehrspegel um 60 dB(A) die Lesegeschwindigkeit von Schulkindern signifikant mindern (23). Impulslärm, etwa Alarntöne oder unvorhersehbare Gerätegeräusche, löst stärker ausgeprägte Schreck- und Stressreaktionen aus als gleich lauter Dauerlärm und verschlechtert das Arbeitsgedächtnis nachweislich noch am Folgetag (153). Die in Kapitel 3 und 4 diskutierten Studien machen deutlich, dass sich diese Effekte kumulieren: Wiederholte Aktivierung der Stressachsen führt zu einer Abflachung des zirkadianen Cortisolprofils, erschöpft die Immunantwort und fördert inflammatorische Prozesse, die langfristig kardiometabolische Risiken erhöhen (8,40). Kapitel 5 und 6 zeigen, dass technologische und organisatorische Interventionspakete wirksam sind, wenn sie bauliche Schalldämpfung, intelligentes Alarmmanagement und verhaltensorientierte Schulungen kombinieren. Gleichwohl bleibt die Umsetzung lückenhaft, weil Lärm als „unsichtbarer“ Risikofaktor im klinischen Alltag nachrangig behandelt wird.

Die Ergebnisse der Arbeit lassen drei zentrale Schlussfolgerungen zu. Erstens ist Lärm in pädiatrischen Einrichtungen ein vermeidbarer, aber bislang systematisch

unterschätzter Umweltstressor mit klar belegten akuten und chronischen Gesundheitseffekten. Zweitens reichen bestehende Grenzwerte allein nicht aus. Entscheidend ist die Kontrolle kurzzeitiger Spitzengeräusche und hochfrequenter Anteile, die die natürliche intrauterine Filterwirkung unterlaufen. Drittens erfordert wirksames Lärmmanagement ein translationales Vorgehen, das bauliche, technische und verhaltensorientierte Maßnahmen integrativ verankert und durch kontinuierliches Monitoring mit Rückkopplung an das interdisziplinäre Team flankiert wird. Nur so kann eine akustische Umgebung geschaffen werden, die Heilungs-, Reifungs- und Lernprozesse von Kindern fördert und gleichzeitig die Arbeitsbedingungen des Personals verbessert.

## Literaturverzeichnis

1. World Health Organization. Make Listening Safe: A WHO Initiative. 2015.
2. Seidman MD, Standing RT. Noise and Quality of Life. *Int J Environ Res Public Health*. 2010 Oct 19;7(10):3730–8.
3. Lee A, Midgett J, White S. A review of the sound effectiveness of residential smoke alarms. Washington D.C.; 2004.
4. Khajenasiri F, Zamanian A, Zamanian Z. The Effect of Exposure to High Noise Levels on the Performance and Rate of Error in Manual Activities. *Electron Physician*. 2016 Mar 25;8(3):2088–93.
5. Banks J, Fink D. Noise as a Public Health Hazard. *Hear J*. 2022 May;75(5):6.
6. Pickles JO. Auditory pathways. In 2015. p. 3–25.
7. Kujawa SG, Liberman MC. Adding Insult to Injury: Cochlear Nerve Degeneration after “Temporary” Noise-Induced Hearing Loss. *The Journal of Neuroscience*. 2009 Nov 11;29(45):14077–85.
8. Munzel T, Gori T, Babisch W, Basner M. Cardiovascular effects of environmental noise exposure. *Eur Heart J*. 2014 Apr 1;35(13):829–36.
9. Fink D. A new definition of noise: noise is unwanted and/or harmful sound. Noise is the new ‘secondhand smoke’. In 2019. p. 050002.
10. Fink D. What is the safe noise exposure level to prevent noise-induced hearing loss? *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2025 Jan 18;35(1):124–8.
11. Henderson D, Bielefeld EC, Harris KC, Hu BH. The Role of Oxidative Stress in Noise-Induced Hearing Loss. *Ear Hear*. 2006 Feb;27(1):1–19.
12. Liberman MC, Kujawa SG. Cochlear synaptopathy in acquired sensorineural hearing loss: Manifestations and mechanisms. *Hear Res*. 2017 Jun;349:138–47.
13. Natarajan N, Batts S, Stankovic KM. Noise-Induced Hearing Loss. *J Clin Med*. 2023 Mar 17;12(6):2347.
14. Yang L, Gutierrez DE, Guthrie OW. Systemic health effects of noise exposure. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*. 2024 Jan 2;27(1):21–54.
15. Houthuijs D, Lang T, Miedema HME, Vos H. Children’s exposure to environmental noise and cognitive performance. *Noise Health*. 2001;3(10):27–37.
16. Belojević G, Jakovljević B, Paunović K, Stojanov V, Ilić J. Urban road-traffic noise and blood pressure and heart rate in school children. In: 9th Congress of the

- International Commission on Biological Effects of Noise (ICBEN). Mashantucket, Connecticut, USA; 2008. p. 287–92.
17. Clark C, Stansfeld SA. The Effect of Transportation Noise on Health and Cognitive Development: A Review of Recent Evidence. *Int J Comp Psychol*. 2007 Dec 31;20(2).
  18. Basner M, Samel A, Isermann U. Aircraft noise effects on sleep: Application of the results of a large polysomnographic field study. *J Acoust Soc Am*. 2006 May 1;119(5):2772–84.
  19. Stansfeld S, Clark C. Health Effects of Noise Exposure in Children. *Curr Environ Health Rep*. 2015 Jun 26;2(2):171–8.
  20. Evans GW, Lercher P, Meis M, Ising H, Kofler WW. Community noise exposure and stress in children. *J Acoust Soc Am*. 2001 Mar 1;109(3):1023–7.
  21. Cohen S, Evans GW, Glass DC. Apartment noise, auditory discrimination, and reading ability in children. *J Exp Soc Psychol*. 1973;9:407–33.
  22. Bronzaft AL, McCarthy DP. The Effect of Elevated Train Noise On Reading Ability. *Environ Behav*. 1975 Dec 1;7(4):517–28.
  23. Stansfeld S, Berglund B, Clark C, Lopez-Barrio I, Fischer P, Öhrström E, et al. Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: a cross-national study. *The Lancet*. 2005 Jun;365(9475):1942–9.
  24. HAINES MM, STANSFELD SA, JOB RFS, BERGLUND B, HEAD J. Chronic aircraft noise exposure, stress responses, mental health and cognitive performance in school children. *Psychol Med*. 2001 Feb 9;31(2):265–77.
  25. Elmenhorst EM, Elmenhorst D, Wenzel J, Quehl J, Mueller U, Maass H, et al. Effects of nocturnal aircraft noise on cognitive performance in the following morning: dose–response relationships in laboratory and field. *Int Arch Occup Environ Health*. 2010 Oct 9;83(7):743–51.
  26. European Environment Agency. Environmental Noise in Europe 2025 [Internet]. 2025 [cited 2025 Aug 5]. Available from: [https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/environmental-noise-in-europe-2025?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/environmental-noise-in-europe-2025?utm_source=chatgpt.com)
  27. World Health Organization (WHO). WHO Guidelines for Community Noise [Internet]. 2018 [cited 2025 Aug 5]. Available from:

<https://www.who.int/europe/publications/i/item/WHO-EURO-2018-3287-43046-60243>

28. Deutsches Institut für Normung (DIN). DIN 1946-4: Raumluftechnik – Teil 4: Raumluftechnische Anlagen in Gebäuden und Räumen des Gesundheitswesens [Internet]. 2018 [cited 2025 Aug 5]. Available from: [https://www.din.de/de/meta/suche/62730!search?\\_csrf=494c6007-2d1e-4b10-8f6f-8676b024ad14&query=DIN+1946-4%3A+Raumluftechnik+-+Teil+4%3A+Raumluftechnische+Anlagen+in+Gebäuden+und+Räumen+des+Gesundheitswesens#](https://www.din.de/de/meta/suche/62730!search?_csrf=494c6007-2d1e-4b10-8f6f-8676b024ad14&query=DIN+1946-4%3A+Raumluftechnik+-+Teil+4%3A+Raumluftechnische+Anlagen+in+Gebäuden+und+Räumen+des+Gesundheitswesens#)
29. Schlesinger JJ, Burdick K, Baum S, Bellomy M, Mueller D, MacDonald A, et al. Rethinking Clinical Workflow. *Anesthesiol Clin*. 2018 Mar;36(1):99–116.
30. Ruskin KJ, Hueske-Kraus D. Alarm fatigue. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2015 Dec;28(6):685–90.
31. Darbyshire JL, Greig PR, Hinton L, Young JD. Monitoring sound levels in the intensive care unit: A mixed-methods system development project to optimize design features for a new electronic interface in the healthcare environment. *Int J Med Inform*. 2021 Sep;153:104538.
32. Konkani A, Oakley B, Penprase B. Reducing Hospital ICU Noise: A Behavior-Based Approach. *J Healthc Eng*. 2014 Jan 10;5(2):229–46.
33. Witek S, Schmoor C, Montigel F, Grotejohann B, Ziegler S. Sustainable reduction in sound levels on intensive care units through noise management - an implementation study. *BMC Health Serv Res*. 2025 Jan 2;25(1):9.
34. Chawla S, Barach P, Dwaihy M, Kamat D, Shankaran S, Panaitescu B, et al. A targeted noise reduction observational study for reducing noise in a neonatal intensive unit. *Journal of Perinatology*. 2017 Sep 15;37(9):1060–4.
35. Hu L, Liu Q, Yuan H, Lu C, Zhou W. Efficacy of noise reduction bundle in reducing sound levels in a Level II neonatal care unit in China. *Transl Pediatr*. 2020 Dec;9(6):750–6.
36. Chlan LL, Heiderscheit A, Skaar DJ, Neidecker M V. Economic Evaluation of a Patient-Directed Music Intervention for ICU Patients Receiving Mechanical Ventilatory Support\*. *Crit Care Med*. 2018 Sep;46(9):1430–5.
37. Bailey E, Timmons S. Noise levels in PICU: an evaluative study. *Paediatr Nurs*. 2005 Dec;17(10):22–6.

38. Waddington C, van Veenendaal NR, O'Brien K, Patel N. Family integrated care: Supporting parents as primary caregivers in the neonatal intensive care unit. *Pediatr Investig*. 2021 Jun 18;5(2):148–54.
39. Smith SW, Ortmann AJ, Clark WW. Noise in the neonatal intensive care unit: a new approach to examining acoustic events. *Noise Health*. 2018;20(95):121–30.
40. Babisch W. The noise/stress concept, risk assessment and research needs. *Noise Health*. 2002;4(16):1–11.
41. Cohen S, Weinstein N. Nonauditory Effects of Noise on Behavior and Health. *Journal of Social Issues*. 1981 Jan 14;37(1):36–70.
42. Westman JC, Walters JR. Noise and stress: a comprehensive approach. *Environ Health Perspect*. 1981 Oct;41:291–309.
43. Shield BM, Dockrell JE. The Effects of Noise on Children at School: A Review. *Building Acoustics*. 2003 Jun 1;10(2):97–116.
44. Clark C, Paunovic K. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Cognition. *Int J Environ Res Public Health*. 2018 Feb 7;15(2):285.
45. Gholami N, Borimnejad L, Jafari R, Rasouli M, Ranjbar F. Effect of a noise reduction program on stress of premature neonates in neonatal intensive care unit. *Journal of Neonatal Nursing*. 2023 Feb;29(1):194–8.
46. Busch-Vishniac IJ, West JE, Barnhill C, Hunter T, Orellana D, Chivukula R. Noise levels in Johns Hopkins Hospital. *J Acoust Soc Am*. 2005 Dec 1;118(6):3629–45.
47. Shapiro RA, Berland T. Noise in the Operating Room. *New England Journal of Medicine*. 1972 Dec 14;287(24):1236–8.
48. Blomkvist V, Eriksen CA, Theorell T, Ulrich R, Rasmanis G. Acoustics and psychosocial environment in intensive coronary care. *Occup Environ Med*. 2005 Mar;62(3):e1–e1.
49. Tsiou C, Eftymiatis D, Theodossopoulou E, Notis P, Kiriakou K. Noise sources and levels in the evgenidion hospital intensive care unit. *Intensive Care Med*. 1998 Aug;24(8):845–7.
50. Stephens C, Daffurn K, Middleton S. A CQI Approach to the Investigation of Noise Levels within the Intensive Care Unit Environment. *Australian Critical Care*. 1995 Mar;8(1):20–6.

51. Konkani A, Oakley B. Noise in hospital intensive care units—a critical review of a critical topic. *J Crit Care*. 2012 Oct;27(5):522.e1-522.e9.
52. Tsara V, Nena E, Serasli E, Vasileiadis V, Matamis D, Christaki P. Noise levels in Greek hospitals. *Noise Health*. 2008;10(41):110.
53. World Health Organization. Guidelines for community noise: Guideline values. Geneva; 1999.
54. The U.S. Environmental Protection Agency. Information on Levels of Environmental Noise Requisite to Protect Public Health And Welfare With An Adequate Margin of Safety . 1974.
55. Balogh D, Kittinger E, Benzer A, Hackl JM. Noise in the ICU. *Intensive Care Med*. 1993 Jun;19(6):343–6.
56. Hansell HN. The behavioral effects of noise on man: the patient with “intensive care unit psychosis”. *Heart Lung*. 1984 Jan;13(1):59–65.
57. Baker CF. Annoyance to ICU noise. *Crit Care Nurs Q*. 1993 Aug;16(2):83–90.
58. Topf M. Hospital noise pollution: an environmental stress model to guide research and clinical interventions. *J Adv Nurs*. 2000 Mar 9;31(3):520–8.
59. Ulrich RS. Effects of interior design on wellness: theory and recent scientific research. *J Health Care Inter Des*. 1991;3:97–109.
60. Falk SA, Woods NF. Hospital Noise — Levels and Potential Health Hazards. *New England Journal of Medicine*. 1973 Oct 11;289(15):774–81.
61. Van Rompaey B, Elseviers MM, Van Drom W, Fromont V, Jorens PG. The effect of earplugs during the night on the onset of delirium and sleep perception: a randomized controlled trial in intensive care patients. *Crit Care*. 2012 May 4;16(3):R73.
62. Kurmann A, Peter M, Tschan F, Mühlemann K, Candinas D, Beldi G. Adverse effect of noise in the operating theatre on surgical-site infection. *British Journal of Surgery*. 2011 May 27;98(7):1021–5.
63. Watson J, Kinstler A, Vidonish WP, Wagner M, Lin L, Davis KG, et al. Impact of Noise on Nurses in Pediatric Intensive Care Units. *American Journal of Critical Care*. 2015 Sep 1;24(5):377–84.
64. Topf M. Sensitivity to Noise, Personality Hardiness, and Noise-Induced Stress in Critical Care Nurses. *Environ Behav*. 1989 Nov 1;21(6):717–33.

65. The Joint Commission. The Joint Commission Announces New National Patient Safety Goal [Internet]. 2013 [cited 2025 Jul 24]. Available from: [https://essentialhospitals.org/wp-content/uploads/2015/11/JCP0713\\_Announce\\_New\\_NSPG.pdf](https://essentialhospitals.org/wp-content/uploads/2015/11/JCP0713_Announce_New_NSPG.pdf)
66. Kahn JM, Rubenfeld GD, Rohrbach J, Fuchs BD. Cost Savings Attributable to Reductions in Intensive Care Unit Length of Stay for Mechanically Ventilated Patients. *Med Care*. 2008;46(12):1226–33.
67. Deng Z, Xie H, Kang J. The effectiveness of acoustic treatments in general hospital wards in China. *Build Environ*. 2023 Oct;244:110728.
68. Engelmann CR, Neis JP, Kirschbaum C, Grote G, Ure BM. A Noise-Reduction Program in a Pediatric Operation Theatre Is Associated With Surgeon's Benefits and a Reduced Rate of Complications. *Ann Surg*. 2014 May;259(5):1025–33.
69. Hepper PG, Shahidullah BS. Development of fetal hearing. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 1994 Sep 1;71(2):F81–7.
70. Gerhardt KJ, Abrams RM. Fetal Exposures to Sound and Vibroacoustic Stimulation. *Journal of Perinatology*. 2000 Dec 1;20(S1):S21–30.
71. American Academy of Pediatrics Committee on Environmental Health. Noise: A Hazard for the Fetus and Newborn. *Pediatrics*. 1997 Oct 1;100(4):724–7.
72. Strauch C, Brandt S, Edwards-Beckett J. Implementation of a quiet hour: effect on noise levels and infant sleep states. *Neonatal Netw*. 1993 Mar;12(2):31–5.
73. Benini F, Magnavita V, Lago P, Arslan E, Pisan P. Evaluation of Noise in the Neonatal Intensive Care Unit. *Am J Perinatol*. 1996 Jan 4;13(01):37–41.
74. Lahav A, Skoe E. An acoustic gap between the NICU and womb: a potential risk for compromised neuroplasticity of the auditory system in preterm infants. *Front Neurosci*. 2014 Dec 5;8.
75. Graven SN. Sound and the Developing Infant in the NICU: Conclusions and Recommendations for Care. *Journal of Perinatology*. 2000 Dec 1;20(S1):S88–93.
76. Alexandra Elbischger. Lärmbelastung auf Erwachsenen-Intensivstationen: Lärmursachen und deren Auswirkungen auf das Wohlbefinden von Intensivpatienten und Pflegepersonal. LKH-Klagenfurt; 2009.
77. Bremmer P, Byers JF, Kiehl E. Noise and the Premature Infant: Physiological Effects and Practice Implications. *Journal of Obstetric, Gynecologic & Neonatal Nursing*. 2003 Jul;32(4):447–54.

78. Andrew Unger. NICU Noise: 50 Years of Worry, and We're Finally Getting Somewhere! *neonatal INTENSIVE CARE*. 2022;35(1).
79. Chouery N, Dunckley KT. Use of hearing protection in neonatal intensive care unit patients: A systematic review of the evidence. *J Early Hear Detect Interv*. 2018;9(1).
80. Lester BM, Salisbury AL, Hawes K, Dansereau LM, Bigsby R, Luptook A, et al. 18-Month Follow-Up of Infants Cared for in a Single-Family Room Neonatal Intensive Care Unit. *J Pediatr*. 2016 Oct;177:84–9.
81. Catlett AT, Holditch-Davis D. Environmental stimulation of the acutely ill premature infant: physiological effects and nursing implications. *Neonatal Netw*. 1990 Jun;8(6):19–26.
82. Lotas MJ. Effects of light and sound in the neonatal intensive care unit environment on the low-birth-weight infant. *NAACOGS Clin Issu Perinat Womens Health Nurs [Internet]*. 1992 [cited 2025 Jul 12];3(1):34–44. Available from: <https://europepmc.org/article/med/1562445>
83. Saunders AN. Incubator noise: a method to decrease decibels. *Pediatr Nurs*. 1995;21(3):265–8.
84. Elander G, Hellström G. Reduction of noise levels in intensive care units for infants: Evaluation of an intervention program. *Heart & Lung*. 1995 Sep;24(5):376–9.
85. Brown G. NICU Noise and the Preterm Infant. *Neonatal Network*. 2009 May;28(3):165–73.
86. Almadhoob A, Ohlsson A. Sound reduction management in the neonatal intensive care unit for preterm or very low birth weight infants. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2020 Jan 27;2020(1).
87. Blackburn S. Environmental impact of the NICU on developmental outcomes. *J Pediatr Nurs*. 1998 Oct;13(5):279–89.
88. Wachman EM, Lahav A. The effects of noise on preterm infants in the NICU. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2011 Jul 1;96(4):F305–9.
89. Cardoso SMS, Kozłowski L de C, de Lacerda ABM, Marques JM, Ribas A. Newborn physiological responses to noise in the neonatal unit. *Braz J Otorhinolaryngol*. 2015 Nov;81(6):583–8.

90. Khalesi N, Khosravi N, Ranjbar A, Godarzi Z, Karimi A. The effectiveness of earmuffs on the physiologic and behavioral stability in preterm infants. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2017 Jul;98:43–7.
91. Williams A, Sanderson M, Lai D, Selwyn B, Lasky R. Intensive Care Noise and Mean Arterial Blood Pressure in Extremely Low-Birth-Weight Neonates. *Am J Perinatol*. 2009 May 11;26(05):323–9.
92. Li WG, Jiang HB, Gan T, Zhou WX, Chen M. [Effect of noise on the auditory system and the intelligence development of premature infants treated in the neonatal intensive care unit]. *Zhongguo Dang Dai Er Ke Za Zhi*. 2009 Dec;11(12):976–9.
93. Bertelle V, Mabin D, Adrien J, Sizun J. Sleep of preterm neonates under developmental care or regular environmental conditions. *Early Hum Dev*. 2005 Jul;81(7):595–600.
94. Peckins M, Roberts A, Hein T, Mitchell C, Monk C, Hyde L, et al. Early stress, deprivation, and threat as predictors of cortisol, DHEA, and cortisol/DHEA ratios in adolescence. *Psychoneuroendocrinology*. 2019;100:62.
95. Balcı S, Çalıkuşu İncekar M, Taştekin A. The Effect of Noise Meters Giving Visual and Auditory Alarms Used on Reducing Noise in Neonatal Intensive Care Unit. *The Journal of Pediatric Research*. 2021 Nov 11;8(4):456–61.
96. Bentley S, Murphy F, Dudley H. Perceived noise in surgical wards and an intensive care area: an objective analysis. *BMJ*. 1977 Dec 10;2(6101):1503–6.
97. Baker CF. Sensory overload and noise in the ICU: Sources of environmental stress. *Crit Care Nurs Q*. 1984;6(4):66–80.
98. Hilton BA. Noise in acute patient care areas. *Res Nurs Health*. 1985 Sep;8(3):283–91.
99. Corser NC. Sleep of 1- and 2-Year-old Children in Intensive Care. *Issues Compr Pediatr Nurs*. 1996 Jan 10;19(1):17–31.
100. Cureton-Lane RA, Fontaine DK. Sleep in the pediatric ICU: an empirical investigation. *Am J Crit Care*. 1997 Jan;6(1):56–63.
101. Morrison WE, Haas EC, Shaffner DH, Garrett ES, Fackler JC. Noise, stress, and annoyance in a pediatric intensive care unit. *Crit Care Med*. 2003 Jan;31(1):113–9.
102. Milette IH, Carnevale FA. "I'm trying to heal... noise levels in a pediatric intensive care unit." *Dynamics*. 2003;14(4):14–21.

103. Carvalho WB, Pedreira MLG, Aguiar MAL de. Noise level in a pediatric intensive care unit. *J Pediatr (Rio J)*. 2005 Dec 23;81(6):495–8.
104. Kaur H, Rohlik G, Nemergut M, Tripathi S. Comparison of staff and family perceptions of causes of noise pollution in the Pediatric Intensive Care Unit and suggested intervention strategies. *Noise Health*. 2016;18(81):78.
105. Kramer B, Joshi P, Heard C. Noise pollution levels in the pediatric intensive care unit. *J Crit Care*. 2016 Dec;36:111–5.
106. Bosch-Alcaraz A, Fernández-Lorenzo R, Saz-Roy MA, Domínguez-Delso MC, Santaolalla-Bertolin M, Ferrer-Orona M, et al. Comparative analysis of environmental noise levels in two paediatric intensive care units. *Enfermería Intensiva (English ed)*. 2021 Jan;32(1):11–7.
107. Garcia Guerra G, Joffe AR, Sheppard C, Pugh J, Moez EK, Dinu IA, et al. Prospective cohort study on noise levels in a pediatric cardiac intensive care unit. *J Crit Care*. 2018 Apr;44:318–22.
108. Heard C, Kramer B. Noise Pollution in the Pediatric Intensive Care Unit and its Effect on Sedation. *International Journal of Critical Care and Emergency Medicine*. 2018 Jun 30;4(1).
109. Kawai Y, Weatherhead JR, Traube C, Owens TA, Shaw BE, Fraser EJ, et al. Quality Improvement Initiative to Reduce Pediatric Intensive Care Unit Noise Pollution With the Use of a Pediatric Delirium Bundle. *J Intensive Care Med*. 2019 May 1;34(5):383–90.
110. Greenfield KD, Karam O, Iqbal O'Meara AM. Brighter Days May Be Ahead: Continuous Measurement of Pediatric Intensive Care Unit Light and Sound. *Front Pediatr*. 2020 Oct 26;8.
111. Kracht JM, Busch-Vishniac IJ, West JE. Noise in the operating rooms of Johns Hopkins Hospital. *J Acoust Soc Am*. 2007 May 1;121(5):2673–80.
112. Braz JRC, Vane LA, Silva AER. Tratado de Anestesiologia. In: *Profissional do Anestesiologista [Internet]*. 6th ed. São Paulo: Editora Atheneu; 2006 [cited 2025 Aug 8]. p. 69–76. Available from: <https://asja.springeropen.com/articles/10.1186/s42077-020-00070-1#ref-CR1>
113. Murthy VSSN, Malhotra SK, Bala I, Raghunathan M. Detrimental effects of noise on anaesthetists. *Canadian Journal of Anaesthesia*. 1995 Jul;42(7):608–11.

114. Liu EHC, Tan SM. Patients' perception of sound levels in the surgical suite. *J Clin Anesth.* 2000 Jun;12(4):298–302.
115. Hasfeldt D, Maindal HT, Toft P, Birkelund R. Patients' Perception of Noise in the Operating Room—A Descriptive and Analytic Cross-Sectional Study. *Journal of PeriAnesthesia Nursing.* 2014 Oct;29(5):410–7.
116. Monaghan M, Abdelaal Ahmed Mahmoud M, Alkhatip A, Holmes C. Too noisy to sleep safely?—An observational study of noise levels and distractions during critical phases of pediatric anesthesia. *Pediatric Anesthesia.* 2020 Dec 27;30(12):1402–8.
117. Hekimoglu Sahin S, Duran R, Basaran UN, Sut N, Colak A, Duran S. Is music the food of the anesthesia in children? *World Journal of Pediatric Surgery.* 2022 Mar 2;5(2):e000328.
118. Bozych M, Tram NK, Rice-Weimer J, Cartabuke RS, Tobias JD, Huffman J, et al. Operating Room Noise Environment and Behavior in Children Undergoing General Anesthesia: A Randomized Controlled Trial. *Anesthesiol Res Pract.* 2024 Jan 15;2024(1).
119. Crockett CJ, Nylander VE, Wooten EJ, Menser CC. The emergence noise reduction quality improvement initiative to enhance patient safety and quality of care. *Pediatric Anesthesia.* 2022 Nov 15;32(11):1262–9.
120. Yu C V., Foglia J, Yen P, Montemurro T, Schwarz SKW, MacDonell SY. Noise in the operating room during induction of anesthesia: impact of a quality improvement initiative. *Canadian Journal of Anesthesia/Journal canadien d'anesthésie.* 2022 Apr 10;69(4):494–503.
121. Fu VX, Oomens P, Merkus N, Jeekel J. The Perception and Attitude Toward Noise and Music in the Operating Room: A Systematic Review. *Journal of Surgical Research.* 2021 Jul;263:193–206.
122. Topf M, Dillon E. Noise-induced stress as a predictor of burnout in critical care nurses. *Heart Lung.* 1988 Sep;17(5):567–74.
123. Gurses AP, Carayon P. Performance Obstacles of Intensive Care Nurses. *Nurs Res.* 2007 May;56(3):185–94.
124. Schmidt N, Gerber SM, Zante B, Gawliczek T, Chesham A, Gutbrod K, et al. Effects of intensive care unit ambient sounds on healthcare professionals: results

- of an online survey and noise exposure in an experimental setting. *Intensive Care Med Exp*. 2020 Dec 23;8(1):34.
125. Choiniere DB. The Effects of Hospital Noise. *Nurs Adm Q*. 2010 Oct;34(4):327–33.
  126. Bringel JM de A, Abreu I, Muniz MCMC, de Almeida PC, Silva MRG. Excessive Noise in Neonatal Units and the Occupational Stress Experienced by Healthcare Professionals: An Assessment of Burnout and Measurement of Cortisol Levels. *Healthcare*. 2023 Jul 12;11(14):2002.
  127. Keller S, Tschan F, Beldi G, Kurmann A, Candinas D, Semmer NK. Noise peaks influence communication in the operating room. An observational study. *Ergonomics*. 2016 Dec 1;59(12):1541–52.
  128. Keller S, Tschan F, Semmer NK, Holzer E, Candinas D, Brink M, et al. Noise in the Operating Room Distracts Members of the Surgical Team. An Observational Study. *World J Surg*. 2018 Dec 5;42(12):3880–7.
  129. Johnson AN. Adapting the Neonatal Intensive Care Environment to Decrease Noise. *J Perinat Neonatal Nurs*. 2003 Oct;17(4):280–8.
  130. Gennattasio A, Carter B, Maffei D, Turner B, Weinberger B, Boyar V. Reducing Noise in the NICU. *Advances in Neonatal Care*. 2024 Aug;24(4):333–41.
  131. Milette I. Decreasing Noise Level in Our NICU. *Advances in Neonatal Care*. 2010 Dec;10(6):343–51.
  132. Lokwani P, Gupta N, Choudhary SK, Singh AK. Noise survey of neonatal intensive care unit at a government tertiary-care centre. *J Neonatal Perinatal Med*. 2023 Dec 18;16(4):619–25.
  133. Biabanakigoortani A, Namnabati M, Abdeyazdan Z, Badii Z. Effect of peer education on the noise management in Iranian neonatal intensive care unit. *Iran J Nurs Midwifery Res*. 2016;21(3):317–21.
  134. Lawless ST. Crying wolf: false alarms in a pediatric intensive care unit. *Crit Care Med*. 1994 Jun;22(6):981–5.
  135. Siebig S, Kuhls S, Imhoff M, Gather U, Schölmerich J, Wrede CE. Intensive care unit alarms—How many do we need?\*. *Crit Care Med*. 2010 Feb;38(2):451–6.
  136. Cho OM, Kim H, Lee YW, Cho I. Clinical Alarms in Intensive Care Units: Perceived Obstacles of Alarm Management and Alarm Fatigue in Nurses. *Healthc Inform Res*. 2016;22(1):46.

137. Way JT, Long A, Weihing J, Ritchie R, Jones R, Bush M, et al. Effect of Noise on Auditory Processing in the Operating Room. *J Am Coll Surg*. 2013 May;216(5):933–8.
138. Stevens DC, Helseth CC, Thompson PA, Pottala J V., Khan MA, Munson DP. A Comprehensive Comparison of Open-Bay and Single-Family-Room Neonatal Intensive Care Units at Sanford Children’s Hospital. *HERD: Health Environments Research & Design Journal*. 2012 Jul 1;5(4):23–39.
139. Lester BM, Hawes K, Abar B, Sullivan M, Miller R, Bigsby R, et al. Single-Family Room Care and Neurobehavioral and Medical Outcomes in Preterm Infants. *Pediatrics*. 2014 Oct 1;134(4):754–60.
140. White RD. Recommended standards for newborn ICU design, 9th edition. *Journal of Perinatology*. 2020 Sep 28;40(S1):2–4.
141. Pineda RG, Stransky KE, Rogers C, Duncan MH, Smith GC, Neil J, et al. The single-patient room in the NICU: maternal and family effects. *Journal of Perinatology*. 2012 Jul 27;32(7):545–51.
142. Simons KS, Park M, Kohlrausch A, van den Boogaard M, Pickkers P, de Bruijn W, et al. Noise pollution in the ICU: time to look into the mirror. *Crit Care*. 2014 Aug 27;18(4):493.
143. de Lima Andrade E, da Cunha e Silva DC, de Lima EA, de Oliveira RA, Zannin PHT, Martins ACG. Environmental noise in hospitals: a systematic review. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021 Apr 5;28(16):19629–42.
144. The Facility Guidelines Institute. *Guidelines for Design And Construction of Health Care Facilities*. 2010.
145. Jonescu EE, Farrel B, Ramanayaka CE, White C, Costanzo G, Delaney L, et al. Mitigating Intensive Care Unit Noise: Design-Led Modeling Solutions, Calculated Acoustic Outcomes, and Cost Implications. *HERD: Health Environments Research & Design Journal*. 2024 Jul 21;17(3):220–38.
146. Restin T, Gaspar M, Bassler D, Kurtcuoglu V, Scholkmann F, Haslbeck FB. Newborn Incubators Do Not Protect from High Noise Levels in the Neonatal Intensive Care Unit and Are Relevant Noise Sources by Themselves. *Children*. 2021 Aug 16;8(8):704.

147. Fernández-Zacarías F, Beira-Jiménez JL, Puyana-Romero V, Hernández-Molina R. Diagnosis of Noise Inside Neonatal Incubators under Free-Field Conditions. *Acoustics*. 2023 Mar 26;5(2):354–66.
148. Hellström-Westas L, Inghammar M, Isaksson K, Rosén I, Stjernqvist K. Short-term effects of incubator covers on quiet sleep in stable premature infants. *Acta Paediatr*. 2001 Sep 2;90(9):1004–8.
149. Hutchinson G, Du L, Ahmad K. Incubator-based Sound Attenuation: Active Noise Control In A Simulated Clinical Environment. *PLoS One*. 2020 Jul 15;15(7):e0235287.
150. Drew BJ, Harris P, Zègre-Hemsey JK, Mammone T, Schindler D, Salas-Boni R, et al. Insights into the Problem of Alarm Fatigue with Physiologic Monitor Devices: A Comprehensive Observational Study of Consecutive Intensive Care Unit Patients. *PLoS One*. 2014 Oct 22;9(10):e110274.
151. Kol E, Aydın P, Dursun O. The effectiveness of environmental strategies on noise reduction in a pediatric intensive care unit: Creation of single-patient bedrooms and reducing noise sources. *Journal for Specialists in Pediatric Nursing*. 2015 Jul 6;20(3):210–7.
152. Love H. Noise exposure in the orthopaedic operating theatre: a significant health hazard. *ANZ J Surg*. 2003 Oct 9;73(10):836–8.
153. Stansfeld S, Hygge S, Clark C, Alfred T. Night time aircraft noise exposure and children's cognitive performance. *Noise Health*. 2010;12(49):255.

Zur sprachlichen Optimierung dieser Diplomarbeit wurden teilweise KI-Programme wie DeepL write oder ChatGPT verwendet.