

Schallexposition und -wirkung auf einer neonatologischen Intensivstation

Christian Adams¹, Regine Stutz², Elisabeth Kaiser², Michelle Bous², Sybelle Goedicke-Fritz², Franziska Hornberger², Michael Zemlin²

¹Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Maschinenbau,
Fachgebiet Systemzuverlässigkeit, Adaptronik und Maschinenakustik SAM,
Otto-Berndt-Straße 2, 64287 Darmstadt

E-Mail: christian.adams@sam.tu-darmstadt.de

²Universitätsklinikum des Saarlandes,
Gebäude 9, 66421 Homburg

Einleitung

Eine erhöhte Schallexposition von Neugeborenen, die auf neonatologischen Intensivstationen behandelt werden, wirkt sich akut auf Vitalfunktionen wie Herzschlag, Blutdruck oder Atmung aus und scheint das Risiko von Hörverlusten sowie von neurologischen Entwicklungsstörungen zu erhöhen. In diesem Beitrag werden die medizinischen Implikationen einer erhöhten Schallexposition diskutiert und das Potenzial einer akustikgerechten Gestaltung beschrieben. Anhand von akustischen Messungen an einem Inkubator auf einer neonatologischen Intensivstation (NICU) wird die akustische Umgebung im Klinikalltag untersucht. Dazu werden mehrere typische Situationen im Klinikalltag simuliert und Akustikmessungen durchgeführt. Inkubatoren bieten einerseits geeignete Umgebungsbedingungen für Frühgeborene und ermöglichen therapeutische Eingriffe und Überwachung von Vitalfunktionen. Andererseits erzeugen die Systemkomponenten des Inkubators Geräusche z. B. Überwachungsalarne, Geräusche der Atemunterstützung oder Geräusche durch das Öffnen und Schließen von Klappen während der Behandlung. Basierend auf den Messergebnissen werden typische Geräusche analysiert und hinsichtlich ihrer Schallexposition im Inkubator bewertet. Dies legt die Grundlage für eine akustikgerechte Gestaltung von Inkubatoren sowie neonatologischen Intensivstationen.

Schallwirkung auf Neugeborene

Erhöhte Schallexposition im Inkubator kann bei Frühgeborenen Schlafstörungen hervorrufen, die Herz- und Atemfrequenz verändern sowie negative Auswirkungen auf den Blutdruck und die Sauerstoffsättigung haben [1, 2, 3, 4]. Ein kausaler Zusammenhang zwischen Inkubatortherapie und späteren Hörbeeinträchtigungen konnte zwar bislang nicht nachgewiesen werden. Dennoch zeigen sich bei 52 % der Frühgeborenen nach einer Inkubatortherapie Effekte im Audiogramm [3, 5]. Da diese Effekte lebenslang erhalten bleiben, erscheint es notwendig, Inkubatoren akustikgerecht zu gestalten, um die Schallexposition im Inkubator zu reduzieren.

Akustikmessungen am Inkubator

Die Akustikmessungen wurden im März 2019 im Klinikalltag der NICU der Klinik für Allgemeine Pädiatrie und Neonatologie, Universitätsklinikum des Saarlandes,

Homburg durchgeführt. Es wurden mehrere typische Ereignisse des Klinikalltags simuliert und akustisch vermessen, so dass die Ereignisse hinsichtlich ihrer Schallexposition priorisiert werden können. Die Untersuchung wurde bei der Ethikkommission der Saarländischen Ärztekammer angezeigt und von dieser zustimmend zur Kenntnis genommen (163/21). Die Messung wurde unter Einhaltung der üblichen Hygienemaßnahmen durchgeführt. Ein Inkubator (Thermocare Vita WY2400, Weyer GmbH, Kürten) wurde gemäß Abbildung 1 mikrofoniert. Das Raummikrofon wurde 250 mm über dem Inkubator angebracht. Es zeichnet die Geräusche im Behandlungsraum auf. Im Inneren des Inkubators wurden drei Mikrofone platziert: Ein Mikrofon wurde über dem Kopf des Neugeborenen mit einem Abstand von ca. 50 mm vom oberen Teil des Inkubatordeckels positioniert. Zwei Mikrofone wurden am Fußende jeweils ca. 50 mm durch die Kabeldurchführungen gesteckt. Bei den Untersuchungen zeigt sich, dass an den drei Mikrofonen im Inneren qualitativ ähnliche Schalldrücke gemessen werden [6]. Daher wird nur das Mikrofon im Kopfbereich des Neugeborenen für die weitere Analyse betrachtet.

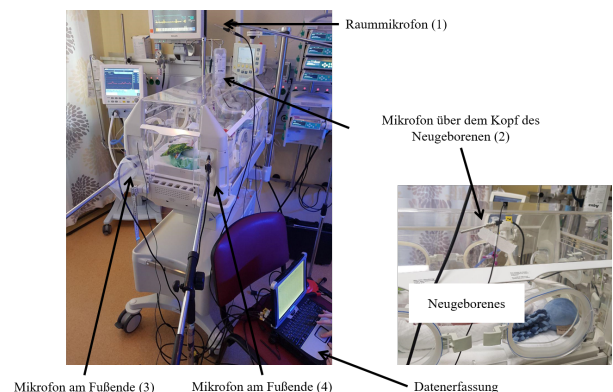


Abbildung 1: Messaufbau am Inkubator

Ergebnisse

Zunächst wird der äquivalente Dauerschallpegel L_{eq} über die gesamte Messdauer (hier: 10 Minuten) ermittelt. Zudem wird der Schalldruckpegel in Abhängigkeit von der Zeit analysiert. Dabei können mehrere Ereignisse identifiziert werden, die erhöhte Schalldruckpegel zur Folge haben [6]. Die A-bewerteten Schalldruckpegel und die unbewerteten Schalldruckpegel dieser Einzelereignisse sind

in Abbildung 2 bzw. 3 im Vergleich zum L_{eq} über die gesamte Messdauer von 10 Minuten dargestellt. Tabelle 1 beschreibt die Bedeutung der Einzelereignisse. Weitere Ereignisse, die simuliert wurden, können zwar in den Aufnahmen gehört werden. Ihre Schalldruckpegel liegen aber unterhalb des L_{eq} , so dass diese Ereignisse zunächst nicht weiter analysiert werden [6]. Den höchsten A-bewerteten

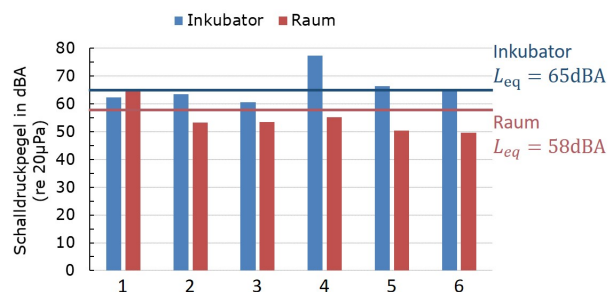


Abbildung 2: A-bewerteter Schalldruckpegel für verschiedene Einzelereignisse gemäß Tabelle 1

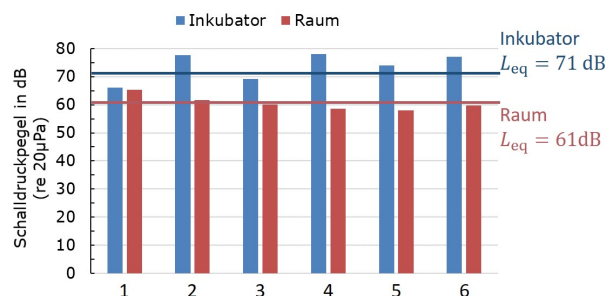


Abbildung 3: unbewerteter Schalldruckpegel für verschiedene Einzelereignisse gemäß Tabelle 1

Tabelle 1: Bedeutung der Ereignisse in Abbildung 2 und 3

Nummer	Bedeutung
1	Waage benutzen
2	Neigungswinkel einstellen
3	Schubladen öffnen/schließen
4	Verpackung einer Kompresse öffnen (Inkubatortür offen)
5	Fußklappe öffnen/schließen
6	große Seitenklappe öffnen/schließen

Schalldruckpegel ruft das Öffnen der Verpackung einer Kompresse (Ereignis 4 nach Tabelle 1) bei geöffneter Inkubatortür hervor. Dieses Geräusch tritt kurzzeitig auf und erhöht vor allem die Schallexposition im Inkubator. Außerhalb des Inkubators (Raummikrofon) liegt der Schalldruckpegel im Bereich des L_{eq} . Alle anderen simulierten Ereignisse liegen im Bereich des A-bewerteten L_{eq} oder darunter. Das Einstellen des Neigungswinkels (2), das Öffnen und Schließen der Fußklappe (5) sowie der großen Seitenklappe (6) führt zu höheren unbewerteten Schalldruckpegeln (siehe Abbildung 3). Demnach erzeugen diese Ereignisse eher tieffrequente Geräusche, die hauptsächlich im Inkubator gemessen werden können. Folglich erhöhen diese Ereignisse die Schallexposition im Inkubator.

Der im Vergleich zum Raummikrofon erhöhte L_{eq} im Inneren des Inkubators wird maßgeblich durch die Beatmung des Neugeborenen verursacht. Abbildung 4 zeigt den A-bewerteten Schalldruckpegel über der Zeit für drei Atemzyklen sowie den zugehörigen L_{eq} zwischen den einzelnen „Atemhüben“. Die „Atemhübe“ weisen einen um ca. 3,5 dB höheren L_{eq} auf. Der Spitzenwert steigt um 6,4 dB auf 66,4 dBA. Das Schalldruckpegelspektrum in Abbildung 5 zeigt, dass jeder „Atemhub“ insbesondere oberhalb von 6 kHz den Schalldruckpegel erhöht im Vergleich zum Zustand zwischen zwei „Atemhüben“ (in Abbildung 5 als Grundgeräusch bezeichnet). Wird die Beatmung vollständig abgeschaltet, sinkt der Schalldruckpegel im Inkubator oberhalb von 1 kHz unter den des Raummikrofons. Das heißt bei abgeschalteter Beatmung wirkt die Inkubatorhaube schallabsorbierend für Außengeräusche. Das Atemgeräusch ist breitbandig mit Frequenzanteilen oberhalb von 1 kHz, so dass im Inneren des Inkubators die Schallexposition höher ist als im umgebenden Raum.

Akustikgerechte Gestaltung

Die Ergebnisse zeigen, dass zunächst der Inkubator sowie die Beatmungseinheit akustikgerecht gestaltet werden sollten. Für den Inkubator sind zum einen technische Lösungen auszulegen, sodass die identifizierten Einzelereignisse (vgl. Tabelle 1) zu einer deutlich geringeren Schallabstrahlung in den Inkubatorinnenraum führen. Zum anderen kann eine strömungsakustische Optimierung der Beatmungseinheit in Betracht kommen. Inwieweit hier Potenzial besteht, Beatmungsgeräusche zu reduzieren, muss in weiteren Untersuchungen geklärt werden. Neben den technischen Lösungen sollten zusätzlich auch organisatorische Maßnahmen für die akustikgerechte Gestaltung umgesetzt werden. Beispielsweise sollten medizinische Verpackungen, sofern mit der guten klinischen Praxis der Krankenhaushygiene vereinbar, bei geschlossener Inkubatortür geöffnet werden, um kurzzeitig erhöhte Schallexpositionen im Inkubator zu vermeiden. Ebenso könnte auch die Beatmungszeit unter Abwägung medizinischer Aspekte optimiert werden, um die Schallexposition durch Beatmungsgeräusche zu reduzieren.

Danksagung

Wir danken Herrn Micha Süss und Herrn Felix Reissner für die Durchführung der Messungen am Inkubator.

Literatur

- [1] Zahr, L.K., Balian, S.: Responses of premature infants to routine nursing interventions and noise in the NICU. *Nursing Research* 44, 1995, S. 179–185
- [2] Wharrad, H.J., Davis, A.C.: Behavioural and autonomic responses to sound in pre-term and full-term babies. *British Journal of Audiology* 31, 1997, S. 315–329
- [3] Wachman, E.M., Lahav, A.: The effects of noise on preterm infants in the NICU. *Archives of Disease in Childhood – Fetal and Neonatal Edition* 96, 2011, S. F305–309
- [4] Kuhn, P., Zores, C., Pebayle, T., Hoefft, A., Langlet,

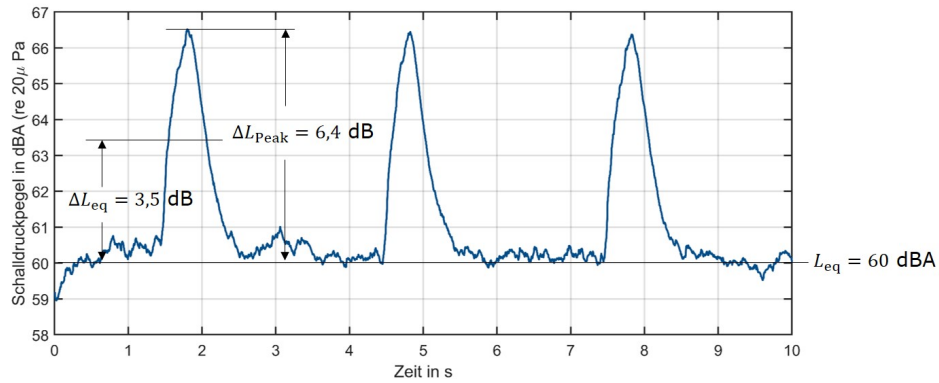


Abbildung 4: A-bewerteter Schalldruckpegel in Abhängigkeit von der Zeit für drei Atemzyklen

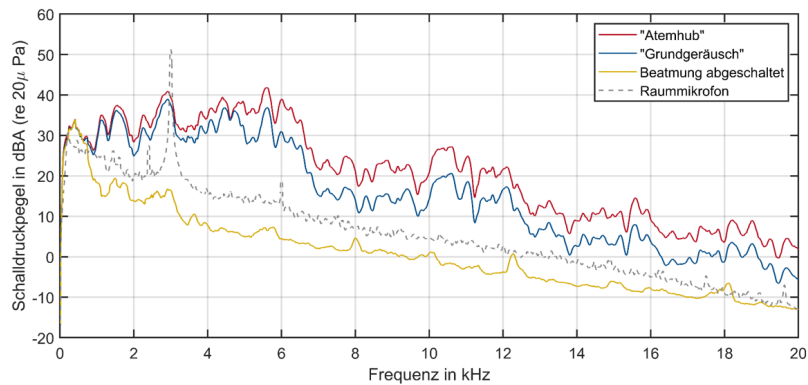


Abbildung 5: A-bewertete Schalldruckpegelspektren der Beatmungsgeräusche sowie im Raum

C., Escande, B., Astruc, D., Dufour, A.: Infants born very preterm react to variations of the acoustic environment in their incubator from a minimum signal-to-noise ratio threshold of 5 to 10 dBA. *Pediatric Research* 71, 2012, S. 386–392

- [5] Winkel, S., Bonding, P., Larsen, P.K., Roosen, J. Possible effects of kanamycin and incubation in newborn children with low birth weight. *Acta Paediatrica Scandinavica* 67, 1978, S. 709–715
- [6] C. Adams, R. Stutz, E. Kaiser, M. Bous, S. Goedicke-Fritz, F. Hornberger, M. Zemlin : Noise control engineering on neonatal incubators. In: *Inter-noise 2021*, Washington, DC, USA, 1.–5. August 2021