

# Von ABC bis SPL - Geräuschpegel in Inkubatoren

Christoph Reuter<sup>1</sup>, Marcus Mäder<sup>2</sup>, Isabella Czedik-Eysenberg<sup>1</sup>, Lisa Bartha-Doering<sup>3</sup>, Philipp Deindl<sup>4</sup>, Matthias Bertsch<sup>5</sup>, Angelika Berger<sup>3</sup>, Vito Giordano<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institut für Musikwissenschaft der Universität Wien

<sup>2</sup> Institut für Akustik und Schwingungstechnik, Mäder – beratende Ingenieure, München

<sup>3</sup> Wiener Allgemeines Krankenhaus (AKH), Universitätsklinikum, Wien

<sup>4</sup> Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Hamburg

<sup>5</sup> Universität für Musik und Darstellende Kunst, MDW Wien



universität  
wien



Jahrestagung 2021  
Würzburg (Zoom)  
2.-3. September 2021

## Hintergrund I: Die akustische Situation im Inkubator

2-10% der Frühgeborenen leiden an **Hörstörungen** oder **Hörverlust** (Normalbevölkerung: 0.1%, Wroblewska-Seniuk et al. 2017). Nahezu **50%** der Frühgeborenen leiden im Alter von drei Jahren an **Defiziten im Spracherwerb** (Foster-Cohen et al. 2007; Ribeiro et al. 2011). Der **Geräuschpegel** in Inkubatoren liegt meist deutlich **höher** als der von der AAP (1997) empfohlene Pegel von **45 dB**. In den meisten Fällen liegt der **Ruhepegel** bei etwa **57 dB** und steigt beim Hantieren/Öffnen der Box auf einen **Spitzenpegel** von **82-117 dB** an.

### Die Akustische Situation im Inkubator:

- Hoher **Innengeräuschpegel**, besonders im **hochfrequenten** Bereich (während der Beatmung).  
**Im Mutterleib:** ca. **57 dB** Grundpegel, besonders im **tiefrequenten** Bereich (Satt 1987).
- **Dämpfung** von externen Geräuschen, besonders **Stimmen** von außen sind **schlecht** wahrnehmbar.  
**Im Mutterleib:** unter 300 Hz: Schallübertragung wie in der Luft, über 300 Hz: Dämpfung um 5db/Okt. (**Mutterstimme** ist **gut** wahrnehmbar, Abrams 1998)
- Hoher **Körperschallanteil**: Kontakte mit den Wänden (Klopfen, medizinische Geräte, Türen) werden akustisch stark **verstärkt**.  
**Im Mutterleib:** nur die **Stimme der Mutter** wird durch Körperschall verstärkt
- **Hohlraum** der Inkubatorbox hat **Resonanzfrequenzen** im tiefen Frequenzbereich.  
**Im Mutterleib:** Resonanzen über 10 kHz wurden berechnet, haben keine Auswirkung (Diwan et al. 2019)



Dräger Isolette 8000 Inkubator



<https://muwiserver.synology.me/inkubator>  
VR Incubator Experience (Bertsch, Reuter et al. 2020)

## Hintergrund II: Gemessene Pegelwerte im Inkubator

Messung mit **2 Esper K4 Messmikrofonen**:

- **Im Inkubator:** am Ohr der Simulationspuppe, **37 cm** unter der Decke der Inkubatorbox.
- **Außerhalb des Inkubators:** **37 cm** oberhalb der Inkubatorbox (gespiegelt zum Ohr der Simulationspuppe).
- Mikrofone bei 1000 Hz auf **114 dB** kalibriert, zusätzlicher Abgleich mit **NTi XL2 Acoustic Analyzer**.

**Toolboxen für die weitere Auswertung:**

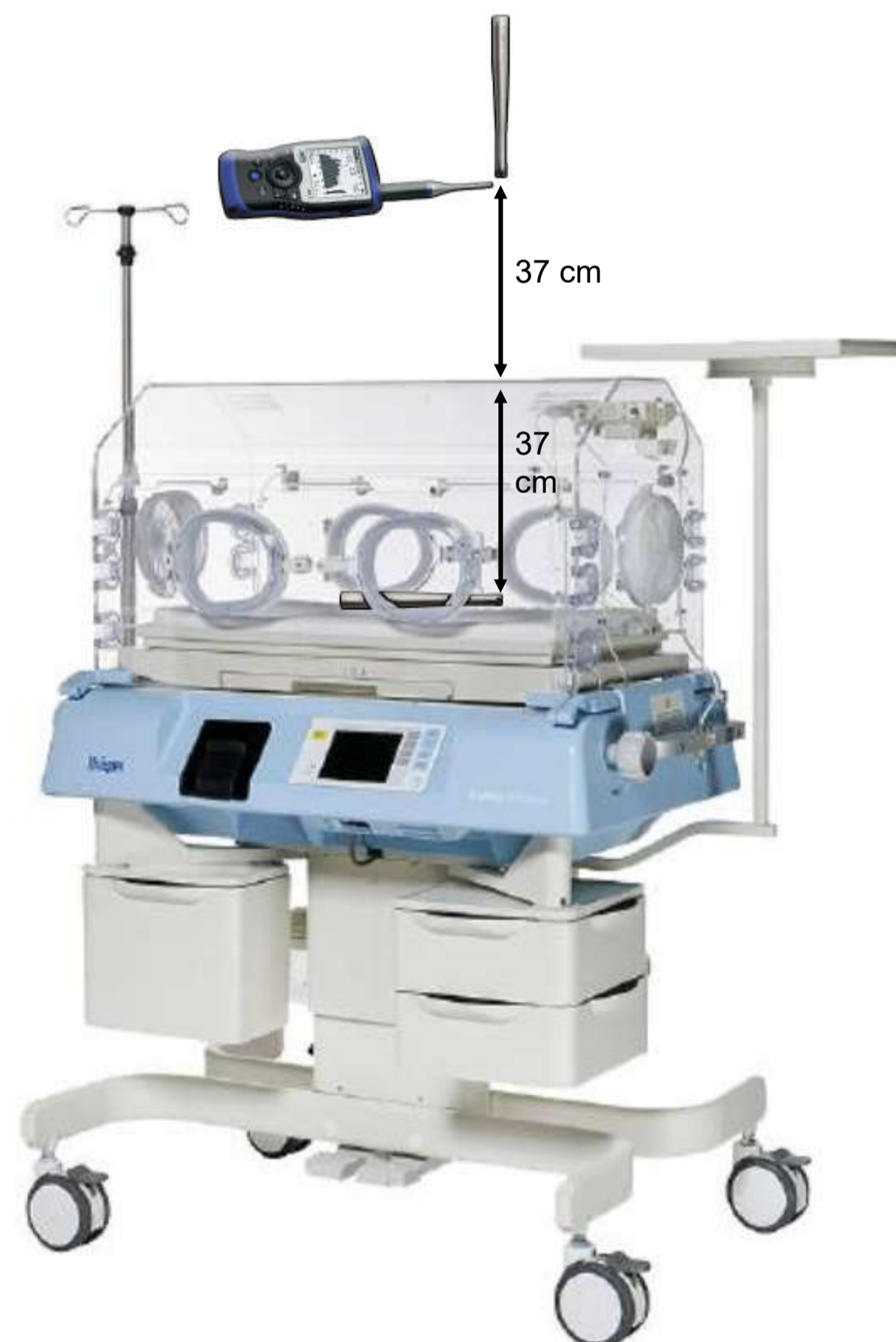
MIRToolbox (Lartillot, Toivianen 2007), Timbre Toolbox

(Peeters et al. 2011), **Essentia** (Bogdanov et al. 2013),

**AudioCommons Timbral Models** (Pearce et al. 2019),

**MiningSuite** (Lartillot 2019) und **Brüel & Kjaer: BK**

**Connect.**



Messaufbau mit zwei Messmikrofonen

Messung	dB <sub>A</sub> Literatur	dB <sub>A</sub> eigene Messung	dB <sub>SPL</sub> Literatur	dB <sub>SPL</sub> eigene Messung
Grundpegel	38-79 dB <sub>A</sub>	51 dB <sub>A</sub>	36-80 dB <sub>SPL</sub>	63 dB <sub>SPL</sub>
Respirator	51-73 dB <sub>A</sub>	64-85 dB <sub>A</sub>	80-83 dB <sub>SPL</sub>	64-93 dB <sub>SPL</sub>
Türgeräusche	67-111 dB <sub>A</sub>	75-100 dB <sub>A</sub>	91-114 dB <sub>SPL</sub>	81-101 dB <sub>SPL</sub>
Objekte auf Inkubator	71-108 dB <sub>A</sub>	95-98 dB <sub>A</sub>	62-64 dB <sub>SPL</sub>	95-99 dB <sub>SPL</sub>
An Inkubator klopfen	68-110 dB <sub>A</sub>	87 dB <sub>A</sub>	130-140 dB <sub>SPL</sub>	92 dB <sub>SPL</sub>

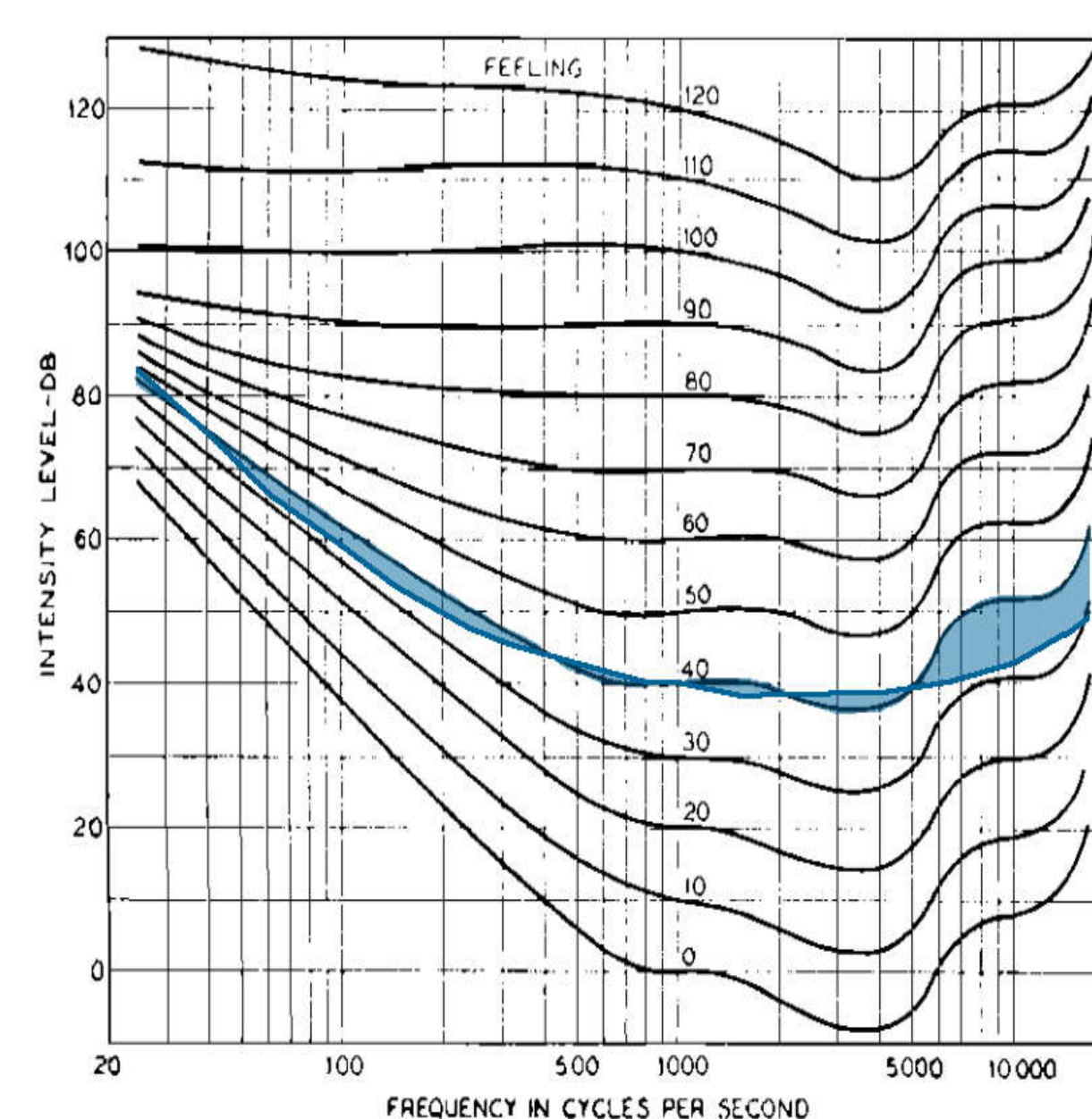
Quellen für dB<sub>A</sub>-Messungen: dePaul 1959; Falk, Farmer 1973; Blennow et al. 1974; Bess et al. 1979; Anagnostakis et al. 1980; Thomas 1989; Nzama 1992; Alvarez Abril et al. 2007; Altuncu et al. 2009; Lasky et al. 2009; Liu 2010; Berg 2010; Pinheiro et al. 2011; Manik et al. 2012; Duran et al. 2012; Bertsch et al. 2020  
Quellen für dB<sub>SPL</sub>-Messungen: Seleny 1969; Falk, Farmer 1973; Blennow et al. 1974; Bess et al. 1979; Benini et al. 1996; Surenthiran et al. 2003; Abril et al. 2007; Bertsch et al. 2020

## Fragestellung: dB<sub>A</sub> oder dB<sub>SPL</sub>?

**A-Bewertung** wurde ursprünglich für die Berücksichtigung der frequenzabhängigen Sensitivität des Ohrs entlang der **40-Phon-Kurve** eingeführt (McCurdy 1936).

Die A-Bewertung entspricht jedoch **nicht ganz** der 40-Phon-Kurve. Breitbandige Geräusche werden um **10-20 dB** zu niedrig eingeschätzt (Reichardt 1966, S. 16)

Sowohl die Pegel **tiefer Frequenzen** (unter **400 Hz**) als auch die Pegel **hoher Frequenzen** (über **5000 Hz**) fallen in A-Bewertung gemessen **niedriger** aus als sie eigentlich sind (sowohl gegenüber der 40-Phon-Kurve als auch gegenüber dem dB<sub>SPL</sub>-Pegel)

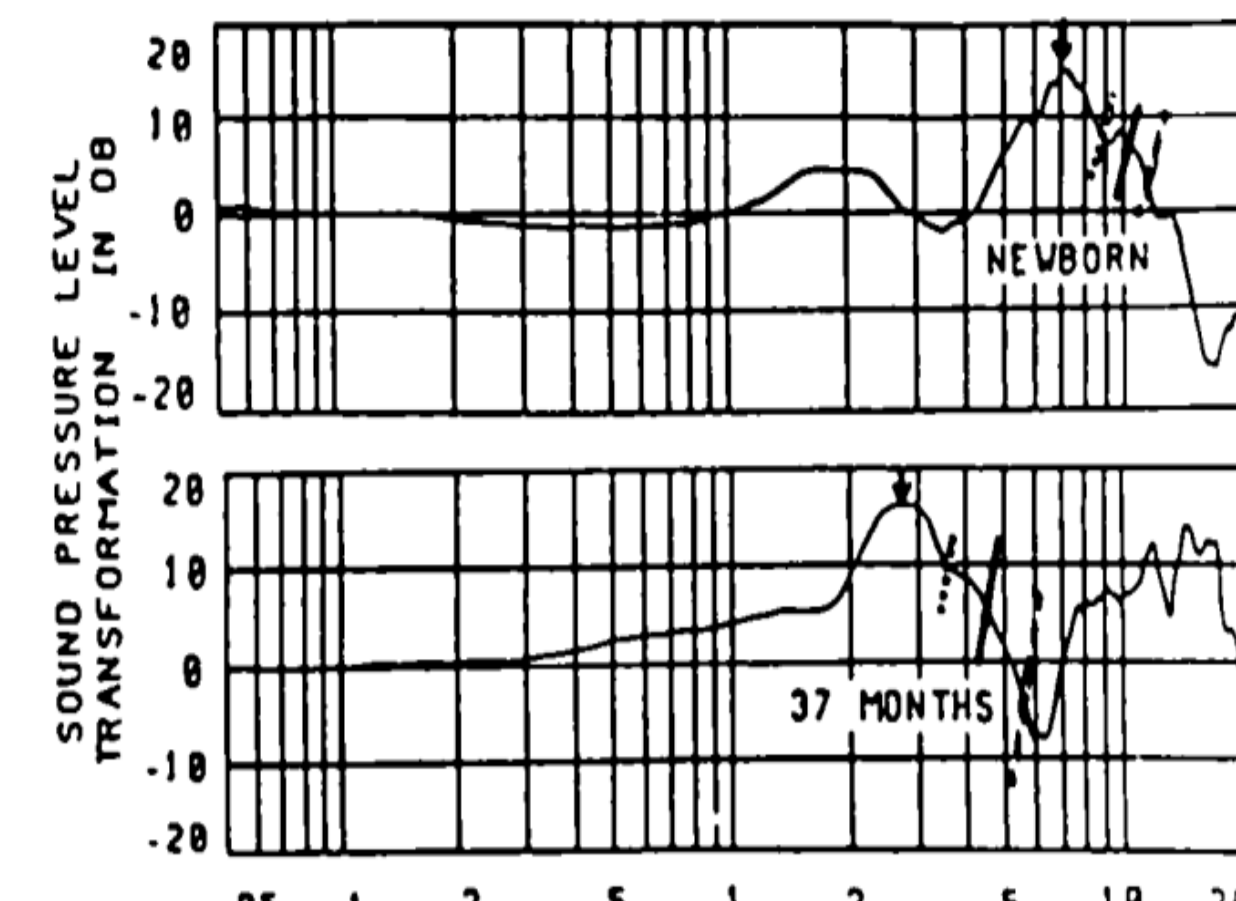


Kurven gleicher Lautstärke (Isophonenkurven) und davon abweichende A-Bewertung (Fletcher, Munson 1933, S. 91)

## Fragestellung: dB<sub>A</sub> oder dB<sub>SPL</sub>?

Die **Hörschwelle von Neugeborenen** entspricht keinesfalls der eines erwachsenen Menschen: Außenohrkanal-Eigenresonanz bei **erwachsenen Menschen: ca. 2,7 kHz**  
Außenohrkanal-Eigenresonanz bei **Neugeborenen: ca. 6 kHz** (Kruger 1987, S. 333).

Dies hat entsprechende Konsequenzen für die **Kurven gleicher Lautstärke**, die bei Neugeborenen entsprechend **verschoben** sind, so dass auch aus dieser Perspektive eine Pegelmessung mit **A-Bewertung** bei Inkubator-Schallen sinnlos ist bzw. **wenig aussagewert** hat.



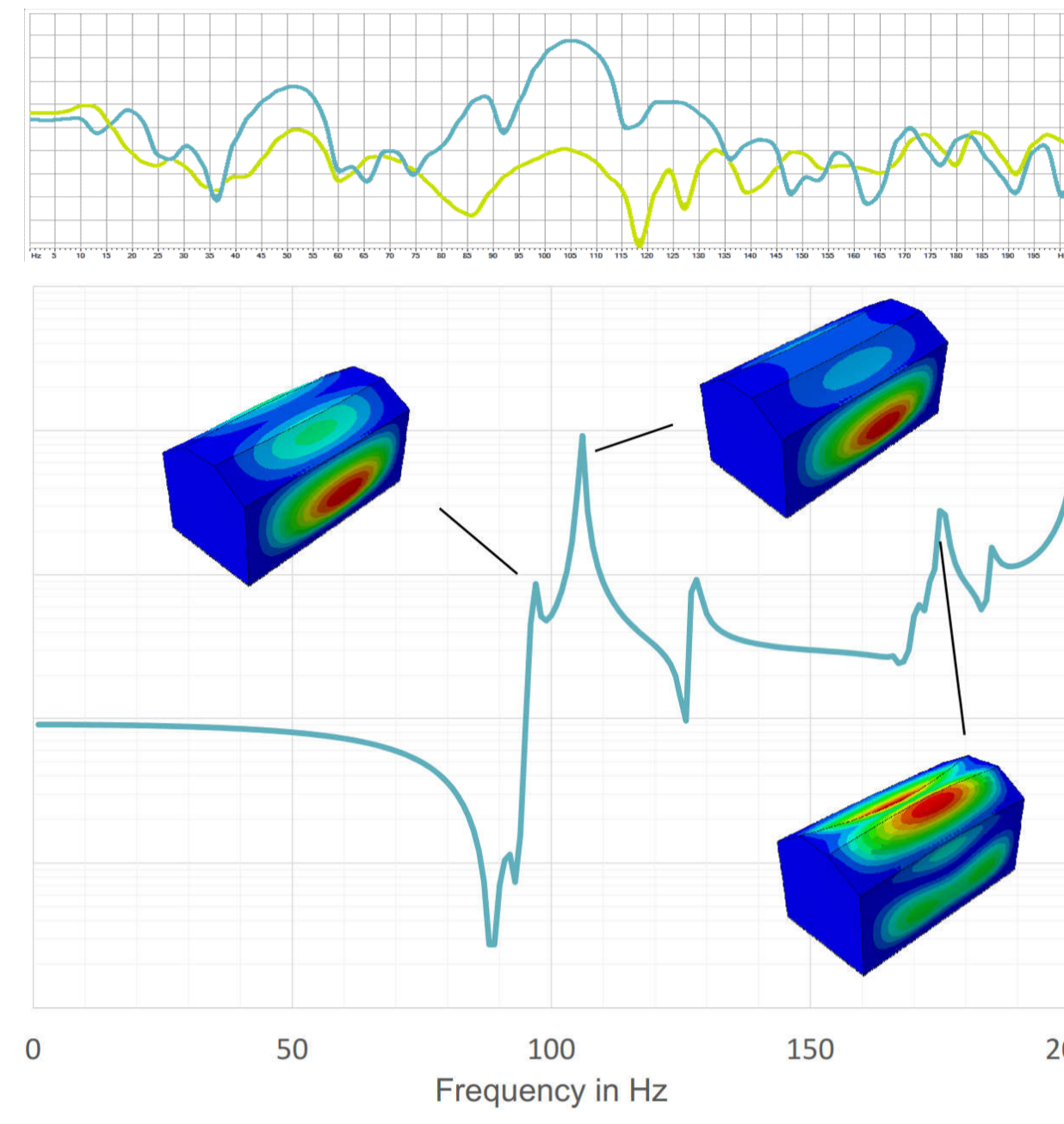
Außenohrkanal-Übertragungsfunktion von 26 Babys im Alter von 0 Monaten (oben) vs. 37 Monaten (unten)(Kruger 1987, S. 335)

## Ergebnisse: Resonanzeigenschaften des Inkubators

### Auswirkungen auf den Pegel

Der Dräger Isolette 8000 Inkubator hat eine **Hauptresonanz bei 97 Hz**. Hier findet eine **Verstärkung** des Schalls um **28 dB** statt. Diese Hauptresonanz lässt sich sowohl in der realen Messung als auch in der numerischen Simulation der Inkubatorbox finden (Maeder et al. 2021)

Gemessene (oben) und simulierte (unten) Resonanzeigenschaften des Inkubators  
— Anregungsimpuls  
— Impulsantwort (Maeder et al. 2021)

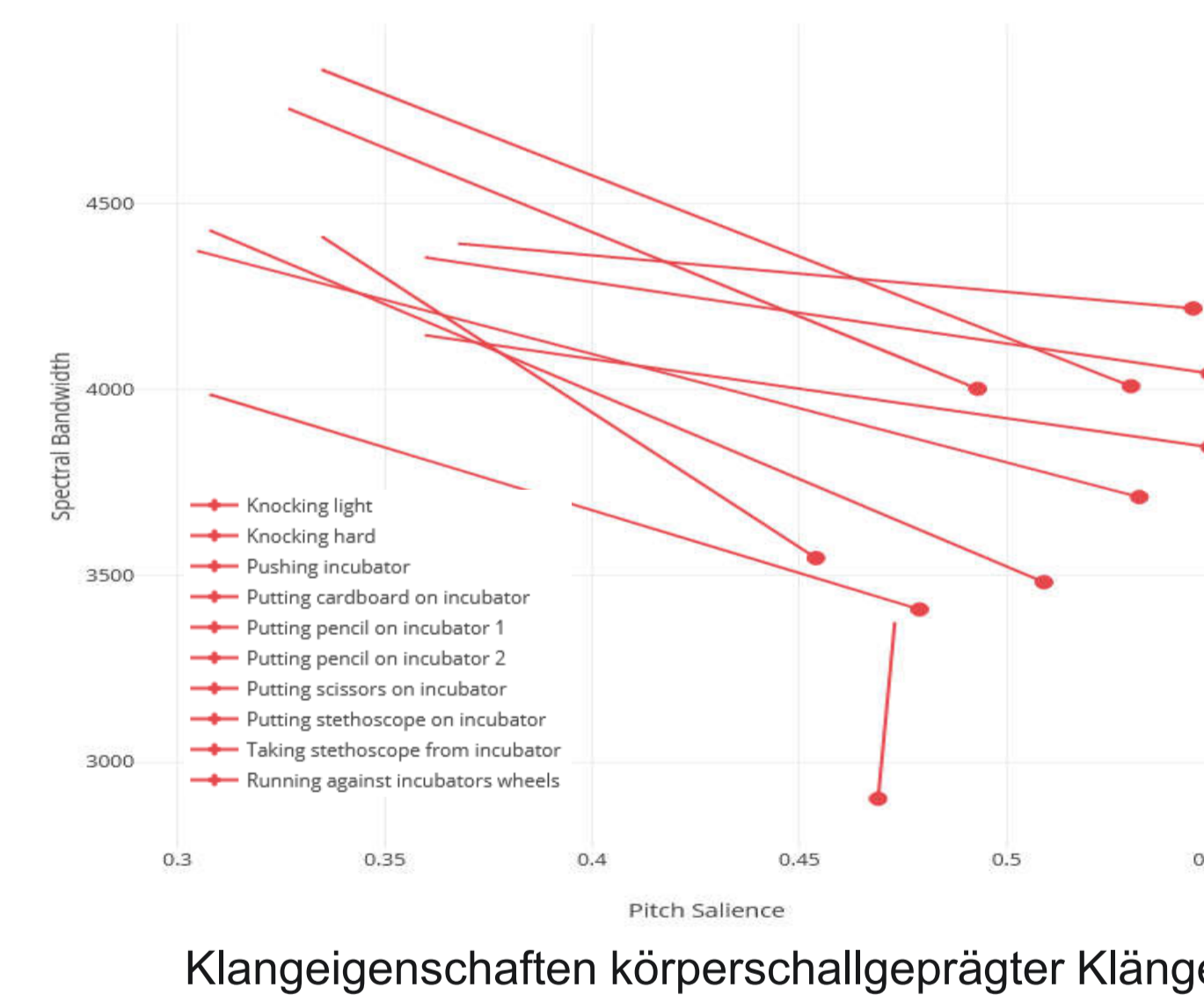


### Auswirkungen auf andere Klangeigenschaften

Bei **Luftschall-Geräuschen** lassen sich die klanglichen Unterschiede innerhalb und außerhalb des Inkubators gut anhand von drei Klangmerkmalen beschreiben:

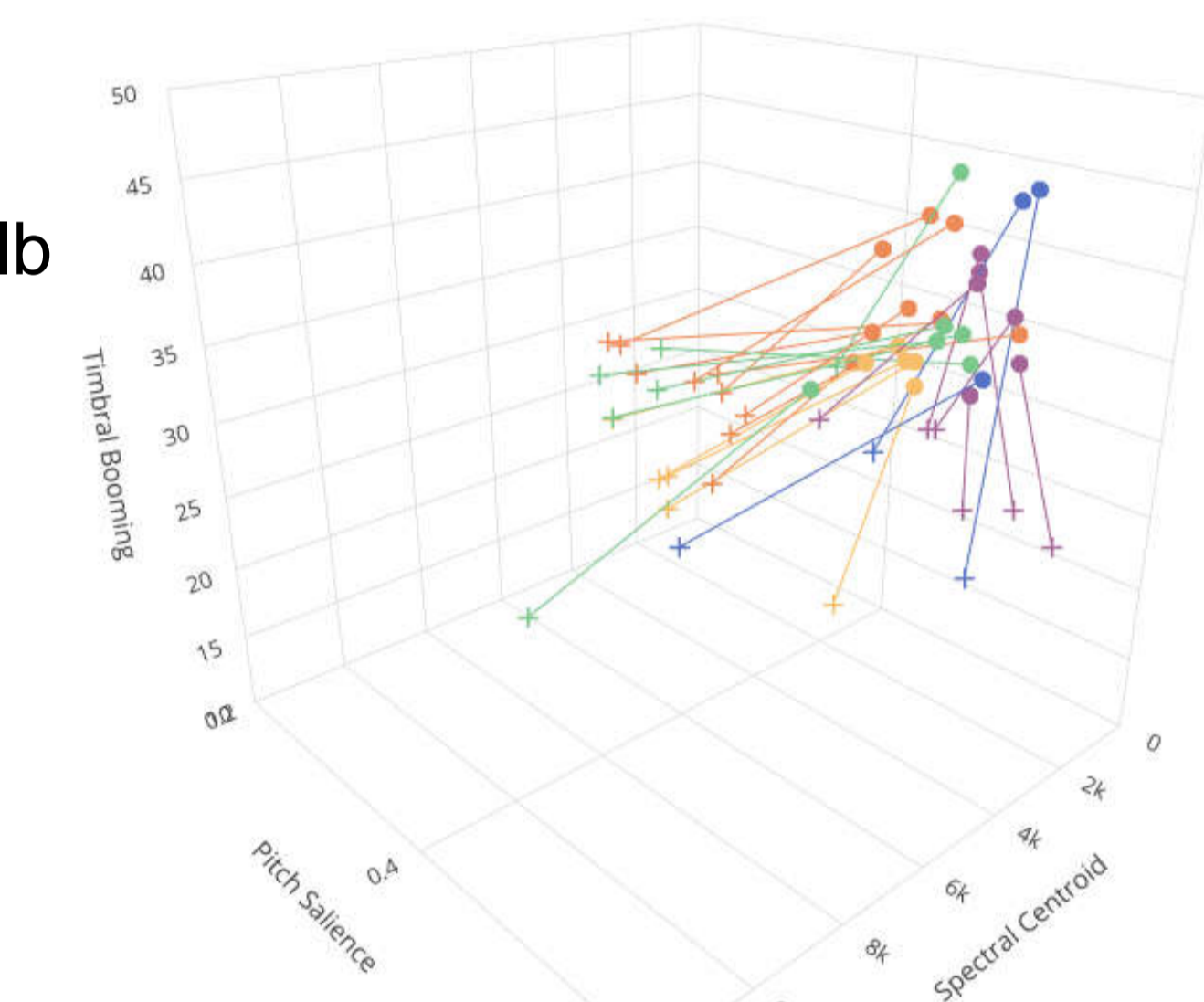
Klangmerkmal	außen	innen
<b>Pitch Saliency</b> (r=-0,458, p<0.001)	-	+
<b>Spectral Centroid</b> (r=0,604, p<0.001)	+	-
<b>Timbral Booming</b> (r=0,790, p<0.001)	-	+

**Körperschallgeprägte Klänge** lassen sich besonders durch die **Pitch Saliency** und die **Spectral Bandwidth** beschreiben, ebenso wie Klänge, die direkt **im Inkubator** entstehen, durch **Pitch Saliency** und **Spectral StrongPeak**.

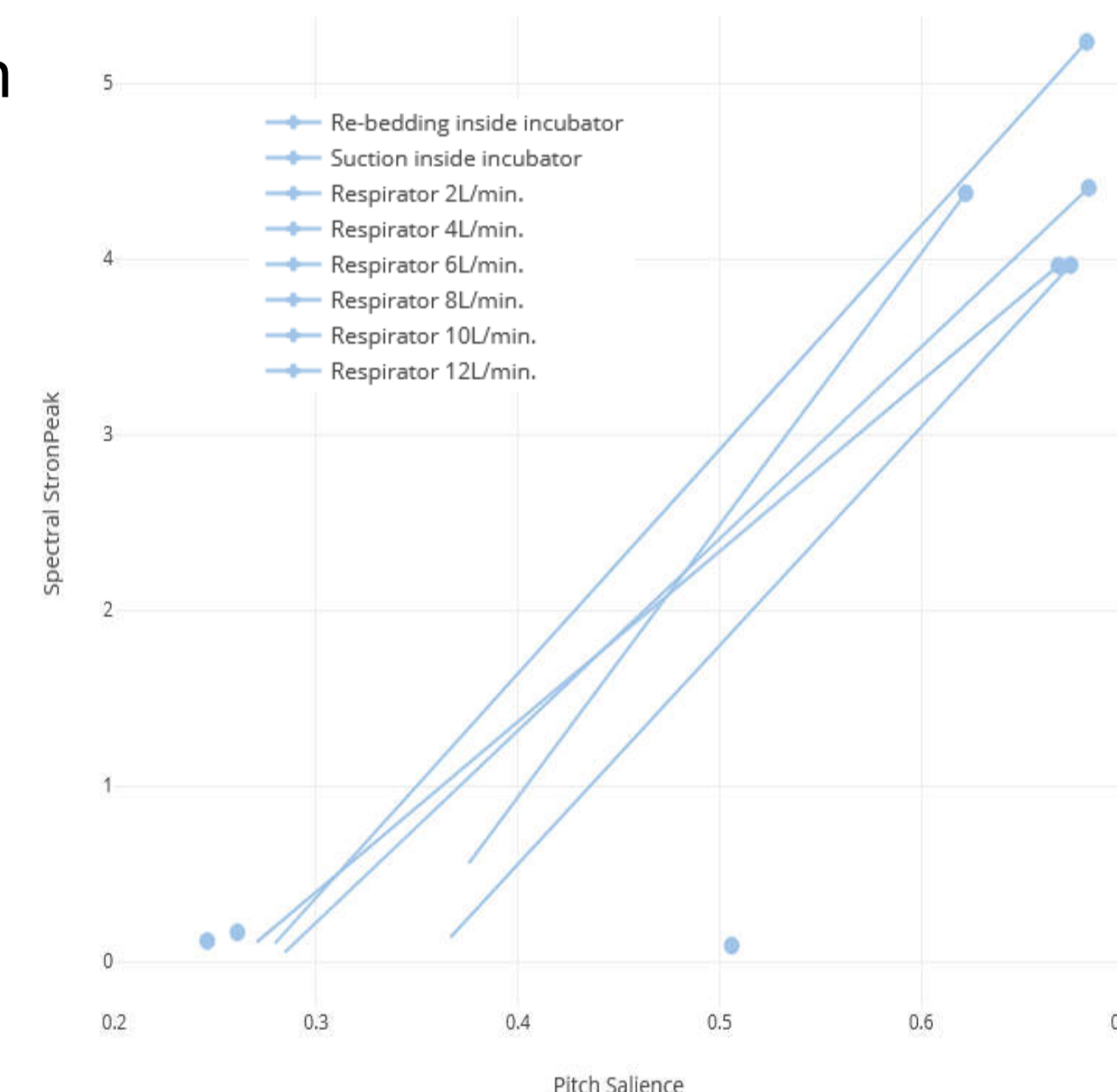


Klangeigenschaften körperschallgeprägter Klänge

Klangmerkmal	außen	innen
<b>Pitch Saliency</b> (r=0,894, p<0.001)	-	+
<b>Spectral Bandwidth</b> (r=-0,611, p=0,004)	+	-



Klangeigenschaften von Alarmklängen, **Konversation, Inkubator Türen und -klappen, NICU-Umgebung** und **Wasserversorgung** außerhalb und innerhalb des Inkubators



Klänge mit Schallquelle innerhalb des Inkubators

Klangmerkmal	außen	innen
<b>Pitch Saliency</b> (r=0,624, p<0.001)	-	+
<b>Spectral StrongPeak</b> (r=0,661, p=0,005)	-	+

## Zusammenfassung

Pegelmessungen mit **A-Bewertung** an Inkubatoren sind **nicht** empfehlenswert:

- Die gemessenen Schallpegel sind **weit oberhalb** von **45 dB** (egal ob A oder SPL).
- Breitbandige Schalle werden in A-Bewertung meist zu niedrig eingeschätzt.
- Die **Hörschwelle** von Neugeborenen - und damit die **Kurven gleicher Lautstärke** - unterscheiden sich **stark** von denen erwachsener Menschen
- Besonders die tiefen Frequenzen werden in A-Bewertung **nicht** mehr richtig erfasst.

Die in Inkubatorboxen stark wirkende **tiefrequenten Hauptresonanz** (hier 97 Hz) bleibt bei Pegelmessungen mit A-Bewertung völlig außen vor.

**Timbral Booming** und **Pitch Saliency** steigen im Inkubator an, **Spectral Centroid** sinkt  
**Körperschall: Pitch Saliency** steigt im Inkubator an, **Spectral Bandwidth** sinkt  
**im Inkubator: Pitch Saliency** und **Spectral StrongPeak** sind innen stärker als außen.

Diese **Klangeigenschaften** sowie Pegelangaben in **dB<sub>SPL</sub>** sollten bei der Entwicklung und Bewerbung von Inkubatoren zum Erhalt der Hörfähigkeit von Frühgeborenen mehr **im Vordergrund** stehen.