Diplomarbeit

Linearbeschleunigungen bei neonatologischen Intensivtransporten

Messmethoden und mögliche Implikationen für kritisch kranke Neu- und Frühgeborene

eingereicht von

Bernhard Schwaberger

Matr.-Nr.: 0310309

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der gesamten Heilkunde

(Dr. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

Abteilung für Kinder und Jugendliche, LKH Leoben

unter der Anleitung von

Prim. Univ.-Prof. Dr. Reinhold Kerbl

eingereicht im

September 2011

Eidesstattliche Erklärung

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

Graz, am 14. 09. 2011

Bernhard Schwaberger

Gleichheitsgrundsatz

Um nicht den Lesefluss durch ständige Nennung beider Geschlechter zu stören, wird entweder eine geschlechtsneutrale Formulierung verwendet oder es wird nur eines der beiden Geschlechter angegeben. Im letzteren Fall sind selbstverständlich beide Geschlechter gemeint.

Danksagungen

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mich bei dieser Diplomarbeit tatkräftig unterstützt haben.

Ein besonderer Dank gilt Herrn *Primarius Univ.-Prof. Dr. Reinhold Kerbl* und Herrn *OA Dr. Gerhard Köstl* für die Betreuung meiner Diplomarbeit und für die Unterstützung bei Problemen und Fragen jeglicher Art. Sie standen mir stets mit Fachwissen, Anregungen und guten Ratschlägen zur Seite.

Ebenso möchte ich mich bei Herrn *Univ.-Prof. DI Dr. Herfried Pessenhofer*, Herrn *Ing. Bernhard Kohla* und Herrn *DI Alexander Hohl* vom *Institut für Physiologie* der *Medizinischen Universität Graz* für ihre unermüdliche Hilfe bei Fragestellungen zur Datenaufnahme, Signalverarbeitung und Auswertung der Versuchsreihen herzlich bedanken.

Dank gebührt auch der *Bezirksstelle Leoben* des *Österreichischen Roten Kreuzes* für die Bereitstellung des Neugeborenen-Intensivtransportwagens und eines Einsatzfahrers zur Durchführung aller für die Beschleunigungsmessungen im Transportinkubator notwendigen Versuchsfahrten.

Zu guter Letzt möchte ich mich bei meiner gesamten Familie für die großzügige Unterstützung über die gesamte Studienzeit hinweg bedanken; ohne ihre Hilfe wäre meine Ausbildung in dieser Form sicherlich nicht möglich gewesen. Besonders dankbar bin ich für die finanzielle Unterstützung meiner vielen Auslandsreisen, insbesondere auch der Auslandsfamulaturen und Studienaufenthalte in Malawi, Mexiko, Nepal, Spanien, Tansania und Vietnam.

Zusammenfassung

Fragestellung: In mehreren Versuchsreihen wurden neonatologische Intensivtransporte mit zwei unterschiedlichen Transportinkubatoren (*DRÄGER ITI 5400* und *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500*) simuliert und dabei auftretende Linearbeschleunigungen registriert. Durch Analyse der Messdaten wurden mechanische Vibrationen quantifiziert und vergleichende Aussagen über das Schwingungsverhalten der beiden Inkubatormodelle getroffen. Des Weiteren wurde der Einsatz eines Schaumwerkstoffes (*Confor Foam CF45*) als Maßnahme zur Schwingungsdämpfung evaluiert. Unter Sichtung der relevanten Literatur wurde die Bedeutung von Vibrationen für das Auftreten von neonatologischen Komplikationen diskutiert.

Methoden: Für diese Diplomarbeit wurde eine geeignete Versuchsanordnung mit hochsensitiven Beschleunigungsaufnehmern (*LIS331DL* in *iPod Touch*-Geräten) sowie anwenderfreundlichen Computerprogrammen zur Signalverarbeitung (*iSeismometer*) und Datenaufbereitung (*g.BSanalyze 3.0*) gefunden. Bei insgesamt drei Messreihen wurden Beschleunigungsaufzeichnungen von *externen Inkubatortransporten* mit einem Rotkreuzwagen (*Volkswagen Transporter T5*) auf der Straße und *internen Inkubatortransporten* auf Fahrgestellen innerhalb des Krankenhauses durchgeführt.

Ergebnisse: Bei Inkubatortransporten mit dem *Dräger ITI 5400* wurden mechanische Schwingungen mit Spitzenwerten bis 0,91 g (8,93 m/s^2) und einem vorherrschenden Resonanzbereich von etwa 10 bis 14 Hertz registriert. Bei Versuchsreihen mit dem *Air-Shields Isolette TI 500* zeigten sich Maximalbeschleunigungen bis 1,60 g (15,70 m/s^2) und ein Gipfel im Frequenzspektrum bei ca. 15 Hertz. Das Gesamtschwingungsaufkommen ist beim *Air-Shields Isolette TI 500* im Vergleich zum älteren der beiden Inkubatormodelle auf einzelnen Streckenabschnitten bis um das 8-Fache erhöht (in bestimmten Frequenzbändern sogar um das 9,4-Fache). Der untersuchte *Confor Foam CF45* dämpft mechanische Schwingungen im Frequenzbereich zwischen 21 und 48 Hertz ausreichend, bei tieferen Frequenzen von 1 bis 10 Hertz kommt es teilweise sogar zur Verstärkung der Vibrationen. Entlang der verschiedenen Raumrichtungen (x, y, z) weist der Schaumwerkstoff unterschiedliche Dämpfungseigenschaften auf.

Schlussfolgerung: Die Ergebnisse zeigen einen großen Unterschied im Schwingungsverhalten der beiden untersuchten Transportinkubatoren. Mögliche Maßnahmen zur Reduktion von Schwingungsbelastungen für kritisch kranke Früh- und Neugeborene werden diskutiert. Der Einsatz des *Confor Foam CF45* kann unter bestimmten Transportbedingungen das Auftreten von Vibrationen vermindern.

Abstract

Objective: During several test series neonatal intensive care transports were simulated by two different incubators (*DRÄGER ITI 5400* und *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500*). Occurring linear accelerations were recorded. By analyzing the measured results mechanical oscillations were quantified and the vibration characteristics of the two incubators were compared. Furthermore, the vibration-damping properties of a foam material (*Confor Foam CF45*) were evaluated by placing it under a neonatal phantom during transport. By reviewing the literature, the impact of mechanical vibrations for the occurrence of neonatal complications was put up for discussion.

Design: An investigation setup with highly-sensitive accelerometers (*LIS331DL*, used in *iPod touch* devices), signal processing software (*iSeismometer*) and data analysis (*g.BSanalyze 3.0*) was used. Linear accelerations were recorded in incubators during external transports with an ambulance vehicle (*Volkswagen Transporter T5*) on the road and internal hospital transports on a trolley.

Results: Mechanical vibrations were registered with *DRÄGER ITI 5400* during transport with peak values up to 0.91 g (8.93 m/s^2) and a dominant frequency range of 10 to 14 Hertz. Measurements on *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* showed acceleration forces up to 1.60 g (15.70 m/s^2) and a peak in the frequency spectrum at approximately 15 Hertz. During the testing of *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500,* total detected mechanical vibrations were up to 8-times higher compared to the *DRÄGER ITI 5400* (in some frequency bands it was even up to 9.4-times higher). The investigated *Confor Foam CF45* absorbed mechanical vibrations in the frequency range 21 to 48 Hertz sufficiently, but amplified vibrations at lower frequencies from 1 to 10 Hertz under certain conditions. In all three dimensions (x, y, z) the foam material showed different damping characteristics.

Conclusions: The results of the two tested transport incubators showed a wide difference in their vibration characteristics. In addition possible adaptations in order to reduce stress in critically ill premature infants and newborns caused by mechanical vibrations during transport are discussed. The use of *Confor Foam CF45* can reduce vibrations under specific preconditions.

Inhaltsverzeichnis

DANKSAGUNGEN ..... **III**

ZUSAMMENFASSUNG ..... **IV**

ABSTRACT ..... **VI**

INHALTSVERZEICHNIS ..... **VII**

1 EINLEITUNG **1**

1.1 EINFÜHRUNG 1
1.1.1 Anlass der Untersuchungen *1*
1.1.2 Fragestellungen *1*
1.2 TRANSPORTRISIKO UND STRESSFAKTOREN 2
1.2.1 Mechanische Schwingungen *3*
1.2.1.1 Intrazerebrale Blutungen 4
1.2.1.1.1 Intrazerebrale Blutungen bei Frühgeborenen 5
1.2.1.1.2 Intrazerebrale Blutungen bei Reifgeborenen 11
1.2.1.2 Schwingungswahrnehmung und Wohlbefinden 12
1.2.1.3 Kinetosen 13
1.2.2 Lärm *14*
1.2.3 Temperaturschwankungen *16*
1.2.4 Transportdauer *17*
1.3 DER STELLENWERT DES NEONATALEN INTENSIVTRANSPORTES 18
1.3.1 Die Geschichte des Neugeborenentransportes und seine Bedeutung in der Gegenwart *18*
1.3.2 Neonatologische Versorgung und Neugeborenentransporte in der Steiermark *23*
1.3.3 Durchführung und Organisation von neonatologischen Intensivtransporten *26*

2 METHODIK **29**

2.1 MATERIAL 29
2.1.1 Rettungsfahrzeug *29*
2.1.2 Transportinkubatoren *30*
2.1.2.1 DRÄGER ITI 5400 (Baujahr 08/1994) 30
2.1.2.2 DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500 (Baujahr 03/2008) 32
2.1.3 Dämpfungsmaterial *33*
2.1.4 Dummy *35*
2.2 DATENERFASSUNG UND -ANALYSE 36
2.2.1 Beschleunigungssensoren *36*
2.2.2 Signalverarbeitung und Datenausgabe *38*
2.2.3 Datenanalyse *39*
2.3 MESSPRINZIP 40
2.3.1 Richtlinien zur Messung und Bewertung von mechanischen Ganzkörperschwingungen *40*
2.3.2 Biodynamisches Koordinatensystem des Menschen *41*
2.3.3 Stationäre und transiente Schwingungen *43*
2.4 MESSREIHEN 45
2.4.1 Erste Messreihe (15.02.2011) *45*
2.4.1.1 Zielsetzung 45
2.4.1.2 Versuchsaufbau 47
2.4.1.3 Strecke 48
2.4.2 Zweite Messreihe (11.05.2011) *49*
2.4.2.1 Zielsetzung 49
2.4.2.2 Versuchsaufbau 49
2.4.2.3 Strecke 50
2.4.3 Dritte Messreihe (11.05.2011) *51*
2.4.3.1 Zielsetzung 51
2.4.3.2 Versuchsaufbau 51
2.4.3.3 Strecke 52

3 ERGEBNISSE 53

3.1 ERGEBNISSE DER ERSTEN MESSREIHE 53
3.1.1 Analyse von stationären mechanischen Schwingungen bei charakteristischen Streckenbedingungen 53
3.1.1.1 Schnellstraße 53
3.1.1.1.1 80 km/h Fahrgeschwindigkeit 54
3.1.1.1.2 120 km/h Fahrgeschwindigkeit 55
3.1.1.1.3 Vergleichende Analyse der Beschleunigungsmessungen bei 80 und 120 km/h 56
3.1.1.2 Stadtverkehr 57
3.1.1.3 Landstraßen 58
3.1.1.4 Stehendes Fahrzeug mit laufendem Motor 60
3.1.2 Analyse von transienten mechanischen Schwingungen bei charakteristischen Streckenbedingungen 61
3.1.2.1 Bahnübergang 62
3.1.2.2 Dilatationsfugen von Brücken 64
3.1.2.3 Temposchwellen 66
3.2 ERGEBNISSE DER ZWEITEN MESSREIHE 68
3.2.1 Analyse des Schwingungsverhaltens des DRÄGER ITI 5400 und der Dämpfungseigenschaften der Confor Foam CF45 bei Versuchsfahrten mit dem Neugeborenen-Intensivtransportwagen 69
3.2.1.1 Maximalbeschleunigungen 69
3.2.1.2 Frequenzspektren 70
3.2.1.3 Schwingungsbelastungen 71
3.2.2 Analyse des Schwingungsverhaltens des DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500 und der Dämpfungseigenschaften der Confor Foam CF45 bei Versuchsfahrten mit dem Neugeborenen-Intensivtransportwagen 74
3.2.2.1 Maximalbeschleunigungen 74
3.2.2.2 Frequenzspektren 75
3.2.2.3 Schwingungsbelastungen 77
3.2.3 Die zwei Transportinkubatoren im direkten Vergleich 79
3.2.3.1 Schwingungsbelastungen 80
3.2.3.1.1 Schnellstraße 80
3.2.3.1.2 Stadtverkehr 82
3.2.3.1.3 Landstraße 83
3.2.3.2 Maximalbeschleunigungen 84
3.3 ERGEBNISSE DER DRITTEN MESSREIHE 85
3.3.1 Analyse des Schwingungsverhaltens des DRÄGER ITI 5400 bei krankenhausinternen Transporten 85
3.3.2 Analyse des Schwingungsverhaltens des DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500 bei krankenhausinternen Transporten 88
3.3.3 Die zwei Transportinkubatoren im direkten Vergleich 91
3.3.3.1 Maximalbeschleunigungen 91
3.3.3.2 Schwingungsbelastungen 92
3.3.3.3 Schwingungsverhalten 93

4 DISKUSSION 95

4.1 DISKUSSION DER FRAGESTELLUNG 95
4.2 DISKUSSION DER METHODIK 96
4.2.1 Messgrößen 96
4.2.2 Frequenzbewertung 97
4.3 DISKUSSION DER ERGEBNISSE 97
4.3.1 Ergebnisse beim DRÄGER ITI 5400 97
4.3.2 Ergebnisse beim DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500 und Vergleich der beiden Transportinkubatoren 100
4.3.3 Diskussion der schwingungsdämpfenden Eigenschaften der Confor Foam CF45 102
4.3.4 Auswirkungen der gewählten Fahrgeschwindigkeit 104
4.4 MÖGLICHE MAßNAHMEN ZUR REDUKTION VON MECHANISCHEN SCHWINGUNGEN 105
4.4.1 Schulung von Einsatzfahrern 105
4.4.2 Schwingungsreduzierende Maßnahmen 106
4.4.2.1 Federsysteme von Kraftfahrzeugen 107
4.4.2.2 Einbaurichtung von Transportinkubatoren 107
4.4.2.3 Schwingtische 108
4.4.2.4 Transportinkubatoren 108
4.4.3 Monitoring von mechanischen Schwingungen 109

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS **111**
ABBILDUNGSVERZEICHNIS **112**
TABELLENVERZEICHNIS **120**
LITERATURVERZEICHNIS **122**
5 ANHANG A: ERGEBNISSE DER 1. MESSREIHE **139**
ANHANG B: ERGEBNISSE DER 2. MESSREIHE **141**
ANHANG C: ERGEBNISSE DER 3. MESSREIHE **153**
ANHANG D: CURRICULUM VITAE **155**

1 Einleitung

1.1 Einführung

1.1.1 Anlass der Untersuchungen

Die *Abteilung für Kinder- und Jugendliche* am *LKH Leoben* führt seit 1979 Neugeborenen-Intensiv-Transporte durch. Stets wurde versucht die Verlegung von kritisch kranken Neugeborenen auf dem letzten Stand der Technik durchzuführen. Als man diesen Ansprüchen im Jahr 2007 durch Neuanschaffung eines Transportinkubators (*DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500*) gerecht werden wollte, waren die Erwartungen an das neue Gerät sehr hoch.

Während der ersten Einsätze wurden aber vom begleitenden Personal Geräusche und Vibrationen im Patientenraum des Inkubators wahrgenommen, die im Vergleich zum alten Transportinkubator (*DRÄGER ITI 5400*) stärker ausgeprägt erschienen. Um diese Beobachtungen zu objektivieren, wurden im Rahmen dieser Diplomarbeit durch Beschleunigungsmessungen während simulierter Inkubatortransporte auftretende mechanische Schwingungen quantifiziert.

1.1.2 Fragestellungen

Für die Messungen von Linearbeschleunigungen bei neonatologischen Intensivtransporten wurden für diese Arbeit geeignete Sensoren gesucht. Die Messanordnung sollte eine realitätsnahe Simulation von Inkubatortransporten ermöglichen und die dabei auftretenden Beschleunigungskräfte registrieren können.

Für die Auswahl der Sensoren spielten folgende Überlegungen eine wichtige Rolle: Da sich die Schwingungseigenschaften bei unterschiedlichen zur Verwendung kommenden Fahrzeugen und Transportinkubatoren erheblich unterscheiden, wurde in dieser Arbeit ein einfacher und leicht reproduzierbarer Versuchsaufbau mit kostengünstigen Messinstrumenten beschrieben, der auch als Vorbild für Messungen von

Schwingungsbelastungen bei Inkubatortransporten an anderen neonatologischen Einrichtungen dienen könnte. Durch Registrierung und Bewertung der bei den unterschiedlichen Transportsystemen auftretenden Spitzenbeschleunigungen und Schwingungsfrequenzen könnten spezifische Lösungen zur Schwingungsdämpfung gefunden und erhebliche Reduktionen der Vibrationsbelastungen für Früh- und Neugeborene erreicht werden.

Die gewählte Messanordnung mit geeigneten Beschleunigungssensoren und einer einfachen Lösung im Bezug auf Signalverarbeitung und Datenauswertung wurde in weiterer Folge auf bestehende Strukturen angewandt. Das Schwingungsverhalten der zwei im *LKH Leoben* in Verwendung befindlichen Transportinkubatoren wurde bei mehreren Messreihen untersucht. Im Rahmen der Diplomarbeit wurden Schwingungsbelastungen für Früh- und Neugeborene durch Simulation von Transporten im Neugeborenen-Intensivtransportwagen des Roten Kreuzes und internen Verlegungen innerhalb des Krankenhauses erhoben.

Des Weiteren sollten Strategien entwickelt werden, wie das Auftreten von gesundheitsgefährdenden Schwingungen durch Modifikationen an den bestehenden Transportsystemen reduziert werden kann. Konkret wurden in einer Messreihe auch die Dämpfungseigenschaften einer Schaumstoffmatte (*Confor Foam CF45*) bei simulierten Inkubatortransporten getestet.

Schlussendlich sollte unter Sichtung der relevanten Literatur diskutiert werden, welche Bedeutung die detektierten Schwingungsbelastungen auf neonatologische Komplikationen (insbesondere die intraventrikuläre Hämorrhagie) haben könnten.

1.2 Transportrisiko und Stressfaktoren

Kritisch kranke Früh- und Neugeborene sind während eines Transports im Inkubator unterschiedlichen Stressfaktoren ausgesetzt, die sich negativ auf die Gesundheit des Patienten auswirken können. Als Hauptbelastungsfaktoren gelten:

- Mechanische Schwingungen
- Lärm
- Schwankende Umgebungstemperaturen
- Lange Transportdauer

Über das Transportrisiko liegen in der Literatur Untersuchungen mit zum Teil kontroversen Forschungsergebnissen vor. Einigkeit herrscht unter allen Autoren, dass die Belastungen für die Früh- und Neugeborenen während eines neonatologischen Intensivtransportes bestmöglich reduziert werden sollten [1-8].

1.2.1 Mechanische Schwingungen

Mechanische Schwingungen – als Synonyme sind auch die Wörter *Erschütterungen* oder *Vibrationen* verwendbar – sind Schwingungen fester Körper, welche an einer oder mehreren Einleitstellen in den menschlichen Körper übertragen werden. Unterschieden werden dabei Translations- und Rotationsschwingungen. Als grundlegende Einheit der Schwingungsgröße wird üblicherweise die Beschleunigung herangezogen. Die translatorische Beschleunigung wird in Meter pro Sekundenquadrat (m/s^2) und die Winkelbeschleunigung in Radiant pro Sekundenquadrat (rad/s^2) angegeben [9, 10].

Mechanische Schwingungen, die beim liegenden Früh- oder Neugeborenen über den Rücken und den Kopf übertragen werden, bezeichnet man als Ganzkörper-Schwingungen oder Ganzkörper-Vibrationen. Das Ausmaß der auf den Patienten wirkenden Belastungen ist von mehreren physikalischen Parametern, wie Amplitude, Expositionsdauer und Frequenzspektrum, sowie Richtung der einwirkenden Schwingungen und Einleitstelle in den menschlichen Körper abhängig. Die Beanspruchung, also die Auswirkungen der mechanischen Schwingungen auf den Menschen, hängt aber nicht nur mit physikalisch messbaren Belastungen, sondern auch mit der Belastbarkeit des Transportierten zusammen, die durch individuelle physische und psychische Eigenschaften wie Konstitution, Alter, Geschlecht oder Gesundheitszustand bestimmt wird. Die Quantifizierung solcher Belastungs-Beanspruchungs-Beziehungen ist jedoch schwierig [9, 10].

Beschleunigungsmessungen im Transportinkubator wurden in der Vergangenheit wiederholt durchgeführt. Dabei wurden neonatologische Intensivtransporte mit Rettungswagen, in Helikoptern sowie Flugzeugen und sogar auf Schiffen untersucht [1, 2, 4-7, 11, 12]. Die Untersuchungsergebnisse sind leider zum größten Teil schwer vergleichbar, da zur Beurteilung der Schwingungsbelastungen unterschiedliche Größen herangezogen wurden. Als Belastungsparameter fanden Spitzenbeschleunigungen, effektive Maximalbeschleunigungen oder die Schwingstärke K Verwendung, teilweise erfolgte auch eine Frequenzbewertung der Ergebnisse.

In der Literatur wird die Beanspruchung des Menschen durch das Einwirken von Ganzkörper-Schwingungen vor allem in Zusammenhang mit Vibrationen am Arbeitsplatz behandelt. Es gibt zahlreiche Untersuchungen, welche die unmittelbar feststellbaren Auswirkungen von Schwingungsbelastungen bei Erwachsenen am Arbeitsplatz evaluieren. Es gibt aber nur wenige Erfahrungen, welche Auswirkungen mechanische Schwingungen auf Früh- und Neugeborene haben können. Vergleicht man die bei Inkubatortransporten gemessenen Vibrationen mit Toleranzgrenzen für gesunde Erwachsene, findet man oft unakzeptable Schwingungsbelastungen, welche diese Grenzen oft weit übersteigen und somit potentiell gefährlich sind [1, 2, 13]. Höchstwahrscheinlich sind die Toleranzgrenzen bei kritisch kranken Früh- und Neugeborenen aber noch viel tiefer anzusetzen als bei gesunden Erwachsenen. Aus diesem Grund sollten möglichst effiziente Maßnahmen zur Schwingungsreduktion gefunden werden.

Im Rahmen von simulierten Rettungstransporten konnten bei Erwachsenen ein Ansteigen von Herzfrequenz und Blutdruck, sowie erhöhte Serumspiegel von Glukose, Kortisol, ACTH, Prolaktin und Somatotropin beobachtet werden [14]. Ob diese Befunde auch bei Neugeborenen nachweisbar sind und welche Auswirkungen die Änderungen dieser hämodynamischen, metabolischen und neuroendokrinen Parameter haben könnten, wurde bisher noch nicht untersucht.

1.2.1.1 Intrazerebrale Blutungen

Die bei Inkubatortransporten auftretenden mechanischen Schwingungen werden von einigen Autoren als Risikofaktor für die Entstehung von intrazerebralen Blutungen bei Früh- und Neugeborenen angeführt [1, 6, 7, 15-19].

1.2.1.1.1 Intrazerebrale Blutungen bei Frühgeborenen

1.2.1.1.1.1 Epidemiologie

Neurologische Komplikationen beim Frühgeborenen werden in erster Linie durch zwei Erkrankungen verursacht, die periventrikuläre Leukomalazie und die intrakranielle Blutung. Beide Krankheitsbilder sind oft miteinander vergesellschaftet und nicht immer eindeutig voneinander zu trennen. Unter den Hirnblutungen bei Frühgeborenen stehen typischerweise die subependymale bzw. peri- und die intraventrikuläre Blutung (PVH bzw. IVH) im Vordergrund [20].

Die Inzidenz und der Schweregrad von intrazerebralen Hämorrhagien sind dabei direkt abhängig von der Reife des Kindes (Gestationsalter, Geburtsgewicht) [16, 21, 22]. *Abbildung 1* zeigt den Zusammenhang zwischen der Inzidenz von IVH und dem Geburtsgewicht des Kindes:

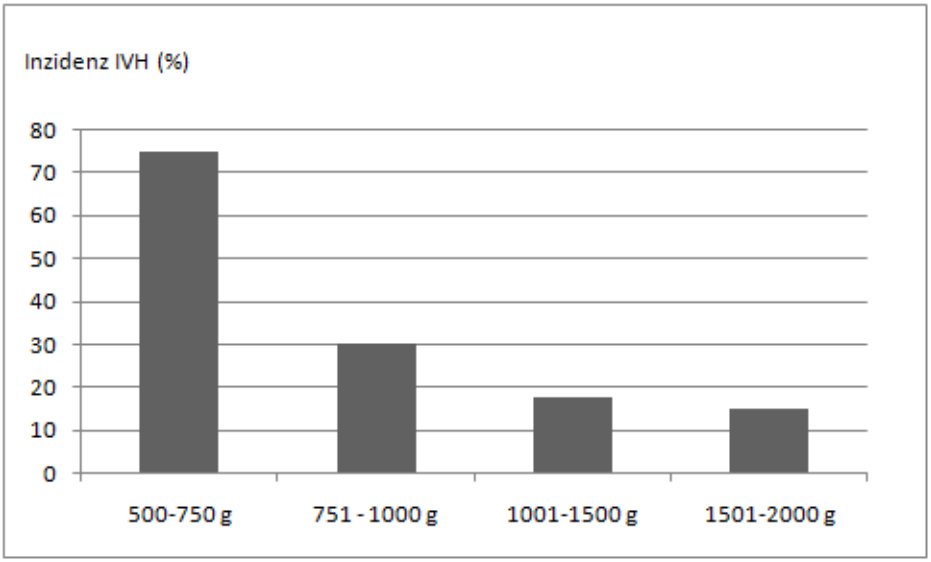


Abb. 1: Inzidenz intraventrikulärer Blutungen (in Prozent) in Abhängigkeit vom Geburtsgewicht (in Gramm) [23]

Die Inzidenz von IVH bei Frühgeborenen mit einem Geburtsgewicht unter 1500 g hat in den frühen 1980er Jahren noch 40 - 50% betragen und ist dann im Laufe des Jahrzehnts auf 20% abgefallen [24]. In den letzten 20 Jahren konnte dann jedoch kein weiteres Absinken der Inzidenz erreicht werden [25]. Da in derselben Zeit aber auch die Überlebensrate von besonders unreifen Frühgeborenen erheblich gestiegen ist, zeigen die kontinuierlich auf

demselben Niveau stehenden Zahlen eine verbesserte Qualität der neonatologischen Versorgung. Heute gelten daher niedrige Mortalitätsraten in Kombination mit niedrigen Hirnblutungsraten bei Frühgeborenen mit sehr niedrigem Geburtsgewicht als Qualitätsmaßstab neonatologischer Einrichtungen [21, 26, 27]. Bei Frühgeborenen mit einem Geburtsgewicht unter 500 bis 750 g kommen IVH auch heute noch bei 45 - 75% vor. [23, 28] Hirnblutungen zählen somit noch immer zu einem der größten Probleme auf neonatologischen Intensivstationen weltweit [29].

Das Auftreten von intrazerebralen Hämorrhagien reduziert in Abhängigkeit vom Schweregrad der Blutung die Überlebensrate von Frühgeborenen und erhöht das Risiko für neurologische Folgeschäden [30-32]. Die in den letzten Dekaden verbesserte Versorgung von Frühgeborenen mit sehr niedrigem Geburtsgewicht und deren gesteigerte Überlebenswahrscheinlichkeit hatte aber auch eine signifikante Erhöhung der Anzahl an Kindern mit Entwicklungsstörungen des zentralen Nervensystems zur Folge [28, 33].

1.2.1.1.1.2 Pathogenese

Intrazerebrale Hämorrhagien beim Frühgeborenen entstehen charakteristischerweise in der germinalen Matrix, einer in der lateralen Wand der Seitenventrikel über dem Nucleus caudatus gelegenen Region. Hirnblutungen anderer Lokalisation und Genese findet man erheblich seltener [20, 21, 34].

Die germinale Matrix ist eine embryonale Struktur, aus der sich Nerven- und Gliazellen entwickeln. Zwischen zehnter und 20. Gestationswoche kommt es zur Proliferation von Neuroblasten und deren Migration ins Hirnparenchym. Die Zellteilung und -reifung von Glioblasten findet bis zur 32. Gestationswoche statt. Das Matrixgewebe nimmt mit zunehmender Schwangerschaftsdauer an Größe ab, bis zur 36. SSW kommt es zur vollständigen Involution des subependymal gelegenen Gewebes.

Das Matrixgewebe ist zellreich, von gelatinöser Konsistenz und stark vaskularisiert. Die Zellen sind einem hohen Metabolismus unterworfen und weisen eine große Zahl von Mitochondrien auf, was dieses Gewebe besonders anfällig auf Sauerstoffmangelzustände macht. Dabei können subependymale Blutungen mit oder ohne Ventrikeleinbruch sowie Zellschädigungen und Nekrosen in der periventrikulären weißen Substanz ausgelöst

werden (periventrikuläre Leukomalazie). Einen weiteren Grund, warum die Region der germinalen Matrix ein Prädilektionsort für ischämische Läsionen ist, findet man in der Tatsache, dass die arterielle Versorgung der Region über Endstromgebiete verschiedener Hirnarterien (Äste der A. cerebri anterior, A. cerebri media und A. carotis interna) erfolgt.

Den Gefäßen im Bereich der germinalen Matrix fehlen die typischen Charakteristika von Arteriolen und Venolen; die Gefäßwände werden nur spärlich von Muskelzellen und Kollagenfasern verstärkt und weisen nur eine einschichtige Endothelschicht auf. Die Unreife des vaskulären Netzes macht dieses Gewebe gegenüber plötzlichen hämodynamischen Veränderungen besonders vulnerabel, was zur Ruptur der Gefäßwand und zu Blutungen führen kann, insbesondere deshalb, weil die Autoregulation der Zerebraldurchblutung beim Frühgeborenen oft noch beeinträchtigt ist [21, 22, 29, 30, 34, 35].

Die Neuroblasten bilden während der neuronalen Proliferation zwischen dem zweiten und fünften Gestationsmonat in der germinalen Matrix einen dichten Zellverband und stabilisieren auf diese Weise von außen her die Blutgefäße. Durch das Auswandern dieser Zellen fehlen in weiterer Folge die stützenden Elemente im Aufbau des Gewebes, was zu einer erhöhten Vulnerabilität des Gefäßnetzes führt [35, 36].

Die germinale Matrix ist während der Schwangerschaft ständigen Umbauprozessen durch proteolytische Mechanismen unterworfen. Beteiligt sind dabei unter anderem der gewebespezifische Plasminogenaktivator (t-PA), Plasminogen und Plasmin, welche für die hohe fibrinolytische Aktivität in dieser Region verantwortlich gemacht werden. So können sich schon kleinste kapilläre Blutungen leicht zu größeren Läsionen entwickeln. Dies könnte die Begründung sein, warum es bei subependymalen Blutungen im Bereich der germinalen Matrix bei ungefähr 80% aller Fälle auch zu Einblutungen in das Ventrikelsystem kommt [37].

1.2.1.1.1.3 Klassifikationen und Prognose

Zur Einschätzung von Prognose und möglichen Komplikationen bei Hirnblutungen des Frühgeborenen sind verschiedene Klassifikationen in Verwendung, welche die Lokalisation und das Ausmaß der Blutung heranziehen. Die im angloamerikanischen Sprachraum häufig verwendete Klassifikation nach Lou Ann Papile unterscheidet vier verschiedene Schweregrade, die in *Tabelle 1* aufgeführt sind. Die Einteilung begründet

sich auf computertomographische Untersuchungen, die beim Frühgeborenen in den ersten Lebenswochen durchgeführt wurden [38].

Tab. 1: Die Klassifikation der Hirnblutung beim Frühgeborenen nach L. A. Papile et al. [38]

Grad I	Isolierte Blutung in die germinale Matrix (subependymale Einblutung)
Grad II	Intraventrikuläre Einblutung ohne Ventrikeldilatation
Grad III	Intraventrikuläre Einblutung mit akuter Ventrikeldilatation
Grad IV	Intraventrikuläre und intraparenchymatöse Blutung

Zur Einteilung der Hirnblutungen beim Frühgeborenen wird seit 1998 in Deutschland häufig die auf Ultraschalldiagnostik basierende Klassifikation der DEGUM[1] verwendet. Zusätzlich zur Einteilung in eine der drei Schweregrade wird eine hämorrhagische Infarzierung des Hirnparenchyms, eine posthämorrhagische Ventrikelerweiterung, eine Blutung in anderen Hirnarealen und ein therapiebedürftiger posthämorrhagischer Hydrozephalus als eigene Entität gesondert beschrieben [39].

Tab. 2: Die Klassifikation der Hirnblutung beim Frühgeborenen der DEGUM [39]

Grad I	Subependymale Blutung
Grad II	intraventrikuläre Blutung <50% des Ventrikelvolumens
Grad III	intraventrikuläre Blutung >50% des Ventrikelvolumens

Prognosen bei Frühgeborenen mit intrazerebralen Blutungen betreffend Letalität, der Ausbildung einer progressiven Ventrikelerweiterung und der Wahrscheinlichkeit von schweren neurologischen Folgeschäden zu treffen, ist im Einzelfall sehr schwierig. In der Literatur unterscheiden sich die bei Studien mit großen Fallzahlen erhobenen Daten zur Einschätzung der Prognose zum Teil erheblich. *Tabelle 3* stellt einen Versuch dar, die unterschiedlichen Angaben gesammelt in einer Tabelle darzustellen:

[1] Deutsche Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin

Tab. 3: Folgen einer peri- und intraventrikulären Blutung bei Frühgeborenen [21, 37, 40-42]

Schweregrad der Blutung (nach Papile)	Grad I	Grad II	Grad III	Grad IV
Letalität	5 – 15%	10 – 20%	20 – 40%	27 – 60%
Progressive Ventrikeldilatation	5%	20 – 30%	55%	80%
Schwere neurologische Folgeschäden	5 – 15%	15 – 30%	35 – 50%	80 – 90%

Die Prognose nach einer intrazerebralen Blutung hängt von ihrem Schweregrad, von der Ausdehnung einer Parenchymläsion und von der Entwicklung eines posthämorrhagischen Hydrozephalus ab [21, 40]. Die Wahrscheinlichkeit von neurologischen Spätschäden wie Einschränkungen der Motorik, Hör- oder Sehverlust oder rezidivierende Krampfanfälle ist bei Kindern mit intrakraniellen Blutungen ohne persistierende Ventrikeldilatation und ohne Parenchymläsionen verglichen mit Frühgeborenen der gleichen Reife ohne Hirnblutung nur geringfügig erhöht. Frühgeborene mit einer persistierenden Ventrikelerweiterung oder mit periventrikulären Parenchymläsionen zeigen eine ungünstigere Langzeitprognose und entwickeln häufig deutliche motorische und/oder intellektuelle Behinderungen. Meistens sind motorische Ausfälle stärker ausgeprägt als intellektuelle Defizite [37, 41, 43-48].

1.2.1.1.1.4 Mechanische Schwingungen und intraventrikuläre Blutungen

In den letzten 30 Jahren wurden wiederholt Studien publiziert, die mechanische Schwingungen bei neonatologischen Intensivtransporten als Ursache für eine erhöhte Inzidenz von intraventrikulären Blutungen bei Frühgeborenen identifizieren konnten [15-18].

Mohamed et al. (2010) konnten in einer Studie mit fast 70.000 Frühgeborenen (mit einem Geburtsgewicht unter 1500 g) eine direkte Korrelation zwischen der Durchführung von neonatologischen Intensivtransporten und dem Ansteigen der Häufigkeit und des Schweregrades von intraventrikulären Blutungen zeigen. Während 27,4% aller transferierten Frühgeborenen eine intraventrikuläre Blutung entwickelten, waren es in der Kontrollgruppe der Frühgeborenen ohne postnatalen Transport nur 13,42%. Schwerwiegende intraventrikuläre Blutungen wurden bei 44,1% der Neugeborenen der Transportgruppe, aber nur bei 32,9% der Kontrollgruppe gefunden [18]. Die Inzidenz von

intraventrikulären Blutungen bei Frühgeborenen mit sehr niedrigem Gestationsalter könnte signifikant reduziert werden, wenn postnatale Interhospitaltransporte durch vorzeitige maternale Transferierungen öfter vermieden werden [15-17].

Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen konnten *Hauspy et al.* (2001) keine erhöhte Inzidenz für intraventrikuläre Blutungen feststellen, wenn neonatologische Transporte über kurze Distanzen von maximal 40 km durchgeführt wurden [49].

Bei sonografischen Reihenuntersuchungen von Frühgeborenen wurde festgestellt, dass sich unabhängig vom Gestationsalter 90% der IVH innerhalb der ersten 72 Lebensstunden manifestieren [23, 50]. In Zusammenschau mit dem Faktum, dass neonatologische Intensivtransporte aus dringlicher Indikation meist schon wenige Stunden nach der Geburt erfolgen, könnte sich hier durch mechanische Schwingungen während des Transports ein erhöhtes Gefahrenpotential für das Entstehen von Hirnblutungen ergeben.

1.2.1.1.1.5 Andere Risikofaktoren

In einigen veröffentlichten Studien haben männliche Frühgeborene ein signifikant höheres Risiko eine intraventrikuläre Blutung zu entwickeln [51-53]. Andere Autoren konnten in ihren Untersuchungen jedoch keinen Unterschied zwischen den Geschlechtern feststellen [15]. Weitere des Öfteren beschriebene Risikofaktoren für das Auftreten von intrazerebralen Hämorrhagien sind antepartale Blutungen der Mutter, intrauterine Asphyxie, vaginale Geburt (insbesondere Kindslagen wie Beckenendlage etc.), Wiederbelebungsmaßnahmen (Herzdruckmassage, Adrenalinapplikation, Intubation), niedrige Apgar-Scores, Infusion von hyperosmolaren Lösungen wie Natrium-Bikarbonat, Hypothermie, Surfactant-Therapie, Pneumothorax, hohe inspiratorische Sauerstofffraktion in den ersten 24 Lebensstunden, hochfrequente Ventilation, frühe Entwicklung einer Sepsis, Aktivierung inflammatorischer Zytokine (beispielsweise im Rahmen einer Chorionamnitis oder bei vorzeitigem Blasensprung), hohe arterielle Spitzendrücke und andere [15, 17, 22, 53-58]. Als protektive Faktoren gelten die Zugehörigkeit zur afroamerikanischen Rasse, ein hohes Alter der Mutter, eine Entbindung durch Kaiserschnitt, eine antenatale Steroidtherapie und die gewissenhafte Durchführung pränataler Vorsorgeuntersuchungen [53].

Neben mechanischen Schwingungen ist bei neonatologischen Intensivtransporten auch das Auftreten von anderen Risikofaktoren für das Entstehen von intrazerebralen Blutungen bei Frühgeborenen denkbar. So kann es im Rahmen von Stressreaktionen während eines Transportes zum Abfall der Sauerstoffsättigung sowie zu hohen arteriellen Spitzendrucken kommen. Inadäquate Ventilationseinstellungen am Transportrespirator oder das Auftreten einer Hypothermie sind während eines Transportes ebenfalls möglich. Diese und andere Faktoren könnten auch Ursache für die erhöhte Inzidenz von intrazerebralen Blutungen nach Inkubatortransporten sein. Aufgrund der oben beschriebenen anatomischen Besonderheiten der Region der germinalen Matrix sind neben Blutungen auch hypoxisch-ischämische Läsionen im Sinne einer periventrikulären Leukomalazie denkbar, Studien welche diese Vermutung belegen könnten, gibt es aber nicht.

1.2.1.1.2 Intrazerebrale Blutungen bei Reifgeborenen

In Pathogenese und Morphologie unterscheiden sich intrakranielle Blutungen beim Reifgeborenen ganz wesentlich von denen bei unreifen Kindern. Intraventrikuläre Blutungen sind nach einem Gestationsalter von 34 SSW eher selten und treten dann meistens nur im Rahmen von Blutgerinnungsstörungen auf. Häufiger findet man Blutungen, welche durch Geburtstraumata bedingt sind und beispielsweise durch mechanische Einwirkungen bei Zangengeburt, schwieriger Entwicklung bei engem Becken oder durch übermäßige Deformierung und Verschiebung der Schädelknochen während des Geburtsvorganges entstehen. Dabei kommt es zu Einrissen im Tentorium, der Falx cerebri, des Sinus sagittalis, Sinus rectus, Sinus transversus oder der V. magna cerebri und es kommt zu Blutungen im Subdural- oder Subarachnoidalraum. Meist sind solche Ereignisse heute vermeidbar und daher selten geworden [22, 40, 59].

Mechanische Schwingungen, wie sie bei normalen neonatologischen Intensivtransporten auftreten, dürften als Risikofaktor für die Entstehung von intrakraniellen Blutungen bei reifen Neugeborenen eine untergeordnete Rolle einnehmen. Hingegen kann es beim Auftreten von massiven Beschleunigungen, beispielsweise im Falle eines Verkehrsunfalles, nach Einreißen von Brückenvenen zu Blutungen zwischen Duralamellen bzw. zwischen Dura und Arachnoidea kommen [22, 40, 59].

1.2.1.2 Schwingungswahrnehmung und Wohlbefinden

Die durch das Einwirken von mechanischen Schwingungen auf das Individuum ausgelöste Beanspruchung hängt auch von der *subjektiven Wahrnehmung* ab. Der Wahrnehmungsbereich ist dabei individuell unterschiedlich und neben den Schwingungsparametern auch von Umgebungsbedingungen (z.B. Temperatur, Lärm) und individuellen Eigenschaften (Alter, Geschlecht, Gesundheitszustand) abhängig. Bei mechanischen Schwingungen definiert man eine Wahrnehmungsschwelle, unter welcher Schwingungen einer bestimmten Intensität nicht mehr wahrgenommen werden, und eine Schmerzgrenze, oberhalb der die Wahrnehmung in Schmerz übergeht.

Schwingungsbedingte Beeinträchtigungen des *Wohlbefindens* sind ebenfalls von individuellen Eigenschaften und der Umgebungssituation abhängig. Wegen der vielfältigen Einflussfaktoren und der individuellen Unterschiede lässt sich das Ausmaß der Beeinträchtigung in Abhängigkeit von Schwingungsparametern und Expositionsdauer nicht vorhersagen [9].

In der Arbeitsmedizin wird versucht die Auswirkungen von mechanischen Schwingungen auf die subjektive Wahrnehmung und das Wohlbefinden in Tabellen zu quantifizieren. Solche Grenzwerte können aber aufgrund der großen interindividuellen Variationsbreite selbst für gesunde Erwachsene nur einen orientierenden Charakter haben. Auf kritisch kranke Früh- und Neugeborene können diese Zahlen aber sicherlich nicht 1:1 umgelegt werden. Untersuchungen mit dieser Patientengruppe wurden aus offensichtlichen Gründen nicht durchgeführt.

Mechanische Schwingungen im Frequenzbereich zwischen 0,5 und 80 Hz werden für Beeinträchtigungen des Wohlbefindens, der Leistungsfähigkeit und der Gesundheit verantwortlich gemacht [9]. Dabei wird den Frequenzen zwischen 4 und 8 Hz Hauptaugenmerk geschenkt, da der Mensch von Schwingungen in dieser Bandbreite intensiv angeregt wird und diese als besonders unangenehm empfunden werden. Bei Inkubatortransporten gelten die Frequenzbereiche zwischen 3 und 18 Hz als besonders gefährlich [1].

Aufgrund der unterschiedlichen Masse-, Dämpfungs- und Federeigenschaften von Geweben und Organen werden in den einzelnen Körperabschnitten biomechanische

Schwingungen in sehr unterschiedlichem Ausmaß angeregt. Besondere Resonanzfrequenzen der Körperteile sind die Ursache dafür, dass selbst geringfügige Belastungen schon intensive biomechanische Schwingungen auslösen können und dass viele Reaktionen des Organismus eine deutliche Frequenzabhängigkeit aufweisen. Mögliche Effekte von Ganzkörperschwingungen in unterschiedlichen Frequenzbereichen können arbeitsmedizinischer Fachliteratur entnommen werden. Inwieweit diese Befunde auf Früh- und Reifgeborene übertragbar sind, ist unklar [10, 12].

1.2.1.3 Kinetosen

Der Frequenzbereich von mechanischen Schwingungen, bei dem es beim gesunden Erwachsenen zum Auftreten von Kinetosen kommen kann, wird mit 0,1 bis 0,5 Hz angegeben. Dabei ist die individuelle Anfälligkeit für die typischen Symptome wie Übelkeit, Schwindel, Erbrechen, Schweißausbrüche, Tachykardie und Blässe sehr unterschiedlich. Etwa 5 – 10% aller Menschen sind sehr empfindlich und 5 – 15% besitzen eine Resistenz gegen Kinetose-Symptome [9, 10, 60].

Neugeborene und Säuglinge können aufgrund der fehlenden Reifung des Gleichgewichtsorgans keine Kinetose entwickeln. Zwischen dem zweiten und zwölften Lebensjahr tritt die Reisekrankheit am öftesten auf, ab dem 50. Lebensjahr ist sie seltener anzutreffen, da der Vestibularapparat mit zunehmendem Alter immer unempfindlicher wird. Studien zeigen außerdem, dass Frauen häufiger unter der Reisekrankheit leiden als Männer [9, 10, 61].

Während Neugeborene und Säuglinge keine Reisekrankheit entwickeln können, stellen Kinetosen beim Rettungspersonal eine nicht zu unterschätzende Problematik dar. In einer Studie konnten während Einsatzflügen mit dem Rettungshubschrauber bei 46% des medizinischen Personals Übelkeit oder Erbrechen nachgewiesen werden. Die nach den Einsatzflügen getestete Konzentrationsfähigkeit war bei jenen Einsatzkräften, welche Kinetose-Symptome entwickelt hatten, hochsignifikant vermindert [61, 62]. Dieses Problem scheint in größerem Ausmaß den Flugrettungsdienst zu betreffen, spielt aber auch bei bodengebundenen Inkubatortransporten eine Rolle. Ärzte und Diplompflegekräfte, welche bereits in der Vergangenheit unter den Symptomen einer Reisekrankheit gelitten

haben, sollten daher rechtzeitig geeignete Medikamente zur Kinetose-Prophylaxe einnehmen [61, 63].

Für das Früh- oder Neugeborene spielt die Reisekrankheit beim Inkubatortransport also keine Rolle, indirekt könnten Kinetosen beim begleitenden Personal aber aufgrund verminderter Konzentrationsfähigkeit eine Gefahr für die kleinen Patienten darstellen, wenn beispielsweise bedrohliche Situationen nicht rechtzeitig erkannt werden.

1.2.2 Lärm

Lärmmessungen während neonatologischer Intensivtransporte wurden in der Vergangenheit bereits des Öfteren durchgeführt. Dabei wurden Untersuchungen bei Inkubatortransporten in Rettungswagen, in Helikoptern, in Flugzeugen und sogar auf Schiffen durchgeführt. Die höchsten Lärmbelastungen wurden bei Transporten im Hubschrauber beobachtet [2, 3, 5, 8, 12, 64].

Die *Canadian Standards Association* hat 1992 Empfehlungen veröffentlicht, dass der A-bewertete Schalldruckpegel während eines Inkubatortransportes 60 dB(A) nicht überschreiten sollte [5]. Empfehlungen für die maximal zulässige Lärmbelastung von Früh- und Neugeborenen auf einer neonatologischen Intensivstation erlauben folgende Ein-Stunden-Maximalwerte: Der sog. *äquivalente Dauerschallpegel* (L_{eq}) ist ein Maß der durchschnittlichen Gesamtbelastung und sollte 50 dB(A) nicht überschreiten. Der sog. *L_{10}-Wert* gibt den Schallpegel an, der in 10% der gemessen Zeit überschritten wird; er sollte maximal 55 dB(A) betragen. Ein über eine Sekunde gemessener Maximalpegel sollte laut diesen Empfehlungen 70 dB(A) nicht überschreiten [65, 66]. Die *US Environmental Protection Agency* und die *American Academy of Pediatrics* empfehlen als Grenzwert für den durchschnittlichen Dauerschallpegel in Krankenhäusern 45 dB(A) für Wachzeiten und 35 dB(A) in Schlafzeiten [67-69].

Praktisch alle Veröffentlichungen von Schallpegelmessungen bei neonatologischen Intensivtransporten zeigen Lärmbelastungen über den empfohlenen Grenzwerten. *Ciesielski et al.* (1980) veröffentlichten Messungen mit durchschnittlichen Lärmbelastungen von 60 dB(A) bei Inkubatortransporten auf der Straße [64]. Andere Autoren wiesen weit überhöhte Spitzenwerte nach: *Campell et al.* (1984) haben bei Inkubatortransporten zu Lande und in der Luft Werte von 78 bis 99 dB(A) gemessen [2].

Buckland et al. (2003) fanden bei Transporten in Krankenwagen, Hubschraubern und Flugzeugen Spitzenpegel über 80 dB(A) [8]. Bei Inkubatortransporten im Rettungswagen fand *Speidel* (2008) in den unterschiedlichen Frequenzbereichen Spitzenwerte zwischen 77 und fast 100 dB(A) [12].

In der Literatur wird die Gefahr für Schäden oder Entwicklungsstörungen am Gehörorgan bei Früh- und Neugeborenen nach Lärmexposition unterschiedlich eingeschätzt: Einerseits finden Autoren Hinweise auf Hörschäden, die durch einen hohen Lärmpegel im Inkubator bei Frühgeborenen ausgelöst wurden [68, 70, 71], andererseits sehen andere Autoren keinen Zusammenhang zwischen der Expositionsdauer und der Entwicklung von Taubheit [72, 73].

Die Reifung des Zentralnervensystems erfolgt entwicklungsbiologisch zu einem relativ späten Zeitpunkt der Schwangerschaft, so dass Frühgeborene in dieser vulnerablen Entwicklungsphase bereits den Schutz einer warmen, dunklen und leisen Umgebung im mütterlichen Uterus verloren haben. Es wird diskutiert, dass durch exzessive Stimuli, wie beispielsweise akustische Reize von hoher Lautstärke, Neuronen alternative, „unphysiologische“ Leitungsbahnen zwischen Hirnstamm und Kortex ausbilden könnten. So könnte das Gehirn von Frühgeborenen durch chronische und möglicherweise auch durch akute Lärmbelastungen eine veränderte elektrophysiologische Organisation aufweisen, was die Ursache für die erhöhte Inzidenz von Lernschwäche und Verhaltensauffälligkeiten bei Frühgeborenen begründen könnte [2, 70, 74-76].

Besonders schädlich könnten Lärmbelastungen bei Frühgeborenen auch deshalb sein, weil aufgrund der Unreife des Zentralnervensystems die Fähigkeit zur selektiven Ausschaltung oder Abschwächung von eintreffenden Stimuli noch nicht ausgebildet ist. Durch die verminderte Toleranz gegenüber Stressoren kommt es beim Frühgeborenen zu einer Reizüberflutung im Gehirn mit potentieller Schädigung wichtiger Strukturen [77].

Hohe Lärmpegel können bei Frühgeborenen außerdem schädliche Stressreaktionen auslösen. Ein Ansteigen der Herzfrequenz, des Blutdrucks und der Atemfrequenz sind zu beobachten. Dadurch steigen der Sauerstoffverbrauch (Abfallen der Sauerstoffsättigung) und der Energieumsatz, was bei einem kritisch kranken Neugeborenen zu Verschlechterung des Krankheitsbildes, zur Verlängerung des Heilungsprozesses oder zu verlangsamten Wachstum führen kann. Wenn die Stress auslösenden Reize ohne

Unterbrechung andauern, kann es im schlimmsten Fall zu Bradykardie und Apnoe kommen [68, 70, 75]. Beim Neugeborenen findet man als physiologische Antwort auf Stressfaktoren unterschiedlicher Intensität außerdem ein Ansteigen der Anzahl an Leukozyten im Blut [78, 79]. Eine Studie von *Grosek et al.* (2009) zeigte, dass die Leukozytenzahl und die Herzfrequenz bei bodengebundenen Neugeborenentransporten am Tag stärker ansteigen als bei bodengebundenen Transporten in der Nacht oder bei Inkubatortransporten mit dem Helikopter am Tag [80]. Eine Interpretation dieses Ergebnisses ist ob der vielen Einflussfaktoren schwierig.

Li et al. (2009) fanden bei hohen Lärmpegeln auf Intensivstationen neben Hörschäden und zentralnervösen Entwicklungsstörungen auch erhöhte Inzidenzen für periventrikuläre Leukomalazie, sowie periventrikuläre und intraventrikuläre Blutungen [71].

Es gibt viele Studien, welche geeignete Maßnahmen zur Lärmreduktion auf neonatologischen Intensivstationen beschreiben [73, 76, 81-84]. Unter anderem wird das Anlegen von Gehörschützern zur Schalldämmung empfohlen, eine Maßnahme, die auch während eines neonatologischen Intensivtransportes Verwendung finden sollte [71, 85].

1.2.3 Temperaturschwankungen

Es ist bekannt, dass bei Neugeborenen und in verstärktem Maße auch bei Frühgeborenen durch ein ungünstiges Oberflächen-Volumen-Verhältnis (beim Reifgeborenen dreimal größer als beim Erwachsenen) und durch schlechte Isolationsmechanismen (dünne Haut, wenig subkutanes Fett) große Wärmeverluste vorkommen können und auf diese Weise das Auftreten von Hypothermie begünstigt wird [86].

Die Thermogenese bei Neugeborenen und Frühgeborenen wird in erster Linie über zitterfreie Wärmebildung (*non-shivering thermogenesis*) im braunen Fettgewebe vollzogen, die mit einem erheblichen O_2-Verbrauch einhergeht. Anders als Erwachsene sind Neugeborene und Säuglinge noch nicht in der Lage, durch Kältezittern Wärme zu erzeugen [86-88].

Einer drohenden Auskühlung wird außerdem durch periphere Vasokonstriktion der Hautgefäße entgegengesteuert [87]. Bei Neugeborenen und Frühgeborenen findet man

bereits gut ausgebildete vasomotorische Antworten auf Kältereize [89]. Gegensätzliche Ergebnisse fanden *Knobel et al.* (2009) bei Frühgeborenen unter 1000 g, wo innerhalb der ersten zwölf Lebensstunden das Fehlen einer peripheren Gefäßengstellung bei Sinken der Körpertemperatur beobachtet wurde [90].

Mehrere Studien haben sich mit den Auswirkungen einer Hypothermie bei Früh- und Neugeborenen beschäftigt. Als Hypothermie wurden Körperkerntemperaturen unter 35°C bzw. in anderen Studien unter 35,5°C definiert. Es konnte gezeigt werden, dass eine postnatal gemessene Hypothermie (je nach Studie zu einem unterschiedlich definierten Zeitpunkt) mit einem erhöhten Morbiditäts- und Mortalitätsrisiko für intraventrikuläre Blutungen und für ein ARDS (Acute Respiratory Distress Syndrome) assoziiert ist [15, 91-93]. Daher sollte durch die Verwendung von beheizten Transportinkubatoren mit adäquat hohen und gleichbleibenden Lufttemperaturen eine Unterkühlung des Patienten unbedingt vermieden werden.

Die Einführung von beheizbaren Gelmatratzen als Unterlage im Transportinkubator (*TransWarmer Infant Transport Mattress*) konnte die Häufigkeit des Auftretens einer Hypothermie bei Frühgeborenen signifikant reduzieren [94]. Bei der Verwendung solcher Matratzen wurden Bedenken hinsichtlich der Entwicklung einer Hyperthermie geäußert. Es sollten daher stets Monitoringmechanismen zur kontinuierlichen Temperaturmessung eingesetzt werden [95].

1.2.4 Transportdauer

Kollee et al. (1989) zeigten, dass das Mortalitätsrisiko von Frühgeborenen (mit einem Geburtsgewicht von weniger als 1500 g oder/und mit einem Gestationsalter von weniger als 34 Wochen) nach einem neonatalen Transport mit zunehmender *Entfernung* signifikant ansteigt [96]. Der antenatale Transport ist im Gegensatz dazu mit einem niedrigeren Mortalitätsrisko verbunden und selbst über große Strecken fast überall lückenlos möglich [96-98].

Mori et al. (2007) konnten eine signifikant erhöhte Mortalität von Neugeborenen nach neonatalen Transporten mit der Zunahme der *Transportdauer* feststellen. Für neonatologische Intensivtransporte mit einer Dauer von mehr als 90 Minuten wurde ein mehr als zweifach erhöhtes Risiko für das Versterben des Säuglings innerhalb von 28

Lebenstagen im Vergleich zu Transporten mit einer Dauer von 30 bis 59 Minuten gefunden [99].

Hauspy et al. (2001) veröffentlichten hingegen Ergebnisse, wonach es im Vergleich zu einer Kontrollgruppe keine erhöhte Mortalität und keine erhöhten Inzidenzen für ein Respiratory Distress Syndrom, intraventrikuläre Blutungen, nekrotisierende Enterocolitiden, einen persistierenden Ductus arteriosus oder für das Auftreten von Septikämie gegeben hat, wenn neonatologische Transporte über kurze Distanzen (<40 km) durchgeführt wurden [49].

1.3 Der Stellenwert des neonatalen Intensivtransportes

1.3.1 Die Geschichte des Neugeborenentransportes und seine Bedeutung in der Gegenwart

Die Einrichtung von neonatologischen Zentren mit hochspezialisierten Fachärzten und die Einführung von neuen Technologien zur Versorgung von Frühgeborenen haben in den letzten Jahrzehnten zu einer erheblich reduzierten Säuglingssterblichkeit geführt [100, 101]. 1948 konnte man in New York zeigen, dass der postnatale Transport von schwer kranken Neugeborenen in spezialisierte und gut ausgestattete Frühgeborenenzentren deren Überlebenswahrscheinlichkeit erhöhen konnte [102]. Eingesetzt wurden damals bereits tragbare Transportinkubatoren, die erstmals in den 40er Jahren in Chicago verwendet wurden [103]. In der Folge kam es in den Vereinigten Staaten und in vielen Teilen Europas zum Aufbau von hochtechnisierten Transportsystemen für kritisch kranke Früh- und Reifgeborene, um diese postnatal einer qualitativ hochwertigen Versorgung in einem neonatologischen Zentrum zuführen zu können. Dies ermöglichte es selbst kleinsten geburtshilflichen Einrichtungen (mit vergleichsweise schlechter Ausstattung und geringen Fallzahlen, ohne Anbindung an eine pädiatrische Abteilung) Entbindungen bei Hochrisiko-Schwangerschaften durchzuführen [40].

Es wurde aber beobachtet, dass Früh- oder Reifgeborene, die in einem neonatologischen Zentrum zur Welt gebracht wurden, eine niedrigere Mortalitäts- bzw. Morbiditätsrate aufwiesen, im Vergleich zu jenen Neugeborenen, die in einer geburtshilflichen Abteilung

mit niedrigerer Versorgungsstufe entbunden und erst später in ein Perinatalzentrum transferiert wurden [96, 104-111].

Durch technische Fortschritte in der Pränataldiagnostik konnte man nun bei Schwangeren leichter Risikokonstellationen identifizieren und bei erkannter Gefährdung des Feten zur optimalen Versorgung einen intrauterinen, pränatalen Transport in ein neonatolgisches Zentrum unternehmen. Diese Risiko-Differenzierung unter Schwangeren und deren Betreuung in Versorgungsstrukturen mit adäquatem Behandlungspotenzial (*Risikofallzentralisierung*) wird in der Geburtshilfe als *Regionalisierung* bezeichnet. Im Gegensatz dazu bezeichnet man die generelle Verlagerung der Geburtshilfe in Zentren unabhängig von einer Risikostratifizierung als *Zentralisierung* [112, 113]. In Österreich wird das Konzept der Regionalisierung mit Zentralisierung von Frauen mit Risikoschwangerschaften verfolgt.

Die *ÖGfPPM*[2] definiert ein Perinatalzentrum als ein Krankenhaus mit Schwerpunkt auf Betreuung von Risikoschwangerschaften und Risikogeburten inklusive Frühgeburten durch spezialisierte Ärzte, Ärztinnen und Fachkräfte aus den Bereichen Geburtshilfe, Kinderheilkunde, Kinderchirurgie und Anästhesie [114]. Das *Österreichische Bundesministerium für Gesundheit* hat im *ÖSG 2008*[3] die strukturellen Voraussetzungen der perinatologischen Versorgung und die Mindestanforderungen an die geburtshilflichen Einrichtungen einer bestimmten Versorgungsstufe definiert und die Versorgung von Schwangeren, Müttern, Neu- und Frühgeborenen interdisziplinär und risikoadjustiert in einem Stufensystem zusammengefasst [115]:

[2] *Österreichische Gesellschaft für prä- und perinatale Medizin*
[3] *Österreichischer Strukturplan Gesundheit 2008 (inkl. Großgeräteplan)*

Tab. 4: Stufen der perinatologischen Versorgung in Österreich [115]

Stufe 1	**Maximalversorgung (Perinatalzentrum)** Interdisziplinäre Einrichtung zur Versorgung von Kindern mit pränatal diagnostizierten Risikokonstellationen mit mindestens sechs neonatologischen Intensivbetten
Stufe 2	**Schwerpunktversorgung** Neonatologie mit Beatmungsmöglichkeit; Länger zu beatmende Neugeborene sind an ein Perinatalzentrum zu verlegen; FA für Kinder- und Jugendheilkunde 24 Stunden anwesend
Stufe 3	**Grundversorgung** Betreuung risikofreier Schwangerschaften; Transferierung von Risikoschwangerschaften; 24 Stunden Operationsbereitschaft; FA für Kinder- und Jugendheilkunde als Konsiliardienst verfügbar
	Reduzierte Grundversorgung Bereits bestehende geburtshilfliche Abteilungen in peripheren Regionen trotz Geburtenzahlen unter 365/Jahr, in Ausnahmefällen

In der angloamerikanischen Literatur findet man eine inverse Nummerierung des perinatologischen Stufensystems nach Empfehlungen der *American Academy of Pediatrics*: Perinatalzentren werden als *level III hospitals* bezeichnet bzw. werden geburtshilfliche Einrichtungen der niedrigsten Versorgungsstufe (ohne Anbindung an eine pädiatrische Abteilung) unter *level I hospitals* zusammengefasst [116].

Ein möglichst komplikationsarmer Geburtsverlauf bei Frauen in einer Risiko-Schwangerschaft und die optimale Versorgung eines bedrohten Neugeborenen erfordert im Hinblick auf die Gesundheit von Mutter und Kind spezielle Kenntnisse und Fähigkeiten eines Experten, welcher auf entsprechende Fallzahlen zurückgreifen können muss, sowie Ausrüstung und technische Gerätschaften, die aus Häufigkeits- und Kostengründen nicht an jedem Ort vorhanden sein können [106, 117, 118]. Es ist daher für alle Schwangeren, welche aufgrund von pränatal diagnostizierten Befunden zu einer definierten Risikogruppe zählen, die Verlegung vor einer geplanten oder bevorstehenden Entbindung in ein Krankenhaus der adäquaten Versorgungsstufe anzustreben [96, 97, 100, 104, 105, 110, 111, 119-123]. Indikationen zur Einweisung von Schwangeren in Krankenhäuser der optimalen Versorgungsstufe sind in den Leitlinien der *Deutschen Gesellschaft für Neonatologie und Pädiatrische Intensivmedizin* definiert [124], welche laut *ÖSG 2008* bis zur Entwicklung österreichweit gültiger Leitlinien auch hierzulande angewendet werden

sollen [115]. In der Steiermark wurden für alle Landeskrankenhäuser Transferierungsempfehlungen ausgesprochen, die 2001 in einem *KAGes*[4]-internen Qualitätsmanagement-Projekt bearbeitet, festgelegt und seitdem umgesetzt werden [125, 126]. Auf eine beispielhafte Auflistung möglicher Indikationen für eine vorgeburtliche Verlegung wird an dieser Stelle verzichtet.

Obwohl viele veröffentlichte Studien und die oben erwähnten Leitlinien den antenatalen Transport bei Schwangerschaften mit pränatal diagnostizierten Risikokonstellationen in ein neonatologisches Zentrum empfehlen, sind manche Geburten außerhalb dieser Einrichtungen einfach nicht zu vermeiden.

Menard et al. (1998) untersuchten, warum Geburten in South Carolina von Frühgeborenen mit einem Geburtsgewicht <1500 g in geburtshilflichen Einrichtungen einer niedrigen Versorgungsstufe durchgeführt und diese Frauen trotz vorliegender Risiko-Schwangerschaften nicht in ein Perinatalzentrum transportiert wurden. 51% der werdenden Mütter konnten wegen einer überstürzten Geburt (Geburtsdauer von weniger als 3 Stunden) oder wegen einer bereits weit fortgeschrittenen Geburt (>4 cm Eröffnung des Muttermundes) nicht transportiert werden. Bei weiteren 12% der Gebärenden lagen andere Kontraindikationen für einen pränatalen, intrauterinen Transport vor. Als Beispiele werden vorzeitige Plazentalösungen, Blutungen bei Placenta praevia oder eine perinatale Hypoxie des Feten angeführt. Des Weiteren wurden 14% der Schwangeren aufgrund des niedrigen Gestationsalters (<25 SSW) nicht transportiert, weil die Ärzte den Fetus für nicht lebensfähig gehalten hatten. Es stellte sich aber heraus, dass in einigen Fällen diese Frühgeborenen potentielle Überlebenschancen gehabt hätten [109, 127].

In den Transferierungsempfehlungen der KAGes werden als Kontraindikationen für einen antenatalen Transport eine Plazentalösung (oder der Verdacht darauf), eine unmittelbar bevorstehende Geburt bzw. nicht behebbare Wehentätigkeit, schwere Blutungen und andere Zustände genannt, die eine sofortige (notfalls-)medizinische Behandlung erfordern (z.B. Eklampsia convulsiva). Außerdem gilt als Kontraindikation, wenn für die Transferierung des geburtshilflichen Notfalls keine ärztliche Begleitung abgestellt werden kann [126].

[4] *Steiermärkische Krankenanstaltengesellschaft m. b. H.*

In Einzelfällen wird man also abwägen müssen, ob eine Verlegung für die Schwangere und ihr Kind einen Vorteil gegenüber den Risiken und Nachteilen eines neonatalen Transportes bringt. Wenn daher bei Schwangerschaften mit pränatal diagnostizierten Risikokonstellationen frühzeitig unvorhersehbare Komplikationen auftreten, die Mutter den antenatalen Transport ablehnt oder aufgrund von Kontraindikationen nicht transportfähig ist, muss versucht werden, unmittelbar nach der Geburt die Durchführung eines neonatalen Intensivtransportes zu organisieren [40].

Im amerikanischen Bundesstaat Georgia untersuchte man 1994 - 1996 bei Frühgeborenen (<1500 g), welche Einflussgrößen darüber entschieden, ob das Kind in einem Krankenhaus der adäquaten Versorgungstufe entbunden wurde oder nicht. Als wichtigste Vorhersageparameter wurden der Wohnort der schwangeren Frau und die damit verbundene Erreichbarkeit von geburtshilflichen Kliniken der verschiedenen Versorgungsstufen identifiziert. Während 89% der Frühgeborenen von Müttern aus einer Region mit einem Perinatalzentrum auch in diesem entbunden wurden, waren es bei Müttern, die in Regionen ohne adäquate Versorgung lebten, nur 53% [111]. Bei einer Umfrage unter Schwangeren in Deutschland gaben von 416 Befragten 84,1% an, vor der Entbindung nicht länger als 20 km in die Geburtsklinik fahren zu wollen und 78,6% gaben an, Angst davor zu haben, während der Fahrt zur Entbindung ins perinatologische Zentrum das Kind auf die Welt zu bringen. 43% sprachen sich offen gegen eine Risikofallzentralsierung aus, und akzeptierten somit die potentiellen Gefahren eines neonatalen Intensivtransportes [112].

Die neonatologische Arbeitsgemeinschaft Ulm konnte durch intensive Überzeugungsarbeit in allen geburtshilflichen Einrichtungen im Einzugsgebiet eine Steigerung der Zentralisierung von Frühgeburten (<1500 g) von 40% (1974) auf 95 - 100% (seit 1987) erreichen. 1974 wurden noch 60% der im Universitätsklinikum Ulm behandelten Frühgeborenen postnatal aus den umliegenden geburtshilflichen Abteilungen abgeholt, heute stellt ein solcher postnataler Transport eine Ausnahme dar. In den meisten Fällen können Anzeichen einer drohenden Frühgeburt rechtzeitig erkannt werden, so dass selbst in einer ländlichen und wenig besiedelten Region eine Einweisung in ein Krankenhaus der adäquaten Versorgungsstufe möglich ist [128]. Die Forderung nach Risikofallzentralisierung [111] wurde auch in der USA häufig erhoben und fand Eingang in das regierungsamtliche Projekt *Healthy People 2010*, das eine Zentralisierung von

Frühgeborenen (<1500 g) von mindestens 90% anstrebt [129]. Diesen Bestrebungen stehen zahlreiche Publikationen aus aller Welt gegenüber, welche den Grad der Risikofallzentralisierung deutlich unter 90% angeben [106, 109, 123, 130-135].

Wie also gezeigt wurde, sollen nach heutigem Stand des Wissens bei Schwangeren maternale oder fetale Risikokonstellationen durch pränatale Diagnostik früh erkannt und diese Frauen nach Möglichkeit rechtzeitig zur Entbindung in perinatologische Zentren überführt werden. Die kleine Anzahl an Frühgeborenen, die aus unterschiedlichen oben genannten Gründen das Licht der Welt außerhalb eines Perinatalzentrums erblicken, und das Auftreten von unerwarteten Komplikationen und lebensbedrohenden Zustandsbildern bei Neugeborenen, begründet die auch in Zukunft bestehende Notwendigkeit der Durchführung von neonatologischen Intensivtransporten.

1.3.2 Neonatologische Versorgung und Neugeborenentransporte in der Steiermark

In der Steiermark wird in der neonatologischen Versorgung ebenfalls das Modell der Regionalisierung verfolgt. Frauen mit einer Risiko-Schwangerschaft werden in das Perinatalzentrum im *LKH Graz* oder in die geburtshilfliche Abteilung des *LKH Leoben* mit angeschlossener Neonatologie transferiert. In den acht anderen geburtshilflichen Abteilungen der steirischen Landeskrankenhäuser, dem *Diakonissen-Krankenhaus Schladming* und den zwei Grazer Sanatorien (*Privatklinik Ragnitz* und *Sanatorium St. Leonhard*) wird die neonatologische Grundversorgung durch einen Konsiliardienst sichergestellt.

Generell lässt sich österreichweit eine Abnahme der Geburtenzahl in Krankenhäusern ohne Abteilung für Kinder- und Jugendheilkunde, hingegen ein Gleichbleiben oder eine Zunahme in Krankenanstalten mit einer pädiatrischen Abteilung beobachten. In der Steiermark werden bereits ein Drittel aller Neugeborenen in den beiden Krankenhäusern mit angeschlossener Neonatologie (LKH Graz und Leoben) auf die Welt gebracht [113].

In *Tabelle 5* werden Zahlen aus dem von der steiermärkischen KAGes veröffentlichten Geburtenregister aus den Jahren 2004 bis 2008 zusammengefasst:

Tab. 5: Verlegung von Neugeborenen an eine neonatologische Abteilung in der Steiermark (LKH Graz und Leoben) [125, 136-138]

	2004	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**
Summe der dokumentierten Fälle	7261 *100%*	8240 *100%*	8091 *100%*	7411 *100%*	7325 *100%*
Keine Verlegung notwendig	6832 *94,1%*	7736 *93,9%*	7604 *94,0%*	7222 *97,4%*	7128 *97,3%*
Verlegung bis zum 7. Lebenstag	429 *5,9%*	504 *6,1%*	487 *6,0%*	189 *2,6%*	197 *2,7%*
Lebendgeburten gesamt	8998 *100%*	8858 *100%*	8997 *100%*	9110 *100%*	9028 *100%*
Unzureichend dokumentierte Fälle	1737 *19,3%*	618 *7,0%*	906 *10,1%*	1699 *18,6%*	1703 *18,9%*

Betrachtet man die Anzahl der Verlegungen von Neugeborenen an die neonatologischen Einrichtungen im LKH Graz und Leoben, wird im Verlauf von 2004 bis 2008 deutlich, dass es in diesen Jahren zu einer Abnahme von neonatologischen Intensivtransporten gekommen ist. Während 2004 noch 5,9% aller in geburtshilflichen Abteilungen der steiermärkischen Landeskrankenhäuser (ohne direkte Anbindung an eine Kinderklinik) zur Welt gekommenen Neugeborenen an eine neonatologische Abteilung transferiert werden mussten, ist dieser Wert 2008 auf 2,7% abgesunken.

Die bereits erwähnten Transferierungsempfehlungen der Steiermärkischen KAGes zur Zentralisierung von Risikoschwangerschaften an neonatologische Zentren dürften dazu geführt haben, dass Schwangere mit Risikokonstellationen immer öfter rechtzeitig an ein entsprechendes Zentrum transferiert werden, und sind als Hauptgrund für die sinkenden Verlegungszahlen in der Steiermark zu werten [136].

Tabelle 6 zeigt die Anzahl postnataler Verlegungen kritisch kranker Neugeborener im Transportinkubator am LKH Leoben in den Jahren 2002 bis 2008. Unterschieden werden dabei externe und interne Transporte. *Externe Inkubatortransporte* erfolgen im Rettungswagen (und in Ausnahmefällen auch im Hubschrauber) von einer auswärtigen geburtshilflichen Abteilung auf die neonatologische Intensivstation im LKH Leoben oder vom LKH Leoben ins Universitätsklinikum Graz. Als *interne Verlegungen* werden

hausinterne Inkubatortransporte im LKH Leoben vom Operationssaal der geburtshilflichen Abteilung oder vom Kreissaal auf die neonatologische Intensivstation bezeichnet. Für das Jahr 2002 stehen nur Zahlen für die externen Transporte zur Verfügung.

Tab. 6: Postnatale Intensivtransporte von Neugeborenen auf die neonatologische Intensivstation im LKH Leoben in den Jahren 2002 bis 2008 [139].

	2002	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**
Externe Inkubatortransporte	91	130	85	70	95	89	78
Interne Inkubatortransporte	-	504	452	291	411	371	383

Die seit der Veröffentlichung der Transferierungsempfehlungen der Steiermärkischen KAGes sinkenden Verlegungszahlen in der Steiermark spiegeln sich somit nicht in den Daten des LKH Leoben wieder. In den Jahren 2002 bis 2008 lässt sich kein eindeutiger Trend bezüglich Zu- oder Abnahme der neonatologischen Intensivtransporte feststellen. Einen statistischen Ausreißer stellt das Jahr 2003 dar; im Vergleich zu den übrigen Jahren wurden in diesem Jahr deutlich mehr externe und interne Verlegungen durchgeführt.

2008 fanden an den geburtshilflichen Abteilungen der *Steiermärkischen KAGes* sowie im *Diakonissen-Krankenhaus Schladming* insgesamt 8.905 Geburten statt, bei denen 9.052 Kinder geboren wurden [136]. Die Zahlen stammen aus dem *Geburtenregister Steiermark* der steiermärkischen KAGes, das die Geburtenzahlen der Grazer Sanatorien nicht berücksichtigt. Zahlen der *Statistik Austria* zeigen, dass es 2008 steiermarkweit 10.255 Lebendgeborene gegeben hat.

In der Steiermark lag die Zahl der Lebendgeborenen zwischen 1981 und 1993 bei durchschnittlich ca. 13.700 pro Jahr mit dem Höchstwert von 14.880 im Jahr 1982. In der Folge kam es zu einer Abnahme der Geburtenzahlen bis ins Jahr 2001 mit der bislang geringsten jemals registrierten Geburtenzahl (10.014). Seither ist kein einheitlicher Trend erkennbar [140].

Es gibt in der Steiermark Abteilungen für Geburtshilfe, an denen es zu weniger als 1 - 2 Geburten pro Tag kommt. Es gibt zwar keinen wissenschaftlichen Konsens über eine zu empfehlende Mindestanzahl an jährlichen Geburten in einer Einrichtung, es existieren aber einige Untersuchungen, die ein deutlich erhöhtes Mortalitätsrisiko an Einrichtungen mit

einer Geburtenhäufigkeit unter 500/Jahr aufweisen [141-144]. Bei einem weiteren Rückgang der Geburtenzahlen ist daher eine weitere Zentralisierung der Geburten auf weniger Standorte empfehlenswert [138].

Die fallenden Geburtenzahlen in der Steiermark und die möglichen Schließungen von kleinen geburtshilflichen Abteilungen könnten steiermarkweit zu einem weiteren Absinken der Anzahl von neonatologischen Intensivtransporten beitragen.

1.3.3 Durchführung und Organisation von neonatologischen Intensivtransporten

In den Transferierungsempfehlungen für Neugeborene der Steiermärkischen KAGes wird angeführt, in welchen Fällen die Organisation eines postnatalen Inkubatortransportes angestrebt werden sollte. *Tabelle 7* listet Indikationen für die Notwendigkeit der Durchführung eines neonatologischen Intensivtransportes auf.

Tab. 7: Empfehlungen der Steiermärkischen KAGes für Indikationen zur Transferierung von Neugeborenen an eine neonatologische Abteilung [126]

Frühgeburtlichkeit < 35. SSW
Geburtsgewicht < 2000g, fetale Wachstumsretardierung (≤ 3. Perzentile)
Polyglobulie (Hämatokrit venös ≥ 0,70) mit klinischer Symptomatik
Klinischer Verdacht auf Infektion (Temperaturinstabilität, Apnoen, Leukozytopenie, pathol. CRP)
Nach primärer Reanimation und Intubation
Atemstörungen jeglicher Genese in Kombination mit neonatalen Risikofaktoren
Atemstörungen (Tachypnoe > 60/min, thorakale Einziehungen, Jammern) > 2 Stunden nach der Geburt im Sinne einer verzögerten Anpassung
Zyanose (außer in den ersten 10 Lebensminuten)
APGAR-Werte ≤ 4 (1 Minute post partum) bzw. < 7 (5 Minuten post partum) und ein Nabelarterien-pH ≤ 7,10
Herzrhythmusstörungen
Fehlbildungen oder Verdacht darauf (Transfer zur weiteren Diagnostik/Therapie)
Angeborene Stoffwechselstörungen oder Verdacht darauf
Diabetische Fetopathie
Hypoglykämie (BZ ≤ 45 mg/dl bei mehr als zwei Messungen innerhalb von 2 Stunden trotz ausreichender Nahrungszufuhr)
Anämie in der ersten Lebenswoche (Hämatokrit ≤ 35 %)

Morbus haemolyticus neonatorum
Hyperbilirubinämie: • ≥ 20 mg/dl trotz Fototherapie bei gesundem reifem Neugeborenen • ≥ 17 mg/dl trotz Fototherapie bei reifem Neugeborenen mit Risikofaktoren • sichtbarer Ikterus in den ersten 24 Lebensstunden
Intrakranielle Blutungen oder Verdacht darauf, Krampfanfälle, neurologische Auffälligkeiten
Gestörte Ausscheidung von Harn (48h) und/oder Mekonium (24h)
Gewichtsabnahme > 15% des Geburtsgewichtes
Kinder drogenabhängiger Mütter

In der Steiermark verfügen die neonatologischen Abteilungen Graz und Leoben über einen Intensivtransportdienst, der die transferierungsbedürftigen Früh- und Neugeborenen vor Ort abholen kann. Neonatologische Intensivtransporte werden von einem Facharzt für Kinder- und Jugendheilkunde mit Erfahrung in der neonatologischen Versorgung von Früh- und Neugeborenen sowie von einer diplomierten Pflegekraft der neonatologischen Intensivstation begleitet. Der Transport erfolgt in enger Zusammenarbeit mit einem regionalen Rettungsdienst (Rotes Kreuz, Grünes Kreuz) [40, 126].

Der Transport sollte durch ein Telefonat zwischen Geburtshelfer und den im Transportdienst tätigen Neonatologen organisiert werden, um eine ideale Vorbereitung des Transportes garantieren und erste therapeutische und diagnostische Maßnahmen noch vor Eintreffen des Intensivtransportteams durchführen zu können [40].

Weltweit werden neonatologische Inkubatortransporte von Bediensteten unterschiedlicher Berufsgruppen durchgeführt: Dabei sind unterschiedliche Kombinationen aus Ärzten, Krankenpflegepersonal und Rettungsdienstpersonal üblich [145, 146]. Studien der letzten 25 Jahre haben gezeigt, dass spezifische Schulungen zur ordnungsgemäßen Durchführung von neonatologischen Transporten das Outcome von Früh- und Neugeborenen unabhängig von den beteiligten Berufsgruppen deutlich verbessert [13, 147, 148]. Andere Studien haben die verschiedenen Berufsgruppen, welche als Transportführer eines neonatologischen Intensivtransports eingesetzt werden, evaluiert. Die Ergebnisse zeigen, dass hinsichtlich des Outcomes kein signifikanter Unterschied festgestellt werden kann, ob der Transport von einem Arzt oder einer geschulten Pflegekraft der Neugeborenen-Intensivstation durchgeführt wird [149, 150]. Ob die Fallzahlen ausreichen, um bei unvorhergesehenen Komplikationen während des Transportes das Handeln des Transportführers zu evaluieren, sei in Frage gestellt.

Nach einem neonatologischen Inkubatortransport sollte je nach Zustand und Prognose des Neugeborenen entweder eine baldige Rücktransferierung an die geburtshilfliche Abteilung oder der Transport der Mutter zum Kinde angestrebt werden [126].

2 Methodik

2.1 Material

2.1.1 Rettungsfahrzeug

Die *Abteilung für Kinder- und Jugendliche* im *LKH Leoben* führt neonatologische Intensivtransporte in enger Kooperation mit der *Bezirksstelle Leoben des Österreichischen Roten Kreuzes* durch. Die Rettungsorganisation stellt für den Transport einen sog. *Neugeborenen-Intensivtransportwagen* mit zweiköpfiger Besatzung, bestehend aus Einsatzfahrer und Sanitäter. Das Rotkreuzteam holt innerhalb von wenigen Minuten nach Alarmierung den im Intensivdienst befindlichen Facharzt und die diplomierte Pflegekraft, sowie den Transportinkubator und anderes medizinisches Equipment auf der pädiatrischen Intensivstation im LKH Leoben ab.

Tab. 8: Technische Daten des Neugeborenen-Intensivtransportwagens laut Zulassungsschein

Marke	VW
Fahrzeugart	Personenkraftwagen/M1 Gruppe III
Type	Transporter T5 (7H/7J)
Handelsbezeichnung	Kombi ohne Sitze LR TDI D-PF 4
Aufbau	Krankenwagen
Eigengewicht	2130 kg
Erstzulassung	21.08.2008
Motortype	BNZ
Antriebsart	Diesel
Leistung	131 PS (96 KW)
KFZ-Kennzeichen	LE-144 RK
Radstand	3400 mm („Langer Radstand“)
Innenausbau	Tragetisch der Dlouhy GmbH
Reifen	Dunlop SP LT 60 215/55 R 16 C
Kilometerstand	39.600 km (Stand: 12.05.2011)

Bei dem Neugeborenen-Intensivtransportwagen handelt es sich um einen *VW Transporter T5* mit Dieselmotor. Das Fahrzeug ist seit dem Jahr 2008 im Dienst und rund um die Uhr einsatzbereit. Abgesehen von Ausnahmesituationen wird dieser Rotkreuzwagen ausschließlich für neonatale Inkubatortransporte eingesetzt.

Abb. 2: Der Neugeborenen-Intensivtransportwagen der Bezirksstelle Leoben des Österreichischen Roten Kreuzes

2.1.2 Transportinkubatoren

Die Abteilung für Kinder- und Jugendheilkunde im LKH Leoben hat für neonatologische Intensivtransporte zwei unterschiedliche Transportinkubatoren in Verwendung.

2.1.2.1 DRÄGER ITI 5400 (Baujahr 08/1994)

Der Transportinkubator *Dräger ITI 5400* soll nach Angaben des Herstellers ein besonders „robustes, vibrationsfestes Design“ und einen „schwingungsgedämpften Patientenraum“ aufweisen [151]. Für diese Diplomarbeit wurden Beschleunigungsmessungen bei simulierten Inkubatortransporten durchgeführt, um diese Angaben zu überprüfen.

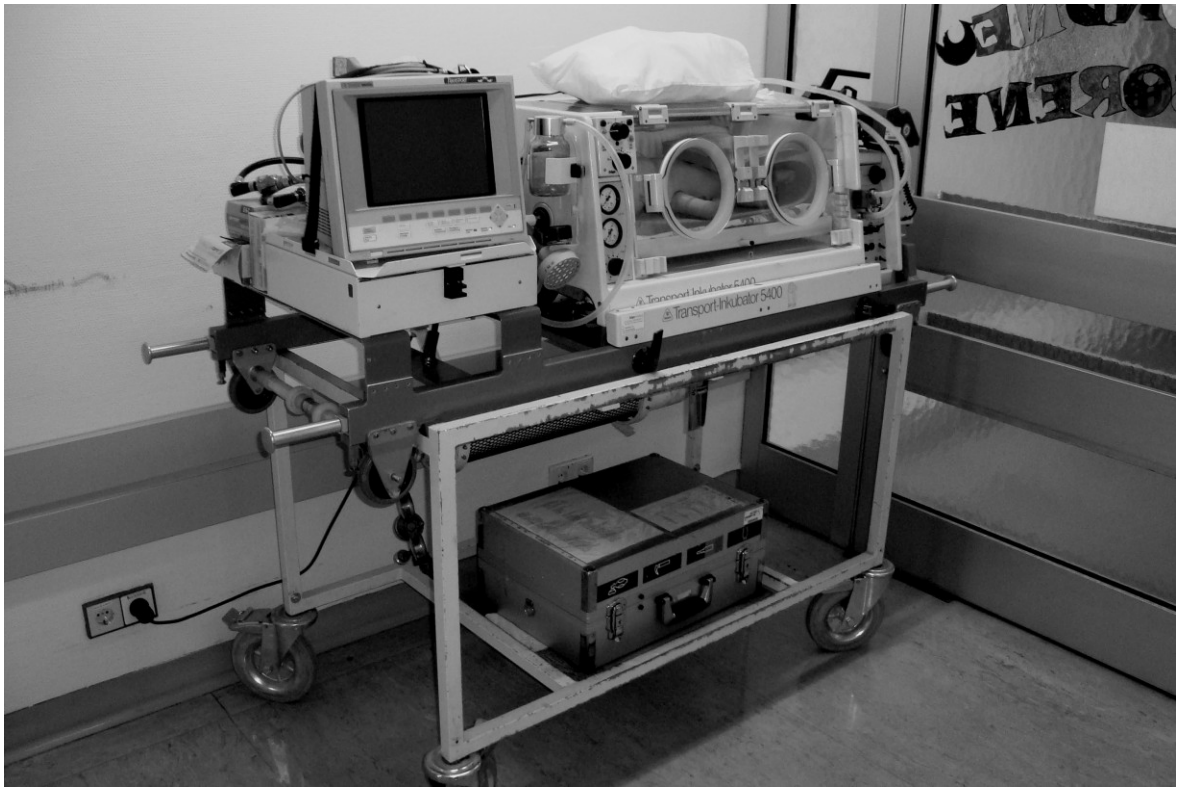


Abb. 3: Der Transportinkubator „DRÄGER ITI 5400“ auf seinem Rollwagen

Tab. 9: Überblick über die wichtigsten technischen Daten des Transportinkubators „DRÄGER ITI 5400“ [151]

Produktbezeichnung	Dräger ITI 5400
Hersteller	Dräger Medical AG & Co. KGaA
Bedieneinheiten	Temperatur Sauerstoffkonzentration oder -flow Spannungsversorgung mit 12/24/120/240 V
Anzeige	Gasflaschendruck Spannungsversorgung Übertemperatur Heizung aktiv
Gasanschlüsse	Druckluft Sauerstoff
Ausstattung	Dräger Babylog 2 (Beatmungsgerät) Dräger Babymix 2 (O_2-Mischgerät) Dräger Oxydig (O_2-Mess- und -warngerät) Hewlett-Packard M1275A (Transportmonitor) Braun Perfusor Secura 7 (Spritzenpumpe) Integrierte Absaugeinrichtung
Ausmaße (Inkubator)	35 cm x 195 cm x 56 cm
Eigengewicht (Inkubator)	Ca. 95 kg
Fahrgestell	Sonderanfertigung

Für innerklinische Verlegungen und für den Transport zum Neugeborenen-Intensivtransportwagen wird der Transportinkubator *Dräger ITI 5400* auf einem speziell angefertigten Rollwagen transportiert. Zum Einladen des Transportinkubators in den Rettungswagen wird dieser vom Rollwagen gehoben und auf den Tragetisch im Fahrzeug geschoben.

2.1.2.2 DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500 (Baujahr 03/2008)

Der *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* wird auf der Homepage des Herstellers als besonders „leistungsfähiger Transportinkubator für den sicheren und komfortablen Transport von Neugeborenen bei minimalem Stress“ angepriesen [152].

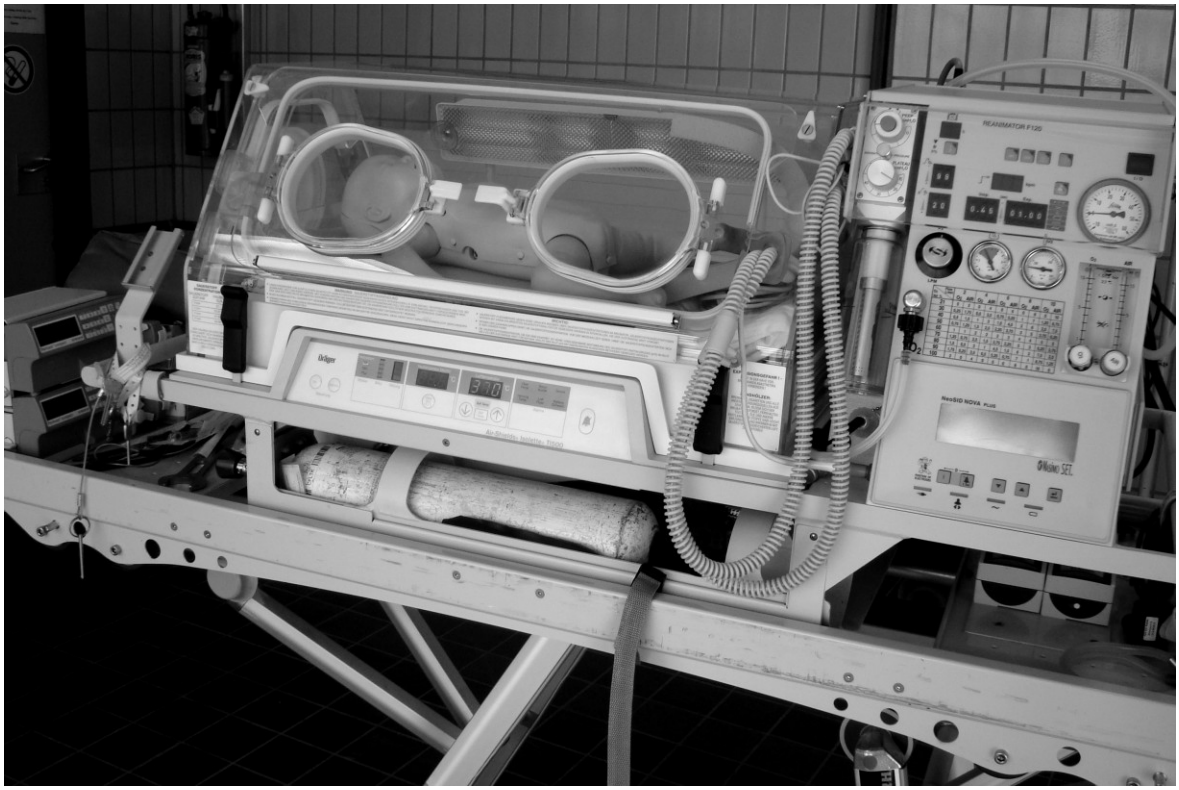


Abb. 4: Der Transportinkubator „DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500“ auf einem Fahrgestell der Stollenwerk u. Cie. GmbH

Tab. 10: Überblick über die wichtigsten technischen Daten des Transportinkubators „DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500“ [153]

Produktbezeichnung	Dräger Air-Shields Isolette TI 500
Hersteller	Dräger Medical AG & Co. KGaA
Bedieneinheiten	Standby Modus Solltemperatur Alarme aus
Anzeige	Spannungsversorgung Akkuladezustand Heizung aktiv Lufttemperatur Hauttemperatur
Gasanschlüsse	Druckluft Sauerstoff
Ausstattung	Stephan Reanimator F 120 (Beatmungsgerät) NeoSID Nova Plus (Transportmonitor) Philips IntelliVue X2 (Zusätzlicher Monitor) (2x) Braun Perfusor compact (Spritzenpumpe) Atmos Atmoport N (Absaugeinheit)
Ausmaße (Inkubator)	95,9 cm x 52,7 cm x 50,8 cm
Eigengewicht (Inkubator)	49,2 kg
Fahrgestell	Stollenwerk Sonderfahrgestell 2870

Der Transportinkubator *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* ist auf dem Rahmen des *Sonderfahrgestells 2870* der *Stollenwerk u. Cie. GmbH* mit einer verstellbaren Höhe (bis maximal 1000 mm) und einem Eigengewicht von 28,4 kg befestigt. Die maximale Tragkraft des Fahrgestells wird vom Hersteller mit mindestens 150 kg angegeben. Durch Bedienen eines Hebels und gleichzeitiges Drücken eines Sicherheitsknopfes können die Standbeine des Fahrgestells in eine Position geschwenkt werden, die das Einladen des Inkubators auf den Tragetisch im Rettungswagen erlaubt, ohne diesen mühsam von seinem Fahrgestell heben zu müssen [154].

2.1.3 Dämpfungsmaterial

Sherwood et al. konnten in ihrer Arbeit zeigen, dass bei neonatologischen Intensivtransporten bereits durch billige Adaptationen am Transportinkubator oder durch Einlegen einer Gelmatte mit schwingungsreduzierenden Eigenschaften das Auftreten von mechanischen Vibrationen effektiv vermindert werden kann [4].

Für diese Diplomarbeit wurden daher geeignete Materialien gesucht, welche durch ihre Beschaffenheit in der Lage sind, mechanische Schwingungsbelastungen zu reduzieren, gleichzeitig aber auch kostengünstig und ohne großen technischen Aufwand am Neugeborenen-Intensivtransportwagen in Leoben eingesetzt werden können.

Bei simulierten Inkubatortransporten im Rahmen dieser Arbeit wurde schließlich der Schaumwerkstoff *Confor Foam CF45* eingesetzt und evaluiert. Nach Angaben des Herstellers *Aearo Technologies E-A-R Speciality Composites*, Indianapolis, USA, handelt es sich bei dem eingesetzten Material um ein *viskoelastisches Polyurethan*, das aufgrund einer geringen Rückprallelastizität die Eigenschaft besitzen soll, intensive Stoßkräfte effektiv zu dämpfen.

Die *NASA*[5] soll dieses Material für das *Apollo Space Program* als wesentlichen Bestandteil einer vibrationsarmen und hochkomfortablen Bestuhlung in den Raumkapseln (sog. *Astronaut's Couch*) entwickelt und auch im *Space Shuttle Program* eingesetzt haben. Die *U.S. Air Force* soll diesen Schaumwerkstoff wiederholt für die Verwendung in Schleudersitzen getestet haben, und die Luftfahrtzulieferindustrie preist die dämpfenden Eigenschaften der verschiedenen im Handel befindlichen *Confor Foams* beim Einbau in Cockpitsitzen an. In der Informationsschrift des Unternehmens werden auch andere Anwendungsbeispiele genannt: So setzt die Industrie das Material bei der Herstellung von Sicherheitshelmen, Fahrzeugsitzen, Schuhwerk und Sportausrüstungen ein.

Unter einem liegenden Patienten eingebracht, verformt sich die Schaumstoffmatte unter anhaltendem Druck und dem Einfluss von Körperwärme und führt auf diese Weise zu einer Vergrößerung der Auflagefläche und einer Verringerung des maximalen Auflagedruckes. Aufgrund dieser Eigenschaft wird der Schaumwerkstoff in der Medizintechnik als Bestandteil von Orthesen oder als Antidekubitus-Auflage in Spitalsbetten eingesetzt. Durch die Verwendung des *Confor Foams CF45* auf neonatalen Inkubatortransporten über längere Distanzen könnte die Entstehung von Druckstellen an Körperregionen mit hohen Auflagedrucken vermieden werden [155].

[5] The National Aeronautics and Space Administration

Der schwer entflammbare Werkstoff wurde in eine geeignete Größe zugeschnitten und während der simulierten Neugeborenen-Intensivtransporte als Schaumstoffmatte unter einem Reanimationsphantom im Patientenraum des Transportinkubators eingebracht.

2.1.4 Dummy

Für die simulierten Inkubatortransporte wurde als Mannequin die Reanimationspuppe *Laerdal Resusci Baby* verwendet und mit dem Kopf in Richtung Fahrzeugheck im Patientenraum des Transportinkubators platziert. Das Verhältnis von Kopf zu Rumpf beträgt bei dem Phantom wie beim Säugling etwa 1:4 und das Gewicht von 2,3 kg entspricht ebenfalls ungefähr jenem eines durchschnittlich transportierten Neugeborenen [156]. Wie bei Realtransporten üblich wurde auch bei den Versuchsfahrten auf eine Fixierung der Patientenattrappe verzichtet.

Abb. 5: Die Reanimationspuppe „Laerdal Resusci Baby“ als Mannequin auf der Schaumstoffmatte „Confor Foam CF45“ im Transportinkubator „DRÄGER ITI 5400“ während einer Versuchsfahrt

2.2 Datenerfassung und -analyse

2.2.1 Beschleunigungssensoren

Als *Beschleunigungssensoren* oder *Akzelerometer* bezeichnet man Bauteile, welche durch die Bestimmung von auf Testmassen wirkenden Trägheitskräften in der Lage sind, das Ausmaß von Beschleunigungen zu messen [157].

Eine Zielsetzung dieser Diplomarbeit war es, geeignete Sensoren zur Ermittlung von Beschleunigungskräften bei postnatalen Inkubatortransporten zu finden. Dabei wurde eine einfache und leicht reproduzierbare Lösung mit kostengünstigen Messinstrumenten angestrebt, um auch an anderen neonatologischen Abteilungen die Durchführung von Beschleunigungsmessungen bei Inkubatortransporten nach Vorbild der in Folge aufgezeigten Messanordnung anzuregen. Durch Erfassung der bei den jeweiligen Transportsystemen auftretenden Maximalbeschleunigungen und Analyse der Frequenzspektren könnten spezifische Lösungen zur Schwingungsdämpfung gefunden und eine Reduktionen der Vibrationsbelastungen für Früh- und Neugeborene erreicht werden. Diese Idee trug maßgeblich zur Auswahl der für die Versuchsreihen verwendeten Sensoren bei.

Für diese Anforderungen als besonders geeignet erschienen Beschleunigungssensoren des europäischen Halbleiterherstellers *STMicroelectronics N.V.*, welche auch in vielen Geräten des Unternehmens *Apple Inc.* zu finden sind. So sind das *iPhone* (ein sog. *Smartphone*, ein Mobiltelefon mit hoher Computerfunktionalität und -konnektivität), das *iPad* (ein sog. *Tablet-Computer*, ein tragbarer Computer mit Touch Screen) und der *iPod Touch* (ein sog. *Portable Media Player,* ein tragbares digitales Medienabspielgerät) mit diesen miniaturisierten Beschleunigungssensoren ausgestattet. Bei den für diese Diplomarbeit verwendeten *iPod Touch*-Geräten der dritten Generation handelt es sich dabei um den Nano-Sensor *LIS331DL* [158].

Der *LIS331DL* ist ein linearer Drei-Achsen-Beschleunigungsaufnehmer in Nano-Bauweise aus Silizium. Er zeichnet separate Beschleunigungswerte für jede der drei Achsen (x, y und z) in einem Messbereich von ±2,3 g auf. Die Datenausgabe erfolgt digital und ist in der vorliegenden Konfiguration bis zu einer Frequenz von 100 Hz möglich [159].

Tab. 11: Überblick über die wichtigsten technischen Daten der verwendeten Drei-Achsen-Linearbeschleunigungssensoren in der vorliegenden Konfiguration [159]

Produktbezeichnung	LIS331DL
Hersteller	STMicroelectronics N.V.
Messbereich in drei Achsen (x, y, z)	±2,3 g
Empfindlichkeit	±0,018 g/digit
Temperatureinfluss auf die Empfindlichkeit	±0,01%/°C
Maximale Abtastrate	100 Hertz
Betriebstemperaturbereich	-40 bis +85°C
Eigengewicht	20 Milligramm

An dieser Stelle soll ein wichtiger Grundsatz der Signalverarbeitung, Nachrichtentechnik und Informationstheorie erwähnt werden: das *Nyquist-Shannon-Abtasttheorem*. Es stellt grundsätzlich fest, dass jedes Signal, das eine Minimalfrequenz von null Hertz und eine Maximalfrequenz f_{max} Hertz aufweist, mit mindestens der doppelten im Signal vorkommenden maximalen Frequenz ($2f_{max}$) gleichförmig abgetastet werden muss, um dabei keinen Informationsverlust zu erleiden [160]. Bei der Durchführung der Versuchsfahrten wurde bei den Beschleunigungsmessungen mit dem *LIS331DL* die maximale Abtastrate von 100 Hertz genutzt. Das bedeutet, dass bei einer Samplerate von 100 Hertz Messungen von Schwingungen mit Frequenzen bis maximal 50 Hertz möglich sind.

Da man in der Literatur Hinweise finden kann, dass die bei neonatalen Intensivverlegungen auftretenden Schwingungen mit niedrigen Frequenzen zwischen drei und 18 Hertz als besonders gefährlich für die transportierten Früh- und Reifgeborenen angesehen werden müssen [1], erscheint der LIS331DL-Beschleunigungssensor für diese Zwecke als bestens geeignet.

Auf die Messung von Rotationsbeschleunigungen, die bei der Entstehung von Schwingungsbelastungen für Früh- und Neugeborene nur eine untergeordnete Rolle einnehmen dürften, mit Hilfe von sog. *Gyrosensoren* wurde in dieser Arbeit verzichtet. Bei neueren Versionen von *iPod touch* und *iPhone*, sowie beim *iPad* wurden Gyrosensoren implementiert und könnten daher zur Messung von Winkelbeschleunigungen bei neonatologischen Intensivtransporten verwendet werden [158].

2.2.2 Signalverarbeitung und Datenausgabe

Ein Vorteil der Verwendung der im *iPod touch* integrierten Beschleunigungssensoren besteht auch darin, dass für die Signalverarbeitung kein komplizierter Versuchsaufbau vonnöten ist. Die vorliegende Hardware im Gerät und bereits vorhandene Software sind zum Auslesen der Daten aller vorgenommenen Messungen ausreichend.

Zur Bereitstellung der Messdaten wurde eine Applikation des Unternehmens *ObjectGraph LLC* mit dem Namen *iSeismometer* gewählt, die im Internet beispielsweise im *App Store* von *Apple Inc.* zu finden ist und gratis heruntergeladen werden kann [161].

Diese Software nutzt die im *iPod touch* eingebauten Beschleunigungssensoren, zeichnet Werte für jede der drei Raumachsen (x, y und z) auf und zeigt diese in Echtzeit als Akzelerogramm am Display an. Einstellungen, die durch den Benutzer bestimmt werden können, sind unter anderem die Größe der Abtastrate mit einem Maximalwert von 100 Hz, und die Möglichkeit des Zuschaltens eines Hochpass-Filters, um die Einflüsse der Erdgravitation zu eliminieren. Des Weiteren kann ein Frequenzspektrum der vorgenommenen Beschleunigungsmessungen graphisch dargestellt werden.

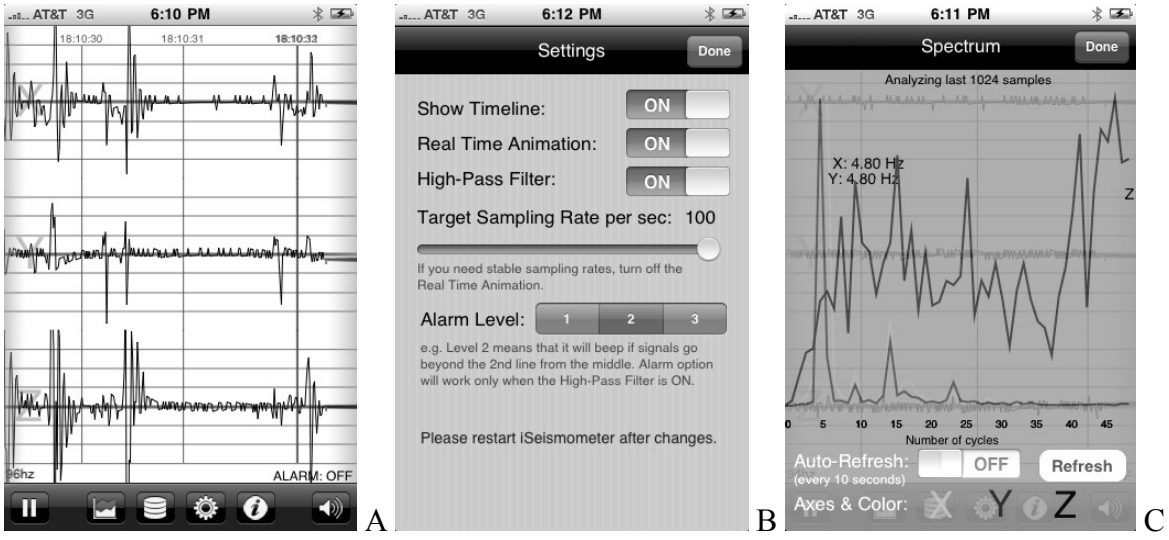


Abb. 6: Screenshots der iPod touch-Applikation „iSeismograph". A: Echtzeit-Akzelerogramm. B: Einstellungsoptionen. C: Frequenzspektrum der vorgenommenen Schwingungsmessungen [161]

Außerdem kann der Benutzer dieser Applikation eine Alarmgrenze bestimmen, über welcher auftretende Spitzenbeschleunigungen ein akustisches Signal auslösen. Diese Funktion könnte bei neonatologischen Inkubatortransporten zum Einsatz kommen. Beim Auftreten von erhöhten, potentiell gefährlichen Schwingungen würde man davor durch Ertönen eines Alarmsignals gewarnt werden und könnte daraufhin mit Änderungen der Fahrgeschwindigkeit und des Fahrstils oder mit der Wahl einer vibrationsärmeren Alternativstrecke reagieren. In der aktuellen Version von *iSeismometer* können für das beschriebene Warnsystem nur Maximalwerte von Linearbeschleunigungen unabhängig von deren Schwingungsfrequenzen herangezogen werden. Wünschenswert wären aber auch Möglichkeiten zur frequenzabhängigen Bestimmung von Alarmgrenzen, da Maximalbeschleunigungen in unterschiedlichen Frequenzbereichen unterschiedlich starke Auswirkungen auf das transportierte Neugeborene haben können.

iSeismometer bietet des Weiteren unterschiedliche Möglichkeiten zum Datentransfer. Ein Upload der Messdaten auf eine Internetseite sowie das Verschicken der Daten per Email sind angebotene Optionen, die jedoch den Nachteil haben, dass aufgrund limitierter Speicherkapazitäten nur eine Aufzeichnungsdauer von maximal zehn Sekunden möglich ist. Uneingeschränkte Messungen über längere Zeitperioden sind durch Echtzeitübertragung der Daten via WLAN auf einen in Reichweite befindlichen Laptop möglich. Dieses Verfahren wurde bei den Messungen zu dieser Diplomarbeit gewählt. Eine Anleitung zur Einrichtung von Netzwerkverbindungen zwischen einem *iPod touch* und einem *MacBook* findet der Interessierte im Internet; zum Beispiel unter *www.iseismometer.com* [162].

2.2.3 Datenanalyse

Die Auswertung der bei den Testfahrten gesammelten Daten erfolgte mit dem Computerprogramm *g.BSanalyze 3.0* des österreichischen Unternehmens *g.tec Guger Technologies*. Das Programm dient zur Aufbereitung und Analyse von Biosignalen und wird in erster Linie bei der Auswertung von Elektroenzephalogrammen eingesetzt [163]. Diese Software eignet sich aber auch hervorragend für die Analyse der bei den Beschleunigungsmessungen im Transportinkubator erhobenen Daten.

g.BSanalyze 3.0 unterstützt für die Datenanalyse essentielle Verfahren wie die *Fast Fourier Transformation (FFT)* zur Berechnung und Darstellung von Frequenzspektren stationärer Schwingungen, die *Wavelet-Transformation*, um Intensität und Frequenzbereich transienter Schwingungen im zeitlichen Verlauf darzustellen, und die Berechnung von *Kreuzkorrelationen*, um eine gegenseitige Anregung schwingungsfähiger Systeme beurteilen zu können [163]. Kapitel 2.3.3 gibt eine kurze Übersicht über auftretende Vibrationen und Verfahren zu deren Analyse.

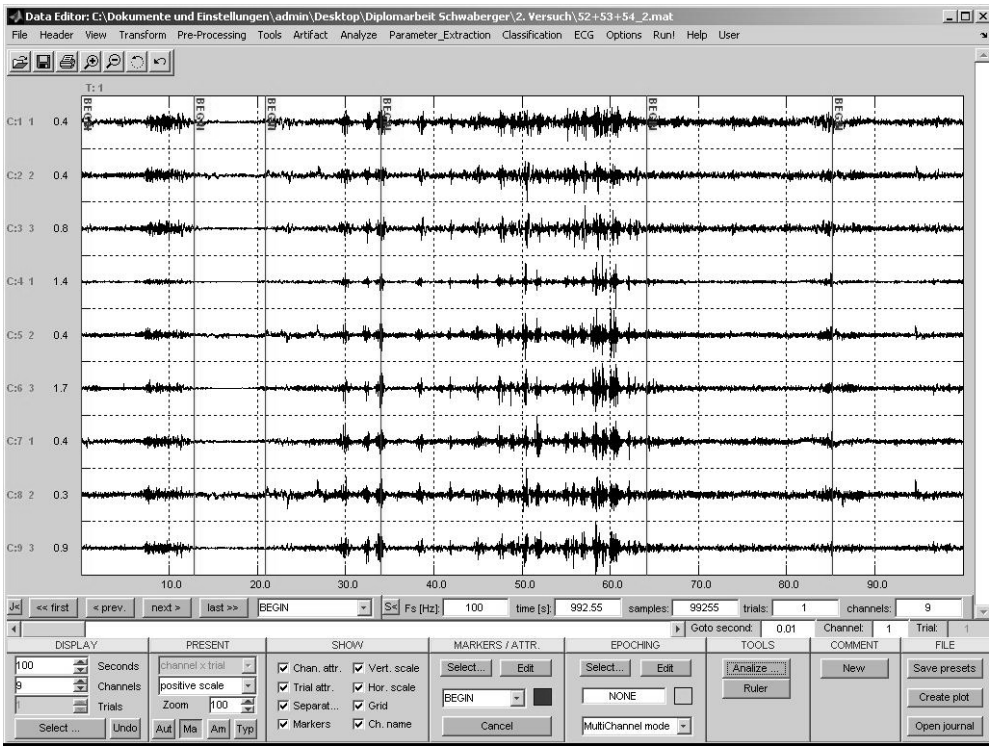


Abb. 7: Grafische Darstellung der bei simulierten Inkubatortransporten aufgezeichneten Schwingungen mit der Software „g.BSanalyze 3.0". Die neun abgebildeten Kanäle entsprechen Beschleunigungsaufnahmen von drei Sensoren an unterschiedlichen Punkten im Fahrzeug mit jeweils drei Raumachsen. Auf der Abszissenachse ist die Zeit in Sekunden, auf der Ordinatenachse die Beschleunigung in g (9,81 m/s^2) aufgetragen.

2.3 Messprinzip

2.3.1 Richtlinien zur Messung und Bewertung von mechanischen Ganzkörperschwingungen

Die *International Organization for Standardization* hat als weltweite Vereinigung nationaler Normierungsinstitute die internationale Norm ISO 2631:1997 *Mechanische*

Schwingungen und Stöße – Bewertung der Auswirkungen von Ganzkörperschwingungen auf den Menschen veröffentlicht. Zum größten Teil vergleichbare Empfehlungen spricht auch der *Verein Deutscher Ingenieure* in seiner im September 2002 aktualisierten Version der *VDI-Richtlinie 2057 (Blatt 1): Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen* aus.

Diese Richtlinien sollen als systematische Vorgabe zur Quantifizierung von mechanischen Ganzkörperschwingungen und deren Auswirkungen auf den Menschen dienen. Es werden Verfahren zur Messung und Analyse von stationären und transienten Ganzkörperschwingungen definiert. Methoden zur Bewertung einzelner, extremer Stöße, wie sie auch bei Verkehrsunfällen auftreten, werden aber nicht beschrieben.

Inhaltlich beantworten diese Richtlinien vorwiegend Fragestellungen der Arbeitsmedizin und beziehen sich in erster Linie auf die Auswirkungen von Ganzkörperschwingungen auf Gesundheit, Wohlbefinden und Wahrnehmung erwachsener Menschen. Es finden sich Vorgaben zum Vorgehen bei der Messung mechanischer Schwingungen wie die Ausrichtung der Sensoren im Raum, das Aufsuchen geeigneter Aufnahmepunkte an der Hauptberührungsfläche zwischen Körper und schwingendem System oder die Wahl einer ausreichend langen Messdauer. Des Weiteren werden allgemeine Anforderungen an die Signalaufbereitung und die anschließende Schwingungsbewertung beschrieben.

Bei der Planung und Durchführung der Versuche wurde der Inhalt dieser Richtlinien weitgehend beachtet und nur in wenigen Punkten davon abgewichen, wenn die Vorgaben für kritisch kranke Früh- und Neugeborene nicht angemessen erschienen. Insbesondere die in den Richtlinien beschriebene Frequenzbewertung, die sich in der Arbeitsmedizin bewährt hat, erscheint in der vorliegenden Form für die Thematik der Diplomarbeit als ungeeignet [9, 10].

2.3.2 Biodynamisches Koordinatensystem des Menschen

Die *International Organization for Standardization* hat in ihren Richtlinien ISO 8727:1997 über mechanische Schwingungen und Stöße und deren Erschütterungseinwirkungen auf den Menschen ein *biodynamisches Koordinatensystem* eingeführt, um auftretende

Beschleunigungskräfte in Bezug auf definierte Achsen exakt im Raum beschreiben zu können.

In dem rechtsgängigen orthogonalen Koordinatensystem verläuft beim stehenden Körper die x-Achse vom Rücken des Probanden in Richtung Brust, die y-Achse von der rechten zur linken Körperseite und die z-Achse vom Gesäß zum Kopf. Im Sinne des biodynamischen Koordinatensystems verändert sich die Lage der definierten Achsen im Bezug zum räumlichen Koordinatensystem mit dem Wechsel der Körperhaltung [164].

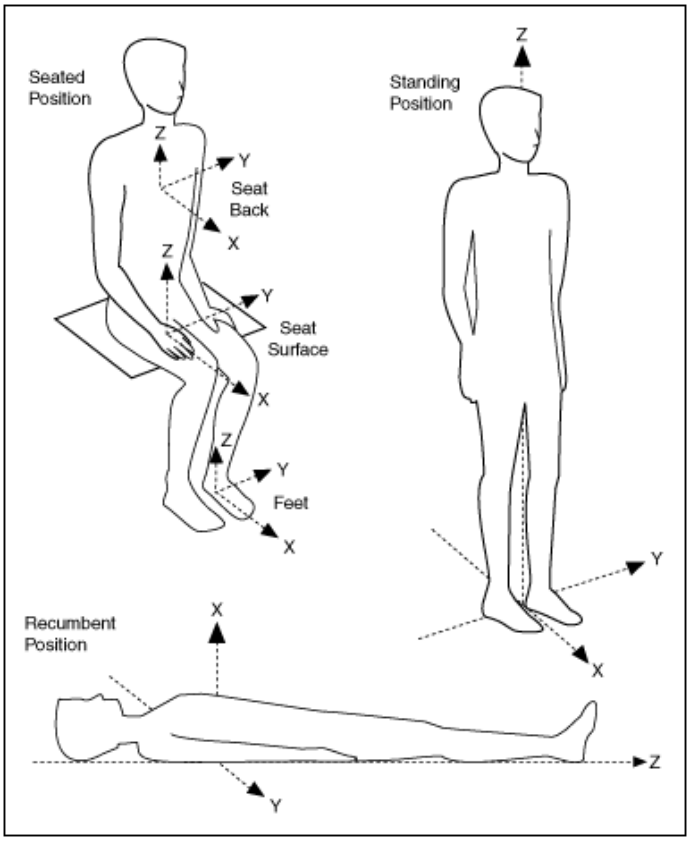


Abb. 8: Das biodynamische Koordinatensystem des menschlichen Körpers nach ISO 8727:1997 bei unterschiedlichen Körperhaltungen [165]

Wie in *Kapitel 2.2.1* beschrieben können mechanische translatorische Schwingungen und Stöße mit dem Nano-Beschleunigungssensor *LIS331DL* in den drei Raumachsen x, y und z detektiert werden, wobei – wie in *Abbildung 7* gezeigt – die Ausrichtungen der jeweiligen Achsen in Bezug auf den Sensor bzw. auf den *iPod touch* beachtet werden müssen.

Zum Zwecke der besseren Durchführbarkeit der Messungen wurden die *iPod touch*-Geräte mit der Rückseite auf den jeweiligen Untergrund gelegt, um deren Fixierung zu

vereinfachen und die Ergebnisse durch mangelnde Stabilität nicht zu verfälschen. Dies erfordert nachträglich eine Umbenennung der Raumachsen, um den geforderten Bezeichnungen im biodynamischen Koordinatensystem nach ISO 8727:1997 gerecht zu werden. Beispielsweise müssen die Werte für die z-Achse, wie sie am *iPod touch* angezeigt werden, für weitere Berechnungen und Interpretationsversuche als Werte der x-Achse im biodynamischen Koordinatensystem angesehen werden.

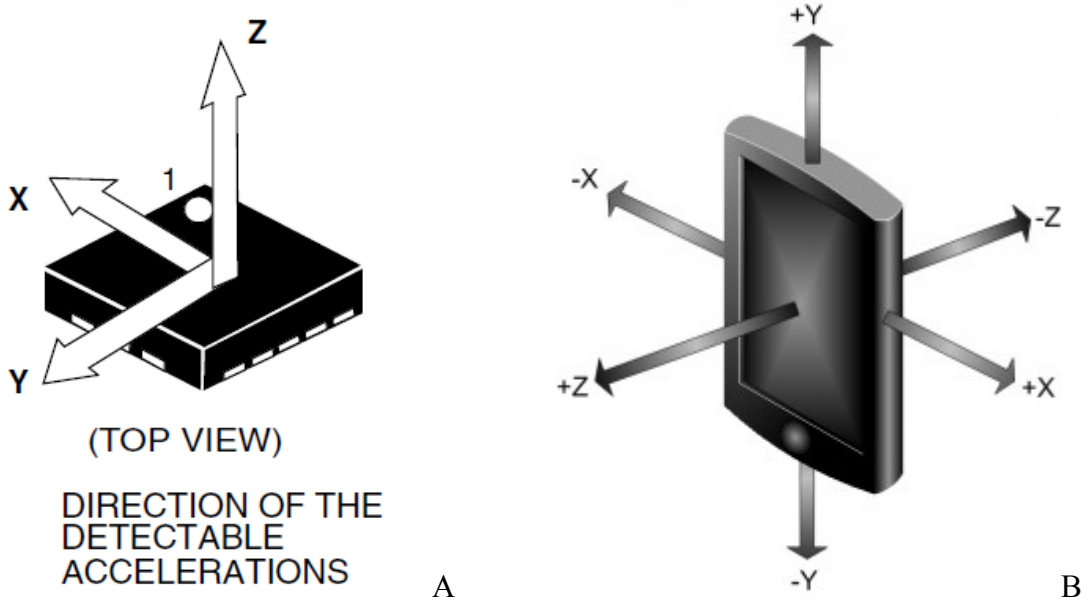


Abb. 9: Die Raumachsen (x, y, z) in Bezug auf den Beschleunigungssensor „LIS331DL“ (A) und den „iPod touch“ (B) [159, 162]

2.3.3 Stationäre und transiente Schwingungen

Bei der Auswertung der Datensätze muss zwischen *transienten* und *stationären* Schwingungen unterschieden werden, da sich hierbei die Analysemethoden grundlegend voneinander unterscheiden.

Stationäre oder *periodische Schwingungen* kann man als Überlagerung von Sinusschwingungen mit unterschiedlichen Amplituden und Frequenzen verstehen. Werden die Amplitudenausschläge der beteiligten Schwingungen in Abhängigkeit der Frequenz aufgetragen, so erhält man ein Frequenzspektrum. Die *Fast Fourier Transformation (FFT)* zerlegt durch mathematische Verfahren die Summe aller beteiligten harmonischen Schwingungen in ihre Einzelkomponenten und ermöglicht – wie *Abbildung 10* beispielhaft zeigt – die Darstellung der auftretenden Frequenzbereiche als Spektralverteilung [166].

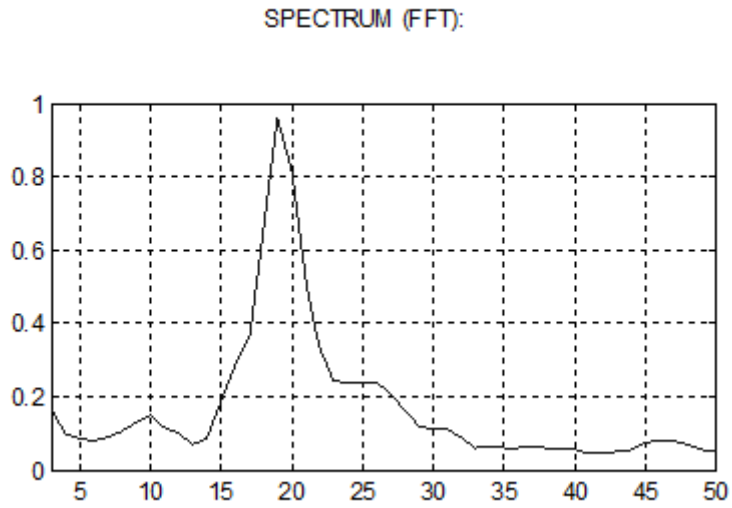


Abb. 10: Beispielhafte Darstellung eines Frequenzspektrums mittels Fast Fourier Transformation (FFT). Auf der Abszissenachse sind Frequenzen zwischen 3 und 50 Hertz, auf der Ordinatenachse die Amplituden im betreffenden Frequenzbereich ablesbar. In diesem Beispiel zeigen Schwingungen zwischen 17 und 22 Hz die höchsten Amplituden in der definierten Raumachse. Die Ordinatenachse mit der Einheit $g^2 10^{-4}$ ($g = 9{,}81\ m/s^2$) wird bei der Auswertung der Daten durch das Programm „g.BSanalyze 3.0“ automatisch skaliert und ist nicht veränderbar.

Für die Analyse von Beschleunigungsmessungen bei neonatologischen Intensivtransporten kann die *Fast Fourier Transformation* angewendet werden, wenn die auftretenden Vibrationen als Summe harmonischer Schwingungen mit wiederkehrenden Komponenten im Sinne einer periodischen Funktion aufgefasst werden können. Beispielsweise kann auf diese Weise das Schwingungsverhalten des Transportinkubators beim Befahren einer Teststrecke mit konstanter Geschwindigkeit analysiert werden.

Im Unterschied dazu werden kurzfristige, durch stoßähnliche Impulse ausgelöste Vibrationen, wie sie beispielsweise beim Überfahren eines Bahnüberganges auftreten, als *transiente Schwingungen* bezeichnet. Für deren Analyse und graphische Darstellung werden *Wavelets-Transformationen* eingesetzt. *Abbildung 11* zeigt ein Beispiel für diese Auswertungsmethode.

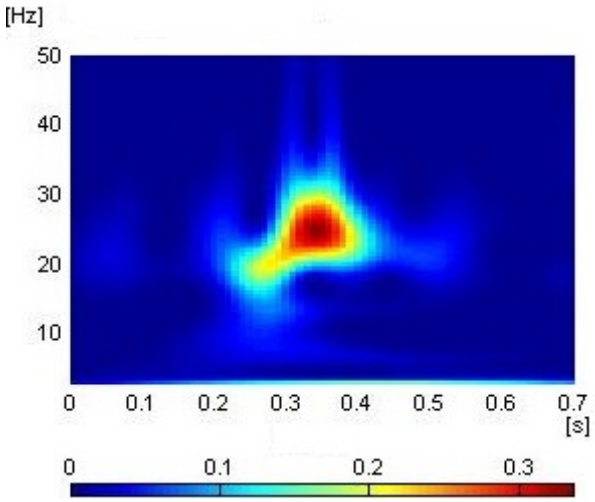


Abb. 11: Beispielhafte Darstellung einer Wavelets-Transformation. Die Abszissenachse entspricht der Zeitachse in Sekunden, die Ordinatenachse enthält Informationen über die Frequenzbereiche der auftretenden Vibrationen in Hertz, die farbliche Kennzeichnung spiegelt die Amplitudenausschläge der Beschleunigungsaufzeichnungen in zunehmender Größe von blau nach rot wider. Das Beispiel zeigt, dass beim Überfahren einer Unebenheit am Aufnahmepunkt für etwa 0,2 Sekunden Schwingungen von hoher Intensität im Frequenzbereich zwischen 20 und 30 Hertz in einer definierten Raumachse ausgelöst werden.

2.4 Messreihen

2.4.1 Erste Messreihe (15.02.2011)

2.4.1.1 Zielsetzung

Bei der ersten Messreihe am 15. Februar 2011 wurden bei simulierten Inkubatortransporten mit dem *Neugeborenen-Intensivtransportwagen* des *Roten Kreuzes Leoben* Messungen der auftretenden Translationsbeschleunigungen durchgeführt. Ziel dieser Messungen war es, Spitzenbeschleunigungen und die Frequenzbereiche der auftretenden Vibrationen zu messen.

Um das Ausmaß von auftretenden Schwingungsbelastungen für Früh- und Neugeborene bei unterschiedlichen Bedingungen bewerten zu können, wurde bei den Versuchsfahrten der Streckenverlauf so gewählt, dass ähnlich wie bei Realtransporten verschiedene Teilabschnitte unterschiedliche Charakteristika aufwiesen:

- *Schnellstraße*

  Auf geeigneten Streckenabschnitten wurden Beschleunigungsmessungen bei 80 bzw. 120 km/h vorgenommen. Dabei wurde das Hauptaugenmerk auf die bei Vibrationen auftretenden Frequenzbereiche gelegt. Es sollte geklärt werden, wie stark die Fahrgeschwindigkeit das Schwingungsverhalten des Transportinkubators beeinflusst.

- *Stadtverkehr*

  Simulierte Transporte im Stadtverkehr waren durch das langsame Befahren von Kurven mit engen Radien sowie durch wiederholtes Abbremsen und Beschleunigen gekennzeichnet.

- *Landstraße*

  Das Schwingungsverhalten des Transportinkubators bei langgezogenen Kurven und Fahrgeschwindigkeiten zwischen 50 und 100 km/h wurde in weiteren Streckenabschnitten untersucht.

- *Stehendes Fahrzeug mit laufendem Motor*

  Durch Frequenzanalyse der auftretenden mechanischen Schwingungen beim stehenden Fahrzeug mit laufendem Motor sollte das Resonanzverhalten des Transportinkubators beurteilt werden.

- *Besonders schlechte Fahrbahnbedingungen*

  Die Streckenführung beinhaltete auch das Befahren von Straßen mit einer dringend erneuerungsbedürftigen Asphaltfahrbahn sowie das Queren eines Bahnüberganges und das Überfahren von Bodenschwellen, wie sie auch im Spitalsbereich im LKH Leoben zur Temporeduktion angebracht wurden. Hierbei lag das Interesse neben der Analyse von Frequenzspektren vor allem auch bei den infolge von stoßähnlichen Impulsen auftretenden Spitzenbeschleunigungen.

Ziel dieser ersten Messreihe war es also, die Größe der auftretenden Spitzenbeschleunigungen bei verschiedenen Straßenverhältnissen und Fahrgeschwindigkeiten sowie die auftretenden Frequenzbereiche in unterschiedlichen

Situationen abschätzen zu lernen. Diese Ergebnisse sollten in weiterer Folge als Grundlage für die Planung einer zweiten Messreihe dienen, in der durch geeignete Versuchsanordnungen charakteristische Situationen, bei welchen es nachweislich zu gefährlichen Spitzenbeschleunigungen gekommen war, simuliert werden. Wiederholte Messungen unter möglichst standardisierten Verhältnissen sollten dann vergleichende Aussagen über das Schwingungsverhalten der Transportinkubatoren *DRÄGER ITI 5400* und *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* mit und ohne unter dem Früh- bzw. Neugeborenen eingebrachte Schaumstoffmatte zulassen.

2.4.1.2 Versuchsaufbau

Als Transportinkubator für diese erste Messreihe kam der *DRÄGER ITI 5400* zur Verwendung. Der im LKH Leoben ebenfalls verfügbare *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* musste im Zeitraum des Versuches wegen einer bevorstehenden Risikogeburt für eine mögliche intrahospitale Verlegung bereitstehen und konnte daher für Messungen nicht herangezogen werden.

Für den Versuch wurden insgesamt drei *iPod touch*-Geräte an folgenden Punkten im Neugeborenen-Intensivtransportwagen montiert:

- Sensor A: *Fahrzeugboden*

  Um vergleichende Aussagen über die auftretenden Vibrationen und deren Frequenzbereiche zwischen Chassis und Transportinkubator treffen zu können, wurde ein *iPod touch* auf dem Fahrzeugboden fixiert. Dabei wurde ein Aufnahmepunkt in der Fahrzeugmitte gewählt.

- Sensor B: *Untergestell des Inkubators*

  Ein zweiter Sensor wurde auf einer Querstrebe am Untergestell des Inkubators montiert, um nach Auswertung der Messergebnisse die Dämpfungseigenschaften des Inkubators beurteilen zu können.

- Sensor C: *Inkubator*

  Der dritte *iPod touch* wurde im Patientenraum zwischen einer Stoffwindel und dem Reanimationsphantom fixiert. Beschleunigungskräfte wurden

daher direkt an der Einleitstelle in den Körper des Kindes aufgezeichnet, so wie es in Richtlinien zur Messung von Ganzkörperschwingungen gefordert wird [9, 10]. Diese Vorgehensweise wurde durch Aussagen in der Arbeit von *Peters et al.* unterstützt, in der bei Schwingungsmessungen während Inkubatortransporten gezeigt werden konnte, dass in etwa die gleichen Beschleunigungskräfte auf dem und direkt unter dem Säuglingskopf gefunden wurden [167].

Die Datenaufnahme erfolgte – wie im *Kapitel 2.2* beschrieben – unter Verwendung der in *iPod touch*-Geräten integrierten Beschleunigungssensoren. Der Einsatz der Applikation *iSeismometer* ermöglichte die Datenübertragung in Echtzeit über hergestellte WLAN-Verbindungen auf ein ebenfalls im Fahrzeug befindliches *MacBook*.

Während des Transportes wurde die Fahrstrecke samt den Ursachen für heftige Vibrationen und Stöße wie Bahnübergänge, Bodenschwellen oder Dehnungsfugen von Brücken, sowie besondere Begebenheiten wie dichter Verkehr oder rote Ampeln etc. durch Sprachnotizen dokumentiert, welche mit einer kostenlosen Software, einem *digitalen Diktiergerät*, am Laptop aufgezeichnet wurden. Auf diese Weise konnte nachträglich jede gemessene Erschütterung einem konkreten Ereignis zugeordnet werden.

2.4.1.3 Strecke

Für die Testfahrten wurde folgende Strecke ausgewählt: Vom LKH Leoben und der Spitalszufahrt ausgehend entlang der Vordernberger Straße Richtung Osten, an der Tivoli-Kreuzung Richtung Süden in die Kärntner Straße, weiter auf der Josef-Heißl-Straße über die Murbrücke in den Hirschgraben vorbei am Stift Göß; dann in die Turmgasse und über den Bahnübergang bis zur Auffahrt Leoben West der Semmering-Schnellstraße. Auf der S6 Richtung Sankt Michael, beim Autobahnknoten Kehrtwende zurück bis zur Abfahrt Leoben West und auf derselben Strecke wieder ins LKH.

Die beschriebene Strecke wurde für die erste Messreihe zweimal in voller Länge befahren. Bei der ersten Testfahrt wurde auf dem gesamten Teilabschnitt der Semmering-Schnellstraße eine Geschwindigkeit von 80 km/h, bei der zweiten Testfahrt wurde eine Geschwindigkeit von 120 km/h eingehalten. Beschleunigungsaufzeichnungen von Teilabschnitten, auf welchen das Einhalten der vorgegebenen Fahrgeschwindigkeit

aufgrund von dichtem Verkehr nicht möglich war, wurden für die anschließende Datenanalyse ausgeschlossen.

2.4.2 Zweite Messreihe (11.05.2011)

2.4.2.1 Zielsetzung

Die Beschleunigungsmessungen dieser Versuchsreihe sollten dazu dienen, das Schwingungsverhalten der Transportinkubatoren *DRÄGER ITI 5400* und *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* miteinander zu vergleichen und die Effektivität von Dämpfungsmaßnahmen durch Einbringen der Schaumstoffmatte *Confor Foam CF45* unter die Reanimationssäuglingspuppe während simulierter Neugeborenen-Intensivtransporte zu objektivieren und zu quantifizieren.

Bei der Analyse der Datensätze dieser Messreihe wurde in weiterer Folge vor allem Hauptaugenmerk auf jene Situationen gelegt, bei welchen es bei der ersten Versuchsreihe nachweislich zu gefährlichen Spitzenbeschleunigungen gekommen war.

2.4.2.2 Versuchsaufbau

Für die Testfahrten der zweiten Messreihe wurden drei *iPod touch*-Geräte an folgenden Punkten im Neugeborenen-Intensivtransportwagen montiert:

- Sensor A: *Fahrzeugboden*

  Ein *iPod touch* wurde wie schon bei der ersten Messreihe für Referenzwerte auf dem Fahrzeugboden fixiert, um durch Aufzeichnung der auftretenden Vibrationen am Chassis Vergleiche zwischen dem Schwingungsverhalten der beiden verwendeten Transportinkubatoren bei unterschiedlichen Testfahrten zu ermöglichen.

- Sensor B: *im Inkubator unter der Schaumstoffmatte*

Ein zweiter Sensor wurde unter der Schaumstoffmatte fixiert, um durch den direkten Vergleich der Messergebnisse von Sensor B und C die Dämpfungseigenschaften der Schaumstoffmatte beurteilen zu können.

- Sensor C: *im Inkubator auf der Schaumstoffmatte*

  Der dritte *iPod touch* wurde im Patientenraum zwischen der Schaumstoffmatte und dem Reanimationsphantom fixiert. Die Vibrationen wurden auf diese Weise an der Einleitstelle in den Kindskörper aufgezeichnet, wie es in den VDI-Richtlinien und der ÖNORM ISO 2631-1 zur Messung und Bewertung von Ganzkörperschwingungen gefordert wird [9, 10].

Der Versuchsaufbau unterscheidet sich daher von der ersten Messreihe durch den Einsatz der Schaumstoffmatte *Confor Foam CF45* als Dämpfungsmaterial und die veränderten Aufnahmepositionen der Sensoren B und C. Die Aufnahmetechnik und das Analyseverfahren der Datensätze blieben hingegen unverändert. Ebenso kam auch bei dieser Testreihe ein digitales Diktiergerät zu Anwendung, um jede aufgezeichnete Erschütterung ganz bestimmten Fahrbahnbedingungen zuordnen zu können.

2.4.2.3 Strecke

Der gewählte Streckenverlauf wurde im Vergleich zu jenem der ersten Messreihe etwas verändert, um den Anteil der Testfahrten auf Landstraßen mit langgezogenen Hochgeschwindigkeitskurven und vergleichsweise schlechteren Straßenverhältnissen zu vergrößern, wo aufgrund der Erkenntnisse der ersten Testmessungen das Auftreten von gefährlich hohen Beschleunigungskräften zu erwarten war.

Der erste Abschnitt der Teststrecke wurde beibehalten: Vom LKH Leoben über die Vordernberger Straße in die Kärntner Straße, weiter auf der Josef-Heißl-Straße durch den Hirschgraben in die Turmgasse bis zur Auffahrt Leoben West. Auf der Semmering-Schnellstraße (S6) Richtung Autobahnknoten Sankt Michael, und dort – im Unterschied zu den Testfahrten im Februar – Abfahrt in den Ort Sankt Michael in der Obersteiermark. Von dort auf der Bundesstraße 116 entlang der Mur durch Hinterberg nach Leoben; nach

der Stadteinfahrt in die Kerpelystraße, dann über die Pestalozzistraße weiter in die Donawitzer Straße und zurück zum Landeskrankenhaus.

2.4.3 Dritte Messreihe (11.05.2011)

2.4.3.1 Zielsetzung

Im LKH Leoben werden krankenhausinterne Inkubatortransporte vom geburtshilflichen Operationssaal oder Kreißsaal auf die neonatologische Intensivstation wesentlich öfter durchgeführt als externe Transporte mit dem Neugeborenen-Intensivtransportwagen. Im Kapitel 1.3.2 ist in *Tabelle 6* die Anzahl von internen und externen Verlegungen kritisch kranker Neugeborener im Transportinkubator im Beobachtungszeitraum 2002 bis 2008 ersichtlich.

Für die dritte Messreihe wurden deshalb krankenhausinterne Verlegungen ohne Rotkreuzfahrzeug nachgestellt. Die simulierten Transporte erfolgten mit beiden im LKH Leoben zu Verfügung stehenden Transportinkubatoren auf den vorgesehenen Fahrgestellen.

Ziel der Messungen war es einerseits Situationen zu erkennen, bei welchen es zu hohen Spitzenbeschleunigungen und Schwingungen mit ungünstigen Frequenzverteilungen kommen kann, und andererseits die Schwingungseigenschaften von Inkubatoren und Fahrgestellen zu vergleichen und auch bei hausinternen Transporten den Nutzen der Verwendung einer Schaumstoffmatte mit Dämpfungseigenschaften zu beurteilen.

2.4.3.2 Versuchsaufbau

Die Versuchsfahrten erfolgten mit dem *DRÄGER ITI 5400* auf seinem spezialangefertigten Rollwagen und dem *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* auf dem *Stollenwerk Sonderfahrgestell 2870*. Wie bei Realtransporten wurden die Inkubatoren aufgrund des hohen Gewichts zum Zwecke der leichteren Steuerbarkeit von zwei Personen manövriert.

Der Sensor A wurde für die Beschleunigungsmessungen mit dem *DRÄGER ITI 5400* auf dessen Fahrgestell in Bodennähe montiert, wo üblicherweise der Notfallkoffer zu finden

ist. Bei den Versuchsfahrten mit dem *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* wurde der Sensor A am Rahmen des *Sonderfahrgestells 2870* montiert.

Die Positionierung der Beschleunigungssensoren B und C blieb im Vergleich zum dem Versuchsaufbau der zweiten Messreihe unverändert; Sensor B wurde unter der Schaumstoffmatte *Confor Foam CF45*, Sensor C zwischen dieser Matte und der Reanimationspuppe montiert.

2.4.3.3 Strecke

Als Teststrecke wurde die bei neonatalen Verlegungstransporten im Transportinkubator innerhalb des Landeskrankenhauses Leoben übliche Strecke gewählt: Vom Kreißsaal im 5. Stock unter Verwendung des Aufzugs im Erwachsenentrakt II in den 3. Stock, durch den Verbindungstrakt in den Kindertrakt und von dort mit dem Aufzug in den 6. Stock auf die neonatologische Intensivstation.

Die Beschleunigungsmessungen wurden für jeden Inkubator sowohl entlang der beschriebenen Strecke als auch in die entgegengesetzte Richtung insgesamt jeweils dreimal durchgeführt.

3 Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der ersten Messreihe

3.1.1 Analyse von stationären mechanischen Schwingungen bei charakteristischen Streckenbedingungen

Bei den Versuchsfahrten der ersten Messreihe wurde das Schwingungsverhalten des Transportinkubators *DRÄGER ITI 5400* im Rotkreuzwagen getestet. Um das Auftreten von stationären mechanischen Schwingungen bei unterschiedlichen Transportbedingungen zu analysieren, wurden die erhobenen Daten einer der folgenden Streckenabschnitte zugeteilt:

- *Schnellstraße* (bei 80 bzw. 120 km/h Fahrgeschwindigkeit)
- *Stadtverkehr*
- *Landstraßen*
- *Stehendes Fahrzeug mit laufendem Motor*

In Summe wurden bei den Versuchsfahrten dieser Messreihe Linearbeschleunigungen über eine Zeitdauer von ca. 53 Minuten aufgezeichnet.

Auf Erläuterungen im Kapitel 2.4.1.2 zur Positionierung der Beschleunigungssensoren A bis C im Neugeborenen-Intensivtransportwagen soll an dieser Stelle hingewiesen werden.

Es wird auch an *Abbildung 10* im Kapitel 2.3.3 erinnert, welche als Interpretationshilfe für die in der Folge gezeigten Diagramme dienen soll.

3.1.1.1 Schnellstraße

Bei simulierten Inkubatortransporten auf der Semmering-Schnellstraße wurde dieselbe Strecke mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h und von 120 km/h befahren. Die Frequenzbereiche der auftretenden Linearbeschleunigungen, die Maximalwerte und ein Vergleich der Schwingungsbelastungen bei beiden Fahrgeschwindigkeiten werden in der Folge aufgezeigt.

3.1.1.1.1 80 km/h Fahrgeschwindigkeit

Bei allen drei Sensoren wurden bei 80 km/h Fahrgeschwindigkeit auf der Schnellstraße die höchsten Beschleunigungswerte an den x-Achsen (Vertikalachse) verzeichnet. Die gemessenen Maximalwerte betrugen am Fahrzeugboden 0,47 g (4,61 m/s^2), am Untergestell des Inkubators bis 1,10 g (10,79 m/s^2) und im *DRÄGER ITI 5400* noch immer 0,30 g (2,94 m/s^2).

Abbildung 12 zeigt Frequenzspektren für alle drei Raumachsen an den definierten Aufnahmepunkten. Die höchsten Schwingungsintensitäten finden sich in allen Frequenzspektren bei etwa 20 Hertz. Im Patientenraum des Transportinkubators wurde ein zweiter Gipfel im Frequenzbereich zwischen 7 und 15 Hertz detektiert.

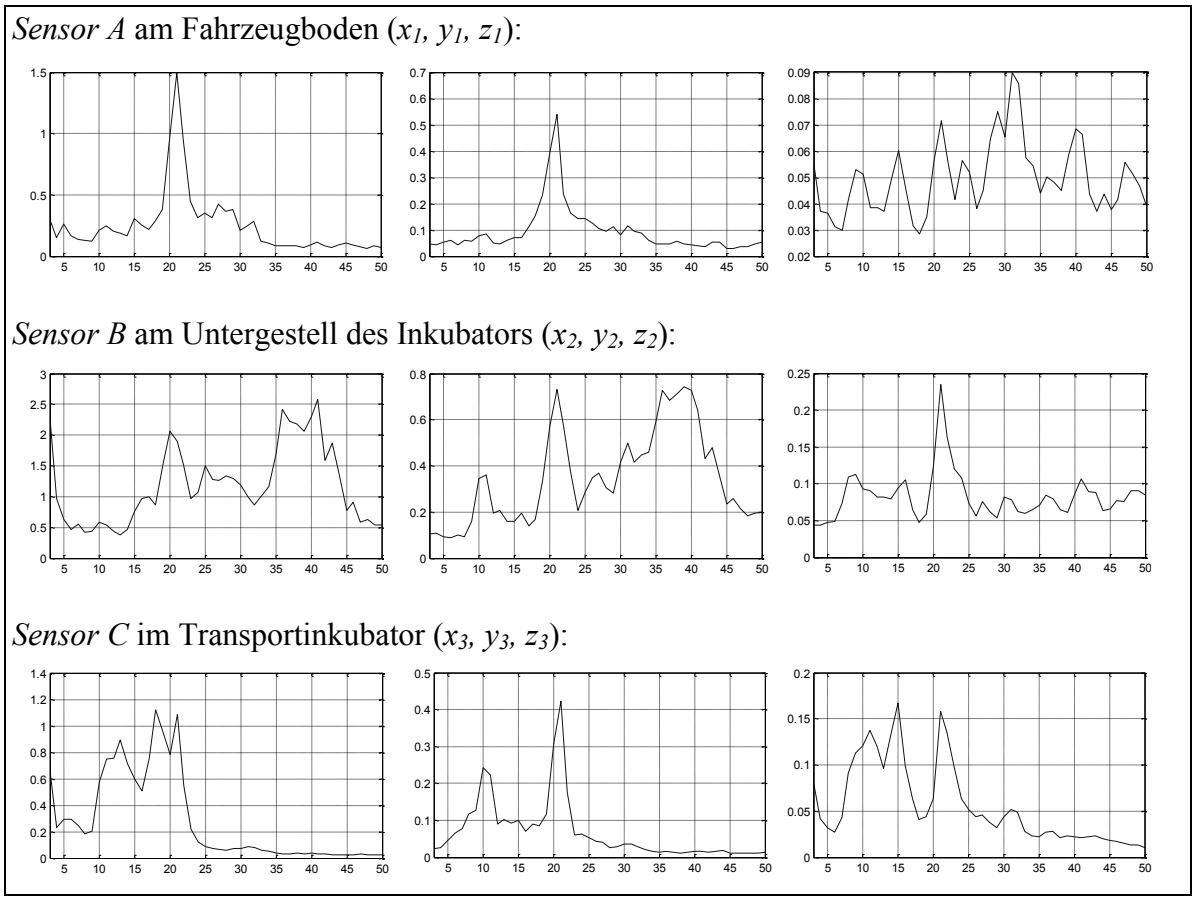


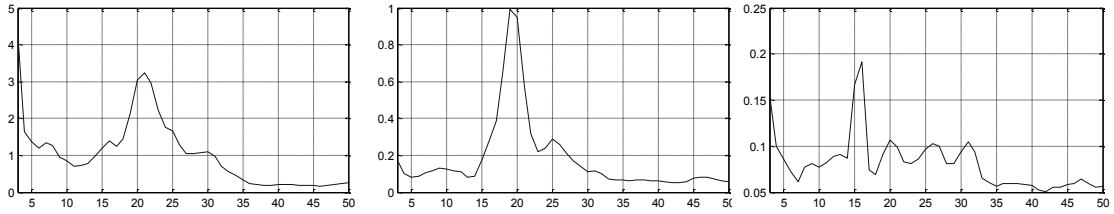
Abb. 12: Frequenzspektren mechanischer Schwingungen in den drei Raumachsen an drei Aufnahmepunkten im Fahrzeug bei ca. 80 km/h auf der Schnellstraße bei Versuchsfahrten mit dem „DRÄGER ITI 5400". Auf der Abszissenachse sind Frequenzen in Hertz aufgetragen; bei den Diagrammen muss die unterschiedliche Skalierung der Ordinatenachsen mit der Einheit $g^2 10^{-4}$ ($g = 9{,}81$ m/s^2) beachtet werden. Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung

3.1.1.1.2 120 km/h Fahrgeschwindigkeit

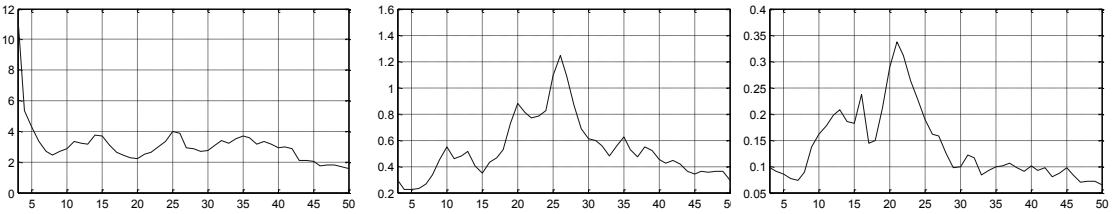
Die gemessenen Maximalwerte bei 120 km/h Fahrgeschwindigkeit auf der Schnellstraße betrugen an den x-Achsen am Fahrzeugboden 0,80 g (7,49 m/s^2), am Untergestell des Inkubators bis 1,70 g (16,68 m/s^2) und im Inkubator bis zu 0,77 g (7,55 m/s^2) und lagen damit deutlich über den gemessenen Werten bei 80 km/h.

Am Fahrzeugboden werden bei 120 km/h – ähnlich wie bei 80 km/h – die höchsten Schwingungsintensitäten im Bereich von ca. 20 Hertz verzeichnet. Im Transportinkubator zeigen die aufgezeichneten Daten aber Maximalwerte in einem tieferen Frequenzbereich von zehn bis 15 Hertz.

Sensor A am Fahrzeugboden (x_1, y_1, z_1):



Sensor B am Untergestell des Inkubators (x_2, y_2, z_2):



Sensor C im Transportinkubator (x_3, y_3, z_3):

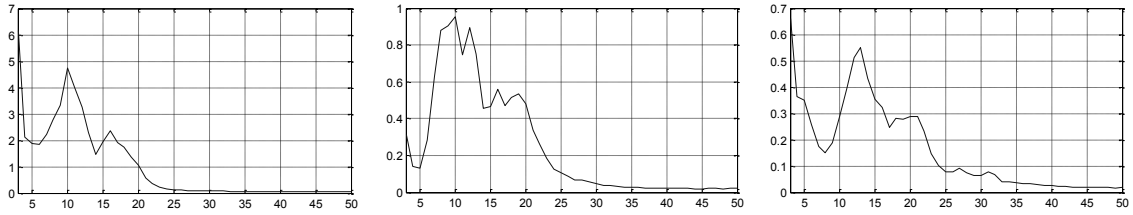


Abb. 13: Frequenzspektren mechanischer Schwingungen in den drei Raumachsen an drei Aufnahmepunkten im Fahrzeug bei ca. 120 km/h auf der Schnellstraße bei Versuchsfahrten mit dem „DRÄGER ITI 5400“. Auf der Abszissenachse sind Frequenzen in Hertz aufgetragen; bei den Diagrammen muss die unterschiedliche Skalierung der Ordinatenachsen mit der Einheit $g^2 10^{-4}$ ($g = 9{,}81$ m/s^2) beachtet werden. Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung

Im Vergleich zu den Frequenzspektren bei 80 km/h, die im Transportinkubator maximale Schwingungsintensitäten bei ca. 20 Hertz und einen zweiten Gipfel bei etwa 10 bis 12 Hertz aufweisen, treten bei 120 km/h mechanische Schwingungen verstärkt in einem niedrigeren Frequenzbereich (7 bis 15 Hertz) auf.

3.1.1.1.3 Vergleichende Analyse der Beschleunigungsmessungen bei 80 und 120 km/h

Wie in *Abbildung 14* ersichtlich wird, ist das Gesamtschwingungsaufkommen auf der Schnellstraße bei einer Fahrgeschwindigkeit von 120 km/h im Vergleich zu 80 km/h an allen Aufnahmepunkten in allen drei Raumachsen deutlich erhöht. Die x-Achsen weisen dabei jeweils die höchsten Werte auf; im Transportinkubator (x_3) sind die mechanischen Vibrationsbelastungen bei 120 km/h um das 4,8-Fache vergrößert.

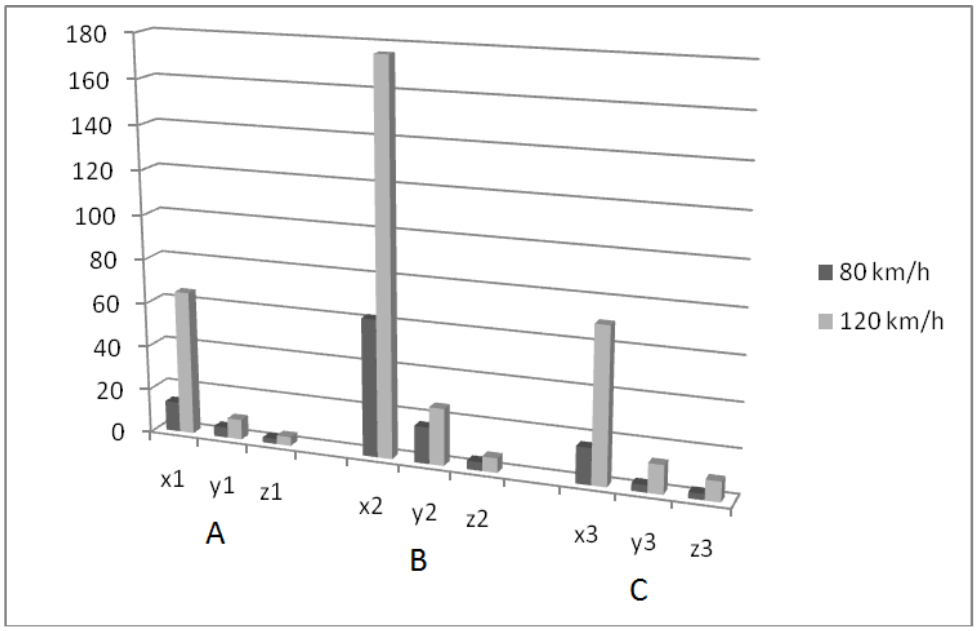


Abb. 14: Vergleich der Schwingungsbelastungen mit der Einheit $g^2 10^{-4}$ ($g = 9{,}81\ m/s^2$) in den drei Raumachsen an unterschiedlichen Aufnahmepunkten im gesamten Frequenzspektrum bei 80 bzw. 120 km/h auf der Schnellstraße bei Versuchsfahrten mit dem „DRÄGER ITI 5400"; Sensor A am Fahrzeugboden (x_1, y_1, z_1), Sensor B am Untergestell des Inkubators (x_2, y_2, z_2) und Sensor C im Transportinkubator (x_3, y_3, z_3); Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung

Wie in *Abbildung 15* gezeigt wird, sind die Frequenzbänder der auftretenden mechanischen Schwingungen bei 120 km/h auf der Schnellstraße im Vergleich zu jenen bei 80 km/h im Frequenzbereich zwischen 1 und 20 Hz im Transportinkubator in Richtung

der x-Achse (x_3) deutlich erhöht. Zwischen 21 und 32 Hz scheinen Vibrationsbelastungen bei 80 km/h Fahrgeschwindigkeit auf der x_3-Achse etwas stärker aufzutreten. Ähnliche Ergebnisse findet man im Inkubator auch in den anderen Raumachsen.

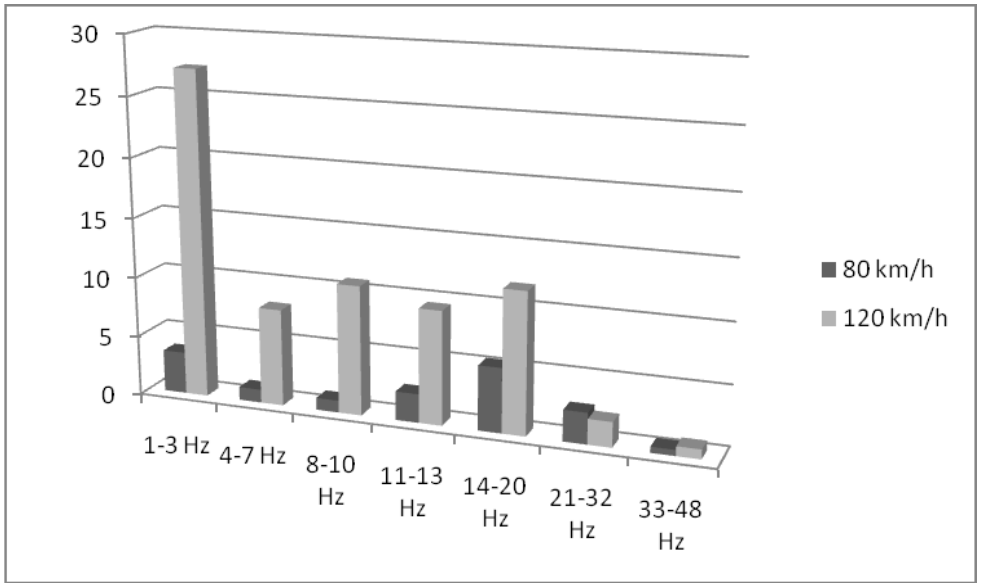


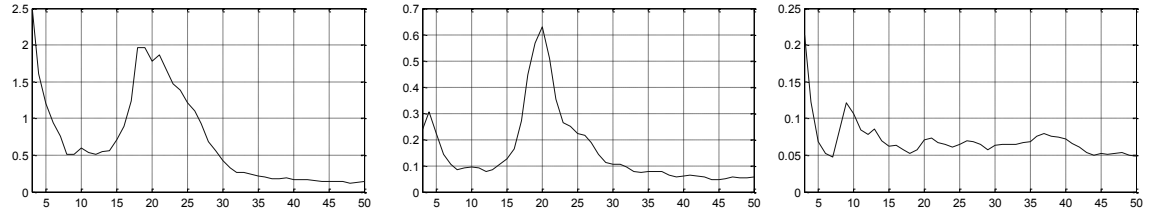
Abb. 15: Vergleich der Frequenzbänder der auftretenden Schwingungsbelastungen im „DRÄGER ITI 5400“ (Sensor C) bei 80 bzw. 120 km/h auf der Schnellstraße in Richtung x-Achse mit der Einheit $g^2 10^{-4}$ ($g = 9{,}81\ m/s^2$)

3.1.1.2 Stadtverkehr

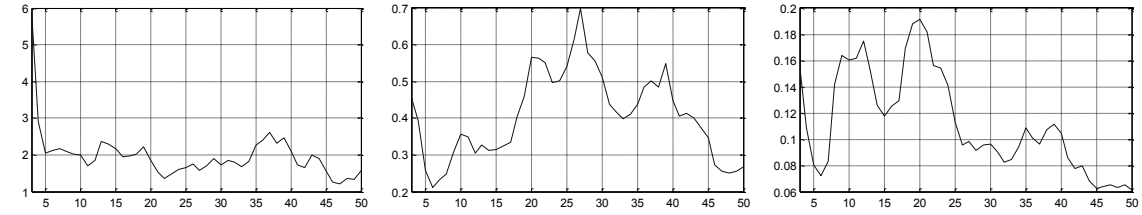
In der Folge werden die Schwingungsmessungen der innerstädtischen Streckenabschnitte mit engen Kurven und zahlreichen Abbrems- und Beschleunigungsmanövern analysiert. Die höchsten Beschleunigungswerte findet man auf der vertikalen x-Achse und sind in erster Linie auf Erschütterungen durch Unebenheiten auf der Straße zurückzuführen: Am Fahrzeugboden liegt der Spitzenwert bei 0,95 g (9,32 m/s^2), am Untergestell des Inkubators werden die Schwingungen bis auf Werte von maximal 1,70 g (16,68 m/s^2) aufgeschaukelt und im Inkubator werden noch bis zu 0,66 g (6,47 m/s^2) aufgezeichnet.

Das Auftreten von Beschleunigungskräften in Richtung der y-Achse (quer zur Fahrtrichtung, z. B. in Kurven mit engen Radien) und der z-Achse (in Fahrtrichtung, z. B. bei abruptem Abbremsen) spielen zahlenmäßig eine kleinere Rolle. Auf der y-Achse wurden im Transportinkubator Werte bis 0,38 g (3,73 m/s^2), auf der z-Achse bis 0,36 g (3,53 m/s^2) gemessen. Damit lagen diese Höchstwerte aber deutlich über den vergleichbaren Werten auf anderen Streckenabschnitten.

Sensor A am Fahrzeugboden (x_1, y_1, z_1):



Sensor B am Untergestell des Inkubators (x_2, y_2, z_2):



Sensor C im Transportinkubator (x_3, y_3, z_3):

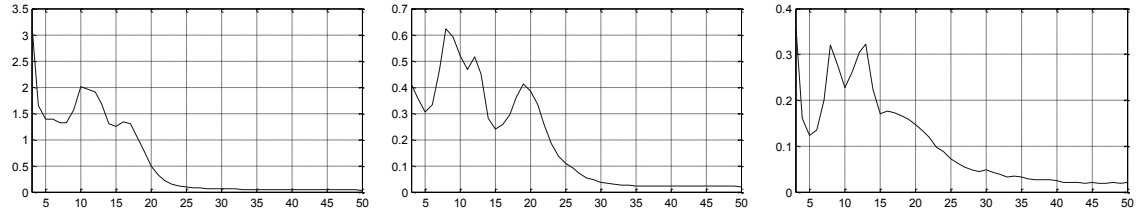


Abb. 16: Frequenzspektren mechanischer Schwingungen in den drei Raumachsen an drei Aufnahmepunkten im Fahrzeug bei Versuchsfahrten im Stadtverkehr mit dem „DRÄGER ITI 5400". Auf der Abszissenachse sind Frequenzen in Hertz aufgetragen; bei den Diagrammen muss die unterschiedliche Skalierung der Ordinatenachsen mit der Einheit $g^2 10^{-4}$ ($g = 9{,}81\ m/s^2$) beachtet werden. Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung

In den in *Abbildung 16* gezeigten Frequenzspektren mechanischer Schwingungen im Stadtverkehr kann abermals eine Verschiebung der auftretenden Frequenzbereiche beobachtet werden. Während man am Fahrzeugboden maximale Schwingungsintensitäten bei etwa 20 Hz findet, zeigen sich im Patientenraum des Transportinkubators *Dräger ITI 5400* vor allem Schwingungen mit Frequenzen zwischen 5 und 15 Hz.

3.1.1.3 Landstraßen

Streckenteilabschnitte mit langgezogenen Kurven und Fahrgeschwindigkeiten zwischen etwa 50 und 100 km/h wurden der Kategorie *Landstraße* zugeordnet und wiesen bei der Auswertung der Beschleunigungsaufzeichnungen im Transportinkubator (Sensor C)

Maximalwerte bis 0,54 g (5,30 m/s^2) auf der x-Achse (vertikal), bis 0,27 g (2,65 m/s^2) auf der y-Achse (quer zur Fahrtrichtung) und 0,20 g (1,96 m/s^2) auf der z-Achse (in Fahrtrichtung) auf.

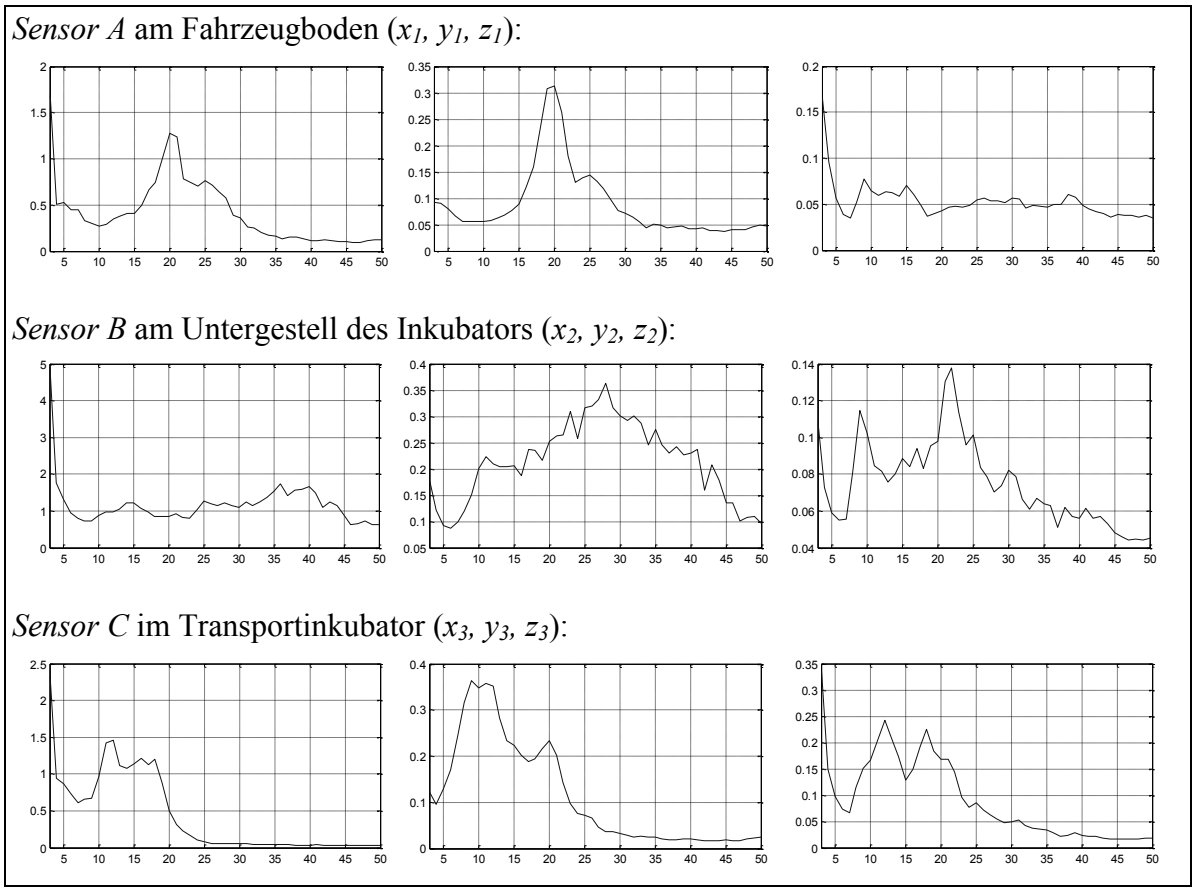


Abb. 17: Frequenzspektren mechanischer Schwingungen in den drei Raumachsen an drei Aufnahmepunkten im Fahrzeug bei Versuchsfahrten auf Landstraßen mit dem „DRÄGER ITI 5400". Auf der Abszissenachse sind Frequenzen in Hertz aufgetragen; bei den Diagrammen muss die unterschiedliche Skalierung der Ordinatenachsen mit der Einheit $g^2 10^{-4}$ ($g = 9{,}81$ m/s^2) beachtet werden. Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung

Bei der Auswertung der Frequenzspektren finden sich am Fahrzeugboden die höchsten Schwingungsintensitäten bei etwa 20 Hz (in Richtung der x- und y-Achse). Am Untergestell des Inkubators treten mechanische Schwingungen verstärkt auch bei hohen Frequenzen zwischen 25 und 50 Hz auf. Das Frequenzspektrum der Daten, die von Sensor C im Patientenraum des Transportinkubators aufgezeichnet wurden, zeigt in allen Raumachsen eine zweigipflige Verteilung; ein Peak liegt bei etwa 8 bis 13 Hz, der zweite bei 17 bis 21 Hz.

3.1.1.4 Stehendes Fahrzeug mit laufendem Motor

Die Analyse der auftretenden mechanischen Schwingungen beim stehenden Fahrzeug ergibt, dass durch den laufenden Motor Vibrationen mit einer Frequenz von ca. 28 Hz auf den Fahrzeugboden übertragen (x_1, y_1, z_1) und von dort auch auf das Untergestell des Inkubators weitergeleitet werden (x_2, y_2, z_2).

Die im Patientenraum des Transportinkubators *Dräger ITI 5400* aufgezeichneten Messdaten zeigen, dass vor allem in Richtung der x- und y-Achse (x_3, y_3) Amplitudenausschläge mit einer Frequenz von ca. 14 Hz verzeichnet werden. Dies entspricht somit genau der Hälfte der Anregungsfrequenz des Motors.

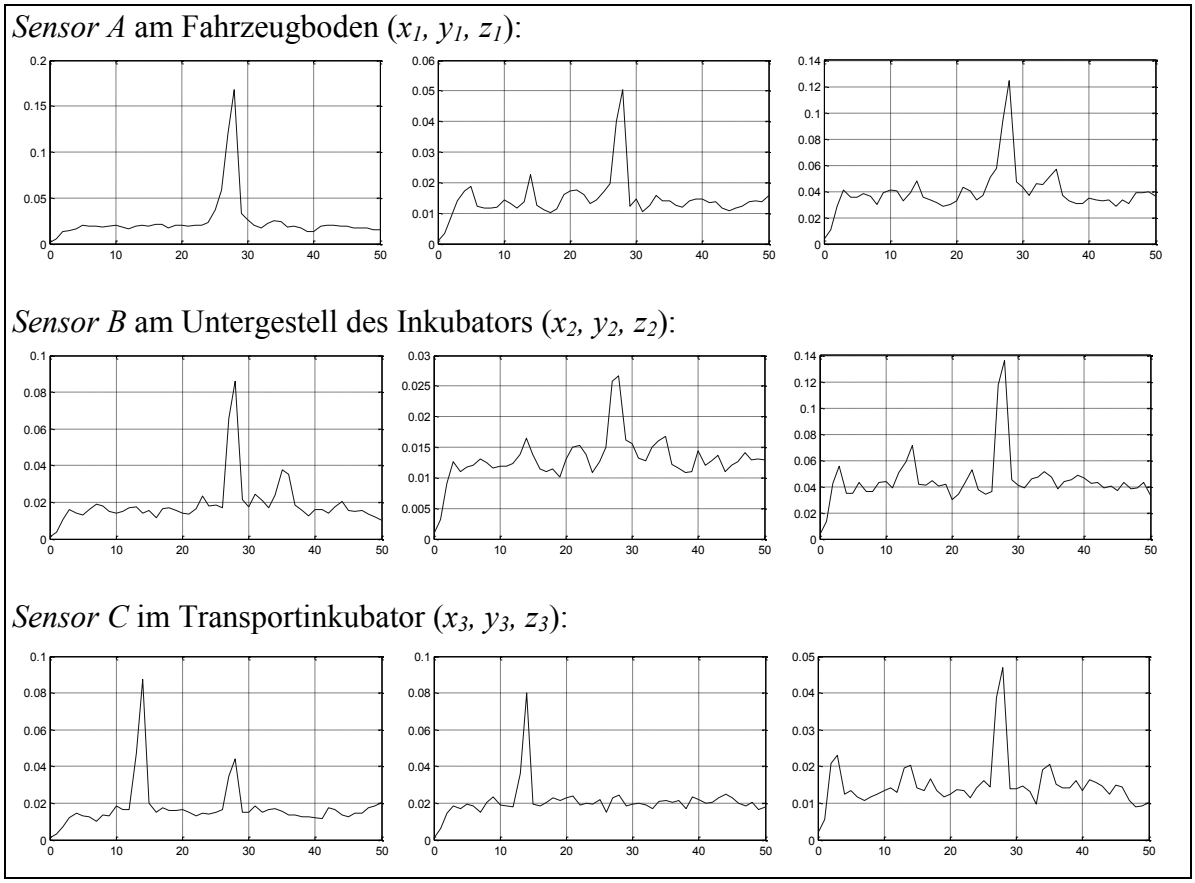


Abb. 18: Frequenzspektren mechanischer Schwingungen in den drei Raumachsen an drei Aufnahmepunkten im Fahrzeug beim stehenden Fahrzeug mit laufendem Motor bei Testmessungen mit dem „DRÄGER ITI 5400". Auf der Abszissenachse sind Frequenzen in Hertz aufgetragen; bei den Diagrammen muss die unterschiedliche Skalierung der Ordinatenachsen mit der Einheit $g^2 10^{-4}$ ($g = 9{,}81\ m/s^2$) beachtet werden. Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung

3.1.2 Analyse von transienten mechanischen Schwingungen bei charakteristischen Streckenbedingungen

Abbildung 19 zeigt einen Ausschnitt eines Akzelerogramms. Die zahlreich erkennbaren Amplitudenausschläge entsprechen Erschütterungen auf einer erneuerungsbedürftigen Asphaltstraße im Leobener Stadtgebiet. Das Auftreten solcher stoßähnlichen Vibrationen auf Streckenteilabschnitten mit *besonders schlechten Fahrbahnbedingungen* wird in weiterer Folge analysiert.

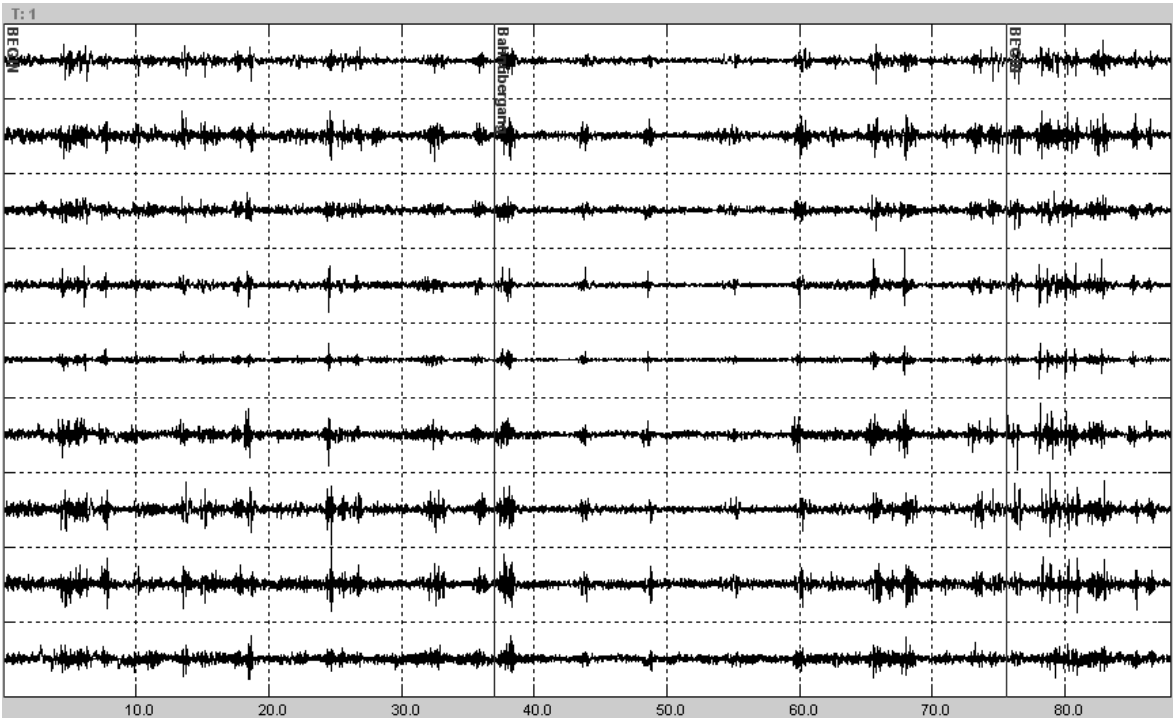


Abb. 19: Der Ausschnitt eines Akzelerogramms zeigt eine ca. 90 Sekunden dauernde Versuchsfahrt mit dem „DRÄGER ITI 5400“ bei besonders schlechten Straßenverhältnissen. Die neun abgebildeten Kanäle entsprechen in ihrer Reihenfolge von oben nach unten den Beschleunigungsaufnahmen der Sensoren A (x_1, y_1, z_1), B (x_2, y_2, z_2) und C (x_3, y_3, z_3). Auf der Abszissenachse ist die Zeit in Sekunden, auf der Ordinatenachse die Beschleunigung aufgetragen. Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung

Als charakteristische Beispiele für das Vorkommen von *transienten Schwingungen* während der Testfahrten der ersten Messreihe werden folgende Fahrbahneigenschaften untersucht:

- *Bahnübergang*
- *Dilatationsfugen von Brücken*
- *Temposchwellen*

Zur Analyse der Messdaten werden in diesem Kapitel Darstellungen von *Wavelets-Transformationen* gezeigt. Aus den Beschleunigungsaufnahmen der drei Sensoren (A, B, C) in jeweils drei Raumachsen (x, y, z) ergeben sich die in jeder der Abbildungen gezeigten neun Grafiken. Es wird auch an *Abbildung 11* im Kapitel 2.3.3 erinnert, welche als Vorlage für die Interpretation der in Folge gezeigten Darstellungen dienen soll.

3.1.2.1 Bahnübergang

In *Abbildung 20* finden sich Wavelets-Transformationen transienter Schwingungen, wie sie beim Überfahren des Bahnüberganges in der Turmgasse in Leoben (Fahrtrichtung Südwest) mit dem Neugeborenen-Intensivtransportwagen auftreten. Die Ergebnisse waren bei wiederholten Messungen mit einer Geschwindigkeit von ca. 30 km/h im Bezug auf die auftretenden Spitzenbeschleunigungen und Frequenzbereiche reproduzierbar. Als maximale Beschleunigungen im *DRÄGER ITI 5400* wurden auf der x-Achse 0,35 g (3,43 m/s^2), der y-Achse 0,18 g (1,77 m/s^2) und der z-Achse 0,14 g (1,37 m/s^2) detektiert. Am Fahrzeugboden wurden in Richtung der x-Achse Werte bis 0,69 g (6,77 m/s^2), am Fahrgestell bis 1,20 g (11,77 m/s^2) gemessen. Die Messergebnisse beim Überfahren des Bahnüberganges in Richtung Nordost waren prinzipiell mit jenen Gegenrichtung vergleichbar, tendenziell wurden aber etwas niedrigere Maximalbeschleunigungen festgestellt.

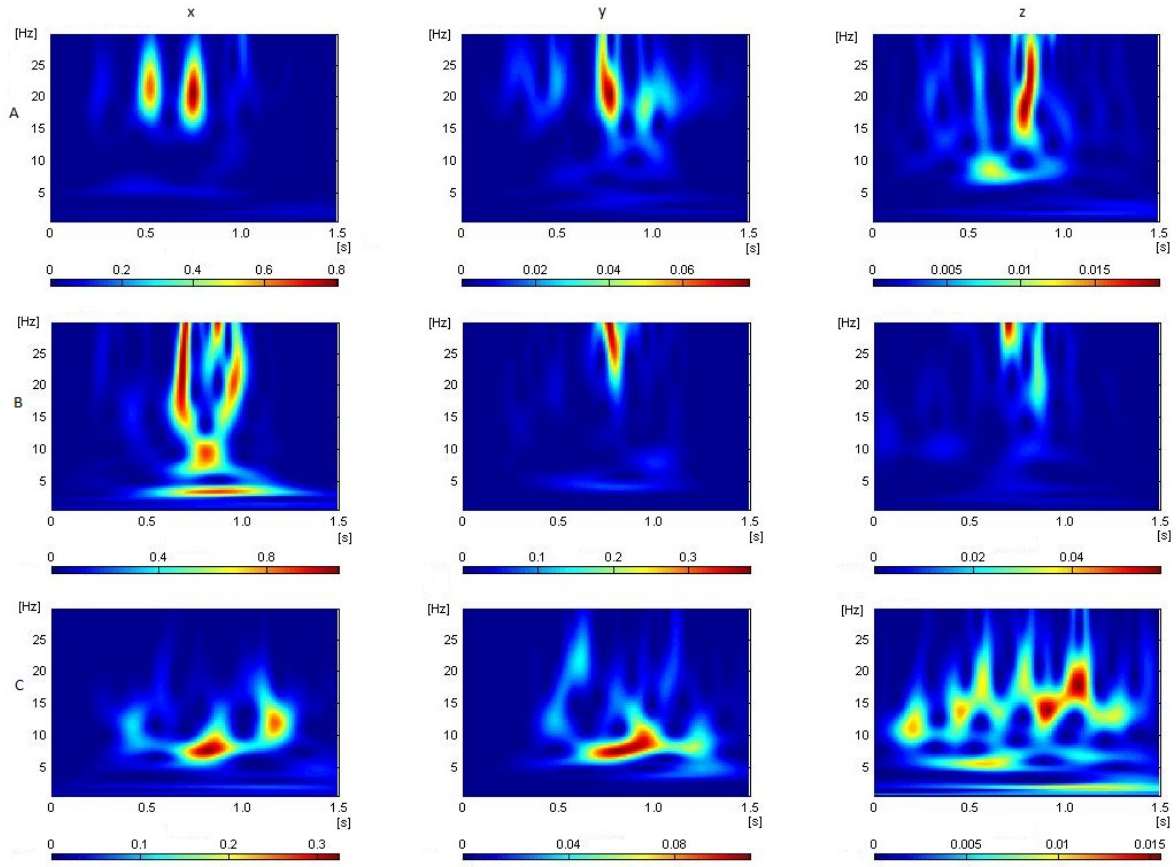


Abb. 20: Graphische Darstellung einer Wavelet-Transformation der auftretenden transienten Schwingungen beim Überfahren eines Bahnüberganges mit dem „DRÄGER ITI 5400“. Die neun abgebildeten Grafiken entsprechen in ihrer Reihenfolge von oben nach unten den Beschleunigungsaufnahmen der Sensoren A (x_1, y_1, z_1), B (x_2, y_2, z_2) und C (x_3, y_3, z_3). Die Abszissenachse entspricht der Zeitachse in Sekunden, die Ordinatenachse enthält Informationen über die Frequenzbereiche der auftretenden Vibrationen in Hertz, die farbliche Kennzeichnung spiegelt die Beschleunigung in zunehmender Größe von blau nach rot wider. Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung

Die x_1-Achse des am Fahrzeugboden montierten *Sensors A* zeigt deutlich zwei etwa 0,2 Sekunden nacheinander auftretende Ereignisse, die als Erschütterungen beim Überfahren der beiden Schienen interpretiert werden können. Etwas zeitversetzt zeigen sich diese beiden Ereignisse auch in der x_2-Achse (*Sensor B* am Untergestell des Inkubators) und in der x_3-Achse (*Sensor C* im Transportinkubator). Die Spitzenbeschleunigungen im Inkubator sind im Vergleich zu jenen von Sensor A und B aufgezeichneten Maximalwerten reduziert. Beschleunigungen der y- und z-Achse spielen bei allen Sensoren aufgrund der niedrigen gemessenen Intensitäten eine untergeordnete Rolle.

Die Frequenzanalyse zeigt, dass die im Transportinkubator vorwiegend auftretenden Schwingungen mit einem Frequenzbereich von etwa fünf bis 15 Hz deutlich niedriger liegen als am Untergestell des Inkubators (10 – 30 Hz) oder am Fahrzeugboden (15 – 25 Hz).

3.1.2.2 Dilatationsfugen von Brücken

Abbildung 21 zeigt beispielhaft eine Wavelets-Transformation von Vibrationen wie sie beim Überfahren einer Dehnungsfuge einer Brücke auf der Semmering-Schnellstraße im Winter bei etwa 0°C mit 120 km/h aufgetreten sind.

Die Intensität der auftretenden Beschleunigungskräfte ist von der Fahrgeschwindigkeit abhängig. Bei einer Geschwindigkeit von 120 km/h konnten im Patientenraum des Transportinkubators auf der x-Achse Spitzenbeschleunigungen bis 0,77 g (7,55 m/s^2) gemessen werden. Beim Überfahren von Dehnungsfugen mit 80 km/h wurden im Vergleich dazu mit 0,30 g (2,90 m/s^2) wesentlich geringere Maximalwerte gemessen.

Betrachtet man die beim Überfahren der Dilatationsfuge auftretenden Erschütterungen in den x-Achsen der unterschiedlichen Aufnahmepunkte, findet man im Transportinkubator im Vergleich zum Fahrzeugboden stark erhöhte Schwingungsbelastungen. Noch höher ist die Intensität der aufgezeichneten Vibrationen am Untergestell des Inkubators. In den y- und z-Achsen treten nur relativ geringe Beschleunigungskräfte auf.

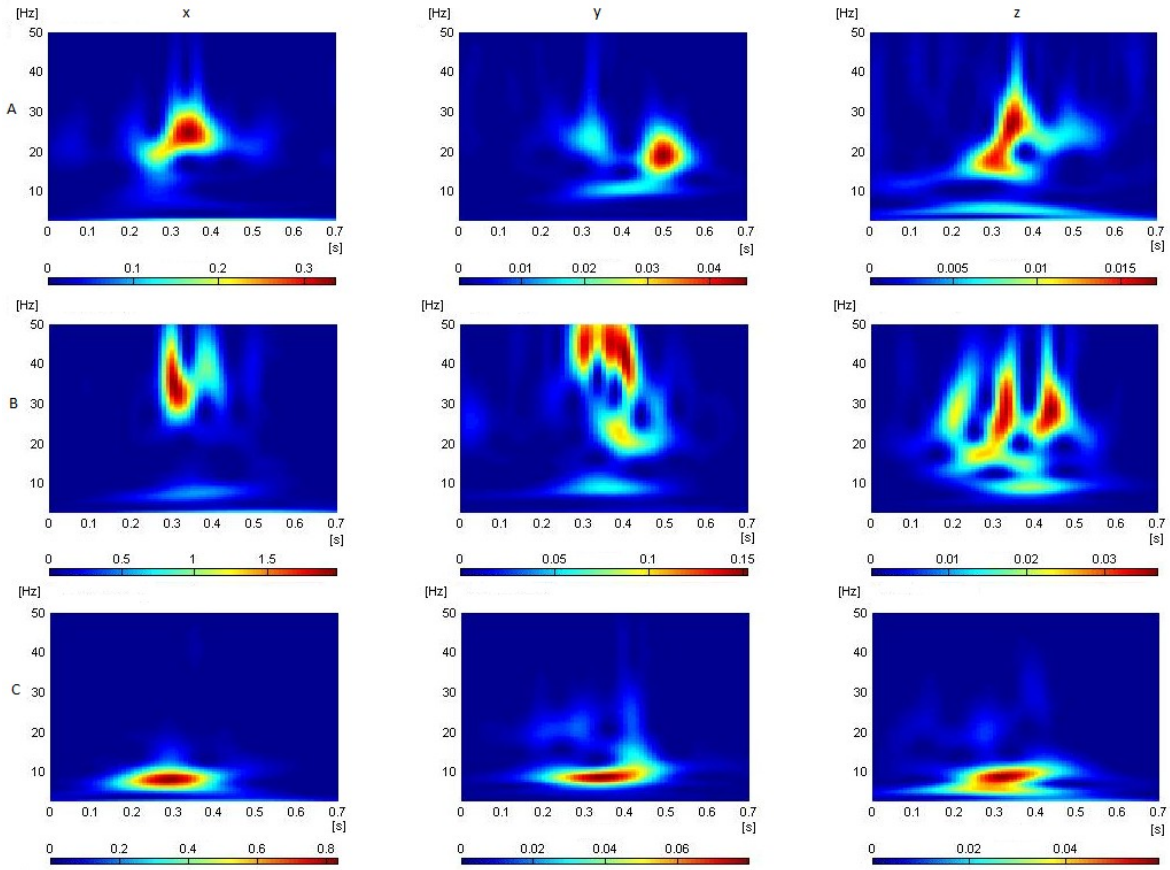


Abb. 21: Graphische Darstellung einer Wavelet-Transformation der auftretenden transienten Schwingungen beim Überfahren einer Dehnungsfuge einer Brücke bei etwa 120 km/h mit dem „DRÄGER ITI 5400“. Die neun abgebildeten Grafiken entsprechen in ihrer Reihenfolge von oben nach unten den Beschleunigungsaufnahmen der Sensoren A (x_1, y_1, z_1), B (x_2, y_2, z_2) und C (x_3, y_3, z_3). Die Abszissenachse entspricht der Zeitachse in Sekunden, die Ordinatenachse enthält Informationen über die Frequenzbereiche der auftretenden Vibrationen in Hertz, die farbliche Kennzeichnung spiegelt die Beschleunigung in zunehmender Größe von blau nach rot wider. Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung

Bei der genaueren Frequenzanalyse zeigt sich, dass die Erschütterungen beim Überfahren einer Dilatationsfuge mit Frequenzen zwischen 20 und 30 Hz auf das Fahrgestell übertragen werden. Das Untergestell des Inkubators antwortet mit hohen Schwingungsintensitäten im Bereich zwischen 25 und 50 Hz. Im Patientenraum des *DRÄGER ITI 5400* werden hohe Schwingungsbelastungen bei Frequenzen zwischen 2 und 10 Hz gemessen.

Inwieweit die Außentemperatur durch Wärmedehnung der Dilatationsfugen das Ausmaß der im Transportinkubator auftretenden Schwingungsbelastungen beeinflusst, wurde nicht getestet. Prinzipiell ist aber zu erwarten, dass die messbaren Maximalbeschleunigungen bei

tiefen Außentemperaturen wie zum Termin der ersten Messreihe im Februar am höchsten sind.

3.1.2.3 Temposchwellen

Bodenschwellen zur Temporeduktion finden sich vor allem in verkehrsberuhigten Bereichen wie Wohnstraßen und können normalerweise bei der Routenwahl eines neonatalen Intensivtransportes vermieden werden. Das Vorhandensein zweier Temposchwellen im Gelände des LKH Leoben rechtfertigt jedoch eine genauere Analyse.

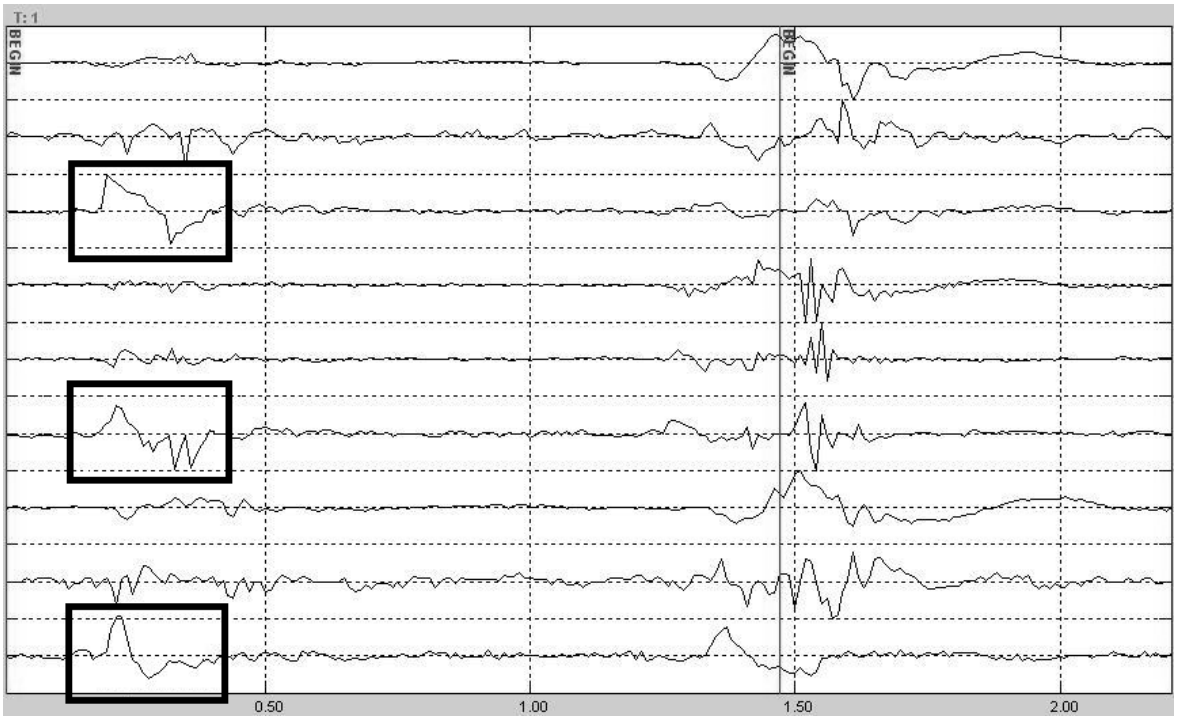


Abb. 22: Ausschnitt eines Akzelerogramms bei Versuchsfahrten mit dem „DRÄGER ITI 5400". Über eine Dauer von etwa 2,25 Sekunden werden die beim Überfahren einer Temposchwelle gemessenen Linearbeschleunigungen dargestellt. Die neun abgebildeten Kanäle entsprechen in ihrer Reihenfolge von oben nach unten den Beschleunigungsaufnahmen der Sensoren A (x_1, y_1, z_1), B (x_2, y_2, z_2) und C (x_3, y_3, z_3). Durch schwarze Rechtecke wurde ein Abbremsmanöver vor dem eigentlichen Fahrbahnhindernis in den z-Achsen markiert. Auf der Abszissenachse ist die Zeit in Sekunden, auf der Ordinatenachse die Beschleunigung aufgetragen. Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung

Das in *Abbildung 22* gezeigte Akzelerogramm stellt Messergebnisse eines kurzen Streckenabschnittes graphisch dar, auf welchem beispielhaft das Überfahren einer Bodenschwelle demonstriert wird. Etwa 0,2 Sekunden nach Beginn der Messung wird ein Abbremsvorgang eingeleitet, der durch den charakteristischen Kurvenverlauf in den z-

Achsen (z_1, z_2, z_3) erkennbar ist. Dieses Bremsmanöver zeigt sich in einer Darstellung von Wavelets-Transformationen in *Abbildung 23* ebenfalls nach ca. 0,2 Sekunden in den z-Achsen, während auf den x- und y-Achsen zu diesem Zeitpunkt keine relevanten Beschleunigungskräfte detektiert werden. Beim Abbremsen wurden die höchsten Translationsbeschleunigungen im niedrigen Frequenzbereich (bei etwa 3 – 8 Hz) mit einem Maximalwert von 0,39 g (3,83 m/s²) auf der z_3-Achse im Transportinkubator gemessen.

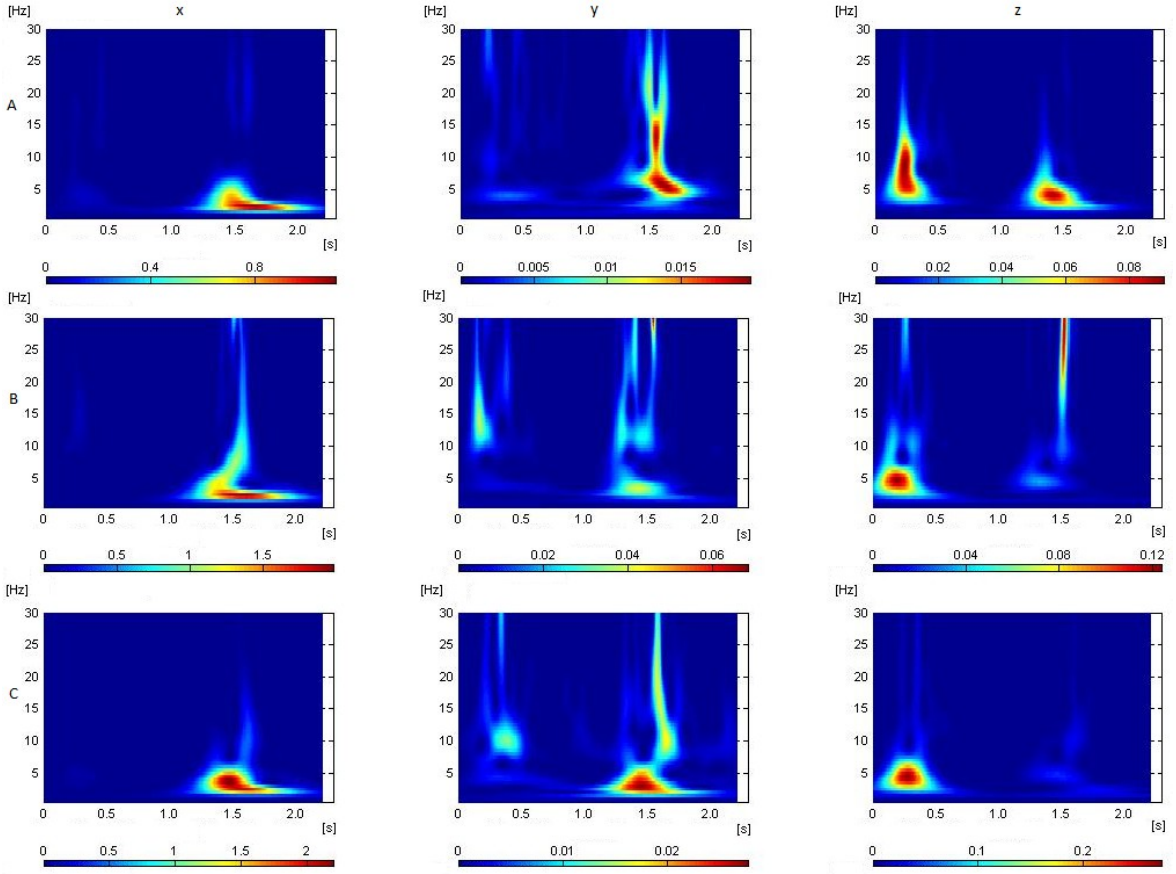


Abb. 23: Graphische Darstellung einer Wavelet-Transformation der auftretenden transienten Schwingungen beim Überfahren einer Bodenschwelle mit dem „DRÄGER ITI 5400“. Die neun abgebildeten Grafiken entsprechen in ihrer Reihenfolge von oben nach unten den Beschleunigungsaufnahmen der Sensoren A (x_1, y_1, z_1), B (x_2, y_2, z_2) und C (x_3, y_3, z_3). Die Abszissenachse entspricht der Zeitachse in Sekunden, die Ordinatenachse enthält Informationen über die Frequenzbereiche der auftretenden Vibrationen in Hertz, die farbliche Kennzeichnung spiegelt die Beschleunigung in zunehmender Größe von blau nach rot wider. Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung

Die in *Abbildung 22* und *23* bei etwa 1,5 Sekunden ablesbaren Erschütterungen entstehen beim langsamen Überfahren der Temposchwelle und sind in Richtung der x-Achsen am stärksten ausgeprägt.

Im Transportinkubator wurden von Sensor C auf der x-Achse 0,91 g (8,93 m/s^2), auf der y-Achse 0,20 g (1,96 m/s^2) und auf der z-Achse 0,39 g (3,83 m/s^2) als Spitzenwerte aufgezeichnet. Am Fahrzeugboden lag der höchste Wert bei 0,67 g (6,57 m/s^2) auf der x-Achse, am Untergestell des Inkubators wurden Werte bis 1,60 g (15,7 m/s^2) gemessen. Somit liegt der Maximalwert im Transportinkubator deutlich über jenem am Fahrzeugboden.

Die Frequenzanalyse der durch das Überfahren der Bodenschwelle ausgelösten Erschütterungen mittels Wavelets-Transformation in *Abbildung 23* zeigt in allen drei Raumachsen als relevanten Bereich tiefe Frequenzen unter 5 Hertz.

3.2 Ergebnisse der zweiten Messreihe

Ziel der zweiten Messreihe war es, das Schwingungsverhalten der zwei Transportinkubatoren *DRÄGER ITI 5400* und *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* miteinander zu vergleichen und das Einbringen der Schaumstoffmatte *Confor Foam CF45* unter der Reanimationssäuglingspuppe als Dämpfungsmaßnahme zu evaluieren.

Für die zweite Messreihe wurden Versuchsfahrten mit dem *DRÄGER ITI 5400* über eine Zeitdauer von insgesamt 1520 Sekunden durchgeführt; die Beschleunigungsmessungen mit dem *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* erstreckten sich über etwa 1450 Sekunden.

Für die Analyse der durchgeführten Testfahrten mit den zwei Inkubatoren erfolgte jeweils eine Zuteilung der Datensätze in folgende Gruppen:

- *Schnellstraße*
- *Stadtverkehr*
- *Landstraße*

Im Unterschied zur ersten Messreihe wurde die Fahrgeschwindigkeit bei den simulierten Inkubatortransporten auf der Schnellstraße nicht auf einem bestimmten Niveau konstant gehalten. Das gewählte Tempo variierte – ähnlich wie bei einem Realtransport – zwischen 80 und 130 km/h.

Der Anteil an Landstraßen auf der gewählten Strecke wurde erheblich vergrößert, um den Beobachtungen der ersten Testmessungen gerecht zu werden, bei welchen auf diesen Streckenabschnitten besonders hohe Beschleunigungskräfte aufgetreten sind.

Die Ergebnisse der Beschleunigungsmessungen auf den einzelnen Streckenabschnitten werden in der Folge für beide Inkubatoren zuerst einzeln besprochen, anschließend erfolgt ein Vergleich der Schwingungseigenschaften beider Modelle.

An dieser Stelle wird auf Kapitel 2.4.2.2 verwiesen, in dem die gewählten Aufnahmepunkte der Beschleunigungssensoren A bis C beschrieben werden. Insbesondere wird auf die veränderte Positionierung der Geräte im Vergleich zur ersten Messreihe hingewiesen.

3.2.1 Analyse des Schwingungsverhaltens des *DRÄGER ITI 5400* und der Dämpfungseigenschaften der *Confor Foam CF45* bei Versuchsfahrten mit dem Neugeborenen-Intensivtransportwagen

Das Schwingungsverhalten des Transportinkubators *DRÄGER ITI 5400* wurde bereits bei den Versuchsfahrten der ersten Messreihe untersucht. In diesem Kapitel werden darüber hinaus die Dämpfungseigenschaften der Schaumstoffmatte *Confor Foam CF45* analysiert, wenn diese bei den simulierten Inkubatortransporten unter dem Reanimationsphantom im Patientenraum des *DRÄGER ITI 5400* platziert wird.

3.2.1.1 Maximalbeschleunigungen

Die von den Sensoren B (unter der Schaumstoffmatte) und C (auf der Schaumstoffmatte) aufgezeichneten maximalen Beschleunigungswerte sind – wie *Tabelle 12* zeigt – auf allen untersuchten Streckenabschnitten jeweils in Richtung der vertikalen x-Achse am größten. Der absolute Spitzenwert wurde in dieser Raumachse mit 0,95 g (9,32 m/s^2) während der Versuchsfahrt auf einer Landstraße von Sensor C aufgezeichnet.

Vergleicht man die von den Sensoren B und C aufgezeichneten Beschleunigungswerte in den jeweiligen Raumachsen bei verschiedenen Transportbedingungen, unterscheiden sich die korrespondierenden Spitzenwerte in ihrer Höhe nur geringfügig. Tendenziell können auf den verschiedenen Streckenteilen in fast allen Achsen etwas niedrigere Werte auf der

Schaumstoffmatte festgestellt werden (Ausnahme: die Spitzenwerte in Richtung x-Achse bei Versuchsfahrten auf der Landstraße).

Tab. 12: Übersicht über die von den Sensoren B und C registrierten Spitzenwerte bei Beschleunigungsmessungen während Versuchsfahrten auf unterschiedlichen Streckenabschnitten mit dem „DRÄGER ITI 5400"; Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung

		x	y	z	
Schnellstraße	**Sensor B**	0,85 *8,34*	0,35 *3,43*	0,19 *1,86*	[g] *[m/s²]*
	Sensor C	0,77 *7,55*	0,32 *3,14*	0,17 *1,67*	[g] *[m/s²]*
Stadtverkehr	**Sensor B**	0,70 *6,87*	0,57 *5,59*	0,21 *2,06*	[g] *[m/s²]*
	Sensor C	0,64 *6,28*	0,41 *4,02*	0,21 *2,06*	[g] *[m/s²]*
Landstraße	**Sensor B**	0,90 *8,83*	0,40 *3,92*	0,24 *2,35*	[g] *[m/s²]*
	Sensor C	0,95 *9,32*	0,38 *3,73*	0,17 *1,67*	[g] *[m/s²]*

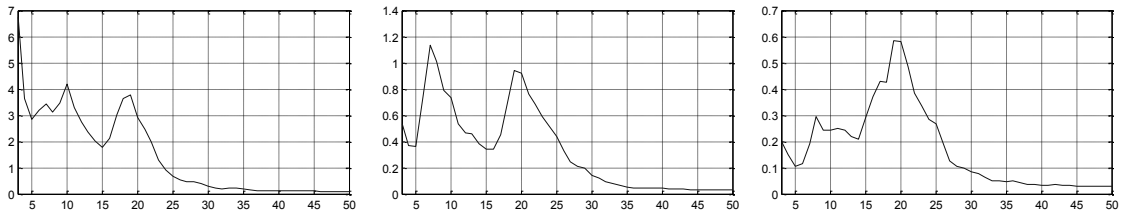
3.2.1.2 Frequenzspektren

Bei der nun folgenden Analyse von Frequenzspektren wird auf eine Darstellung der Messergebnisse des Sensors A am Fahrzeugboden verzichtet, weil die Daten mit jenen der ersten Versuchsreihe auf allen Streckenabschnitten weitgehend übereinstimmen. Es werden jedoch die Messwerte der Sensoren B und C miteinander verglichen; damit wird der Einfluss der Schaumstoffmatte *Confor Foam CF45* auf die Frequenzbereiche auftretender mechanischer Schwingungen evaluiert.

Stellvertretend für alle anderen Streckenabschnitte zeigt *Abbildung 24* ein Frequenzspektrum von Testmessungen auf der Landstraße. In der Spektralverteilung der im Patientenraum des *DRÄGER ITI 5400* auftretenden mechanischen Schwingungen (Sensor B und C) sind – wie schon bei der ersten Messreihe – ein Gipfel im Frequenzbereich zwischen 7 und 12 Hertz sowie ein zweiter Gipfel im Bereich von etwa

20 Hz zu erkennen. Die Schaumstoffmatte *Confor Foam CF45* scheint das Frequenzspektrum nur geringfügig zu beeinflussen, da sich die Kurvenverläufe in den korrespondierenden Grafiken fast nicht unterscheiden.

Sensor B unter der Schaumstoffmatte im Patientenraum des Inkubators (x_2, y_2, z_2):



Sensor C über der Schaumstoffmatte im Patientenraum des Inkubators (x_3, y_3, z_3):

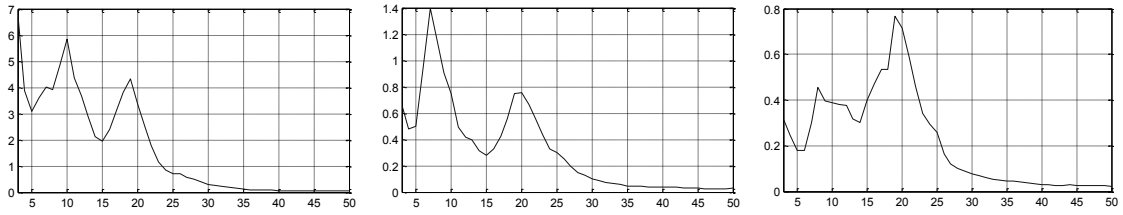


Abb. 24: Frequenzspektren mechanischer Schwingungen in den drei Raumachsen an zwei Aufnahmepunkten bei Versuchsfahrten auf der Landstraße mit dem „DRÄGER ITI 5400". Auf der Abszissenachse sind Frequenzen in Hertz aufgetragen; bei den Diagrammen muss die unterschiedliche Skalierung der Ordinatenachsen mit der Einheit $g^2 10^{-4}$ ($g = 9{,}81\ m/s^2$) beachtet werden. Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung

Der zweigipflige Verlauf der Kurven und deren vergleichsweise nahezu unverändertes Aussehen in den Frequenzspektren der Sensoren B und C zeigt sich auch in den Frequenzanalysen auf den Streckenteilabschnitten *Stadtverkehr* und *Schnellstraße*. Daher wird auf weitere Darstellungen verzichtet.

3.2.1.3 Schwingungsbelastungen

Berechnet man mittels Integral den Flächeninhalt unter einer in *Abbildung 24* gezeigten Kurve über das gesamte Frequenzspektrum, erhält man die Summe aller erfassten Schwingungsbelastungen (mit der Einheit m^2/s^5) in Richtung der betreffenden Raumachse. Bestimmt man die Größe einer Fläche, die sich innerhalb eines Integrationsbereiches durch ein vordefiniertes Frequenzband ergibt, können quantitative Aussagen über Vibrationsbelastungen im entsprechenden Frequenzbereich getroffen werden.

Betrachtet man also zwei von den Sensoren B und C aufgezeichnete Spektren einer bestimmten Raumachse und setzt korrespondierende Flächeninhalte eines Frequenzbandes in Relation, so kann beurteilt werden, inwieweit die Schaumstoffmatte *Confor Foam CF45* Schwingungsbelastungen in jenem Frequenzbereich beeinflussen kann.

In *Abbildung 25* werden relative Unterschiede der Vibrationsbelastungen verschiedener Frequenzbereiche auf den drei Streckenabschnitten grafisch dargestellt. Positive Werte können dabei als Schwingungsverstärkung durch die eingebrachte Schaumstoffmatte und negative als Schwingungsdämpfung interpretiert werden.

Betrachtet man in *Abbildung 25* die Summe der Schwingungsbelastungen über alle Frequenzbereiche, zeigt sich durch den Einfluss der Schaumstoffmatte *Confor Foam CF45* bei Versuchsfahrten mit dem *DRÄGER ITI 5400* auf der *Schnellstraße* in den drei Raumachsen (vor allem in Richtung x- und z-Achse) eine Verstärkung der auftretenden Vibrationen. Bei Messungen im *Stadtverkehr* und auf der *Landstraße* tritt in Richtung x- und z-Achse (Vertikal- bzw. Fahrtrichtung) eine Schwingungsverstärkung, in Richtung y-Achse (quer zur Fahrtrichtung) eine Dämpfung auf.

Untersucht man Vibrationsbelastungen einzelner Frequenzbänder, erkennt man auf allen Streckenabschnitten durch das Einbringen der Schaumstoffmatte *Confor Foam CF45* tendenziell eine Verstärkung der mechanischen Schwingungen in den niedrigen Frequenzbereichen von 1 bis 10 Hertz und eine Dämpfung der auftretenden Erschütterungen in den höheren Frequenzbereichen von 21 bis 48 Hertz.

Außerdem fällt bei Betrachtung der Ergebnisse aller Streckenabschnitte auf, dass die Schaumstoffmatte *Confor Foam CF45* in Bereichen über 10 Hertz gute Dämpfungseigenschaften in Richtung *y-Achse* aufweist, gleichzeitig aber in Richtung *z-Achse* über das gesamte Frequenzspektrum gesehen Schwingungen in großem Maße verstärkt. In Richtung *x-Achse*, auf welcher entsprechend der *Abbildung 24* die höchsten Schwingungsbelastungen zu finden sind, bewirkt die Schaumstoffmatte zwischen 11 und 20 Hertz beträchtliche Vibrationsverstärkungen (bis +16%) im Frequenzbereich; in allen weiteren Frequenzbereichen kommt es nur zu relativ kleinen Veränderungen.

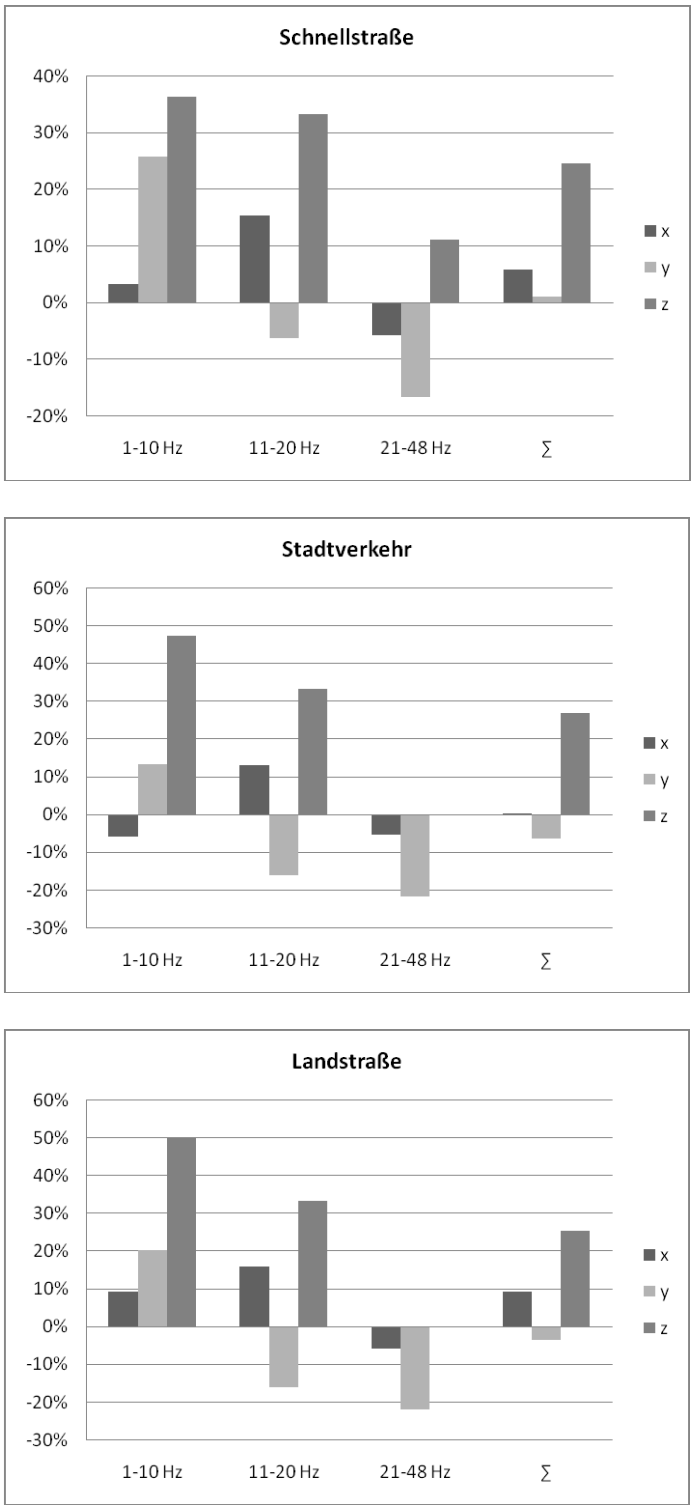


Abb. 25: Übersicht über die relative Schwingungsverstärkung bzw. -dämpfung (in %) durch die Schaumstoffmatte „Confor Foam CF45“ in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Frequenzbändern und den drei Raumachsen bei Versuchsfahrten auf verschiedenen Streckenabschnitten mit dem „DRÄGER ITI 5400“; Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung

3.2.2 Analyse des Schwingungsverhaltens des *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* und der Dämpfungseigenschaften der *Confor Foam CF45* bei Versuchsfahrten mit dem Neugeborenen-Intensivtransportwagen

3.2.2.1 Maximalbeschleunigungen

Während simulierter Inkubatortransporte mit dem *Air-Shields Isolette TI 500* aufgetretene maximale Beschleunigungswerte, die von den Sensoren A (am Fahrzeugboden), B (unter der Schaumstoffmatte) und C (auf der Schaumstoffmatte) in den drei Raumachsen aufgezeichnet wurden, sind in *Tabelle 13* zusammengestellt.

Tab. 13: Übersicht über die von den Sensoren A, B und C registrierten Spitzenwerte bei Beschleunigungsmessungen während Versuchsfahrten auf unterschiedlichen Streckenabschnitten mit dem „DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500"; Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung

		x	y	z	
Schnellstraße	**Sensor A**	1,60 *15,70*	0,41 *4,02*	0,31 *3,04*	[g] *[m/s²]*
	Sensor B	1,60 *15,70*	0,43 *4,22*	0,25 *2,45*	[g] *[m/s²]*
	Sensor C	1,30 *12,75*	0,41 *4,02*	0,29 *2,84*	[g] *[m/s²]*
Stadtverkehr	**Sensor A**	1,10 *10,79*	0,48 *4,71*	0,30 *2,94*	[g] *[m/s²]*
	Sensor B	1,40 *13,73*	0,40 *3,92*	0,27 *2,65*	[g] *[m/s²]*
	Sensor C	1,30 *12,75*	0,37 *3,63*	0,34 *3,34*	[g] *[m/s²]*
Landstraße	**Sensor A**	1,50 *14,72*	0,70 *6,87*	0,66 *6,47*	[g] *[m/s²]*
	Sensor B	1,50 *14,72*	0,44 *4,32*	0,30 *2,94*	[g] *[m/s²]*
	Sensor C	1,30 *12,75*	0,44 *4,32*	0,37 *3,63*	[g] *[m/s²]*

Auf allen untersuchten Streckenabschnitten sind die aufgezeichneten Spitzenwerte der drei Beschleunigungssensoren auf der vertikalen x-Achse gelegen. Der absolute Maximalwert im Patientenraum des Inkubators wurde in dieser Raumachse mit 1,60 g (15,70 m/s^2) während einer Versuchsfahrt auf der Schnellstraße von Sensor B aufgezeichnet.

Betrachtet man die Messwerte der Sensoren A und B auf den verschiedenen Streckenabschnitten, wird deutlich, dass in der x-Achse die jeweils höchsten gemessenen Beschleunigungswerte vergleichbar groß (*Schnellstraße*, *Landstraße*) oder im Inkubator sogar größer als am Fahrzeugboden sind (*Stadtverkehr*). Offensichtlich werden in vertikaler Richtung durch stoßartige Impulse übertragene Kräfte beim *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* ohne jegliche Dämpfung direkt bis in den Patientenraum übertragen.

Werden die von den Sensoren B und C aufgezeichneten Linearbeschleunigungen auf den verschiedenen Streckenteilen miteinander verglichen, zeigt sich auf der vertikalen *x-Achse*, dass die Dämpfungseigenschaften der Schaumstoffmatte *Confor Foam CF45* Maximalbeschleunigungen um bis zu 19% reduzieren kann. Die korrespondierenden Spitzenwerte in Fahrtrichtung und quer dazu unterscheiden sich weniger stark: Tendenziell können in Richtung *y-Achse* auf der Schaumstoffmatte (Sensor C) etwas niedrigere und in Richtung *z-Achse* etwas höhere Werte als darunter (Sensor B) festgestellt werden.

3.2.2.2 Frequenzspektren

In diesem Kapitel erfolgt eine detaillierte Frequenzanalyse mechanischer Schwingungen bei Versuchsfahrten mit dem *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500*. Die Frequenzspektren weisen selbst auf unterschiedlichen Streckenteilabschnitten sehr ähnliche Kurvenverläufe auf und zeigen ein charakteristisches Schwingungsverhalten des Transportinkubators.

In *Abbildung 26* sind Spektralanalysen der Beschleunigungsaufzeichnungen von simulierten Inkubatortransporten mit dem *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* auf der *Schnellstraße* an den drei unterschiedlichen Aufnahmepunkten in den drei Raumachsen dargestellt.

Die Spektralverteilung der auftretenden mechanischen Schwingungen in Richtung *x-Achse* (Vertikalrichtung) zeigt am Fahrzeugboden (Sensor A) zwei Gipfel im Frequenzbereich von 20 bis 25 Hertz. In den Spektren der Sensoren B und C kommt es zu einer Linksverschiebung der Peaks auf etwa 15 und 20 Hertz.

In der Frequenzanalyse der Beschleunigungsmessungen in Richtung *y-Achse* (quer zur Fahrtrichtung) findet sich bei allen Sensoren (A, B, C) ein Gipfel im Bereich von etwa 20 Hertz. In dieser Raumachse kommt es zu keiner Verschiebung des Frequenzspektrums an den unterschiedlichen Aufnahmepunkten.

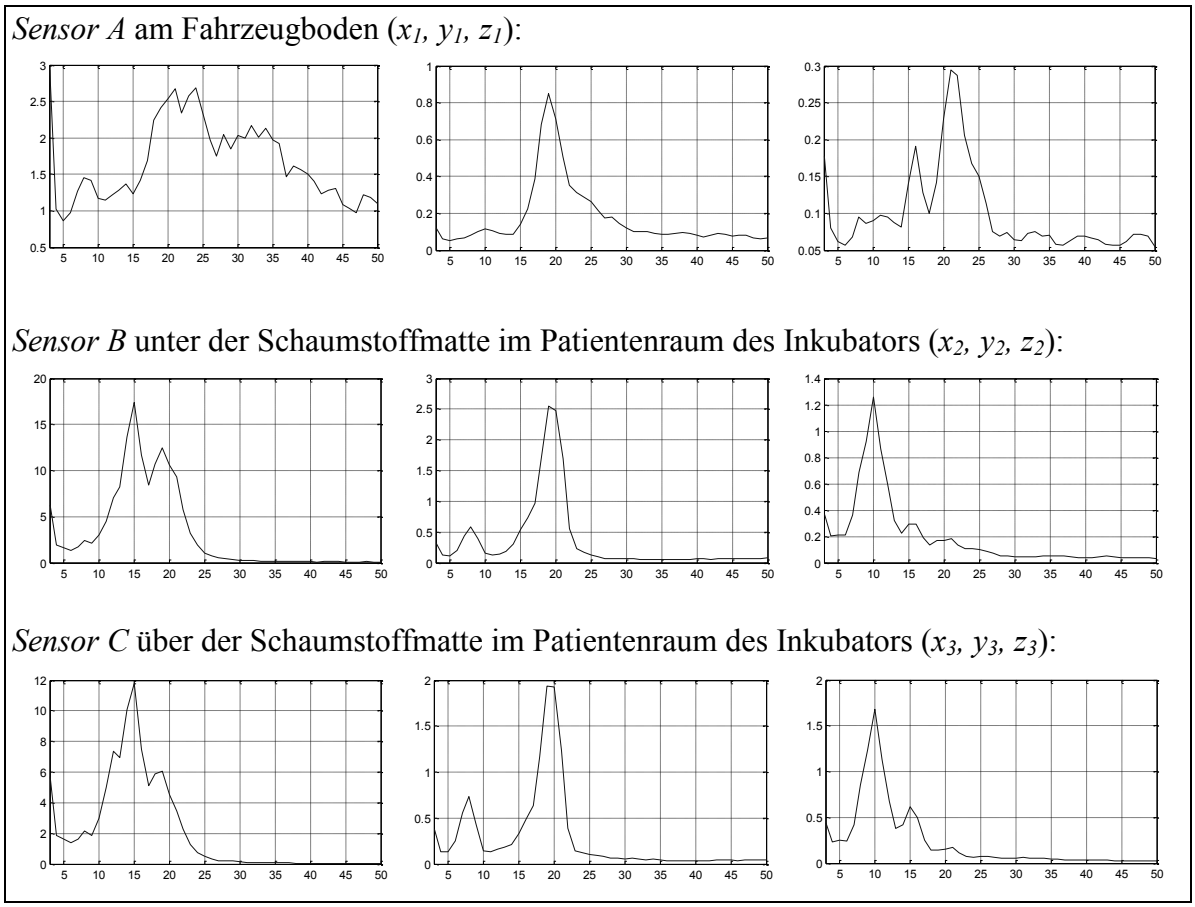


Abb. 26: Frequenzspektren mechanischer Schwingungen in den drei Raumachsen an drei Aufnahmepunkten bei Versuchsfahrten auf der Schnellstraße mit dem „DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500". Auf der Abszissenachse sind Frequenzen in Hertz aufgetragen; bei den Diagrammen muss die unterschiedliche Skalierung der Ordinatenachsen mit der Einheit $g^2 10^{-4}$ ($g = 9{,}81\ m/s^2$) beachtet werden. Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung

Der von Sensor A auf der *z-Achse* (in Fahrtrichtung) detektierte Gipfel zwischen 20 und 25 Hertz verschwindet in den Frequenzspektren der Sensoren B und C oder wird stark nach

links verschoben. Im Inkubator treten verstärkt Erschütterungen in einem niedrigeren Frequenzbereich von etwa 10 Hertz auf.

Abbildung 26 zeigt stellvertretend für alle Streckenabschnitte Spektralverteilungen von Simulationsfahrten auf der *Schnellstraße*. Auf die Darstellung von Frequenzanalysen der Beschleunigungsaufzeichnungen im *Stadtverkehr* und auf der *Landstraße* wird an dieser Stelle verzichtet, da sich die Kurvenverläufe der Spektren aller Streckenteile in den jeweiligen Raumachsen an den verschiedenen Aufnahmepunkten nur geringfügig voneinander unterscheiden. Während die von den drei Sensoren (A, B, C) aufgezeichneten maximalen Schwingungsintensitäten in jeder Raumrichtung ganz charakteristisch immer im gleichen Frequenzbereich zu finden sind, unterscheiden sich die Ergebnisse sehr wohl in der Höhe der Vibrationsbelastungen.

3.2.2.3 Schwingungsbelastungen

Vergleicht man die unterhalb (Sensor B) und oberhalb (Sensor C) der Schaumstoffmatte detektierten Schwingungsbelastungen, welche den durch Integration gebildeten Flächeninhalten unterhalb der Kurven in den Frequenzspektren entsprechen, erhält man eine Vorstellung über die Dämpfungseigenschaften der *Confor Foam CF45*.

Die Diagramme der *Abbildung 27*, welche die relative Schwingungsverstärkung bzw. -dämpfung durch die *Confor Foam CF45* in den drei Raumachsen frequenzabhängig darstellen, zeigen auf allen Streckenabschnitten vergleichbare Ergebnisse.

Im Frequenzbereich *1 bis 10 Hertz* kommt es bei simulierten Inkubatortransporten mit dem *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* auf allen Streckenteilen in der x-Achse zu einer minimalen Dämpfung der auftretenden Schwingungen (-5 bis -9%), in der y- und z-Achse hingegen zu einer Schwingungsverstärkung (+15 bis +16% bzw. +18 bis +31%).

Zwischen *11 und 20 Hertz* kommt es zu einer Dämpfung mechanischer Schwingungen in Richtung x- und y-Achse (-29 bis -33% bzw. -25 bis -31%) und zu einer massiven Verstärkung der Vibrationsbelastungen in Richtung z-Achse (+33 bis +69%).

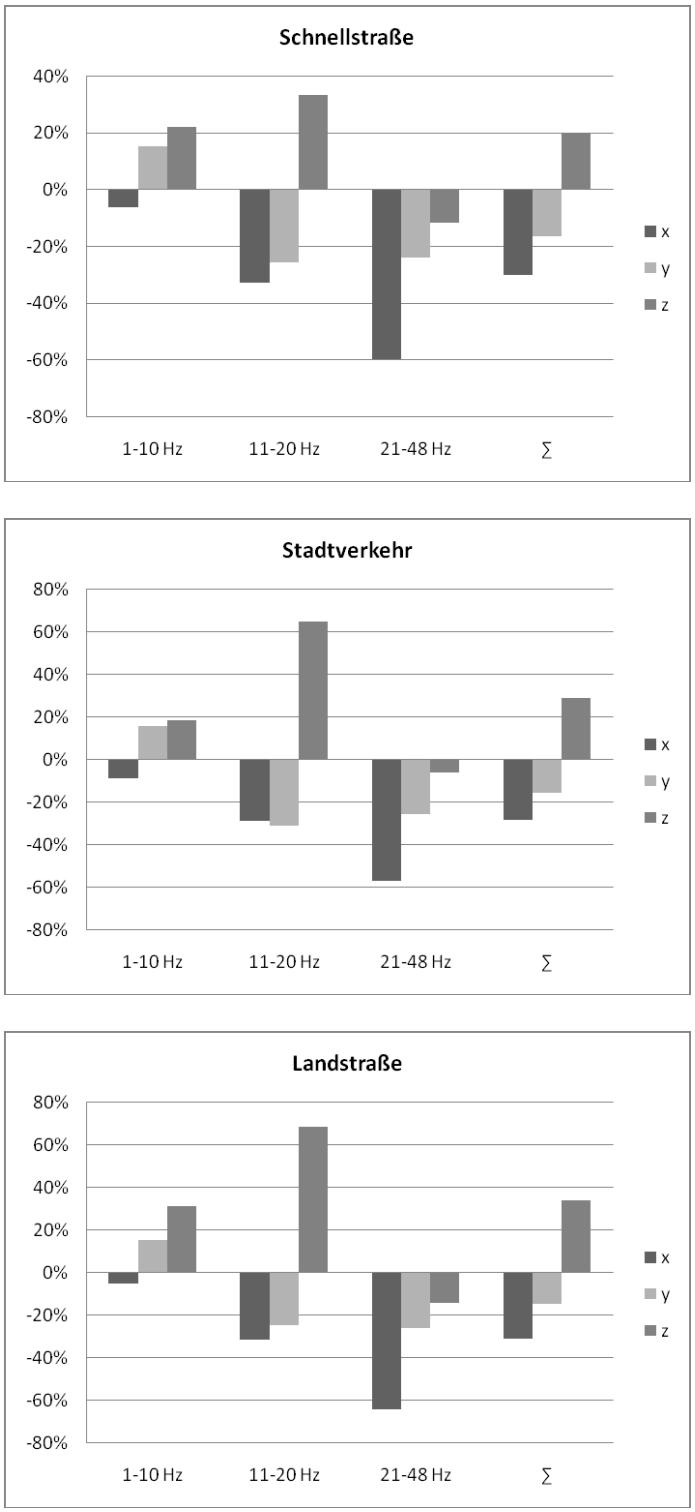


Abb. 27: Übersicht über die relative Schwingungsverstärkung bzw. -dämpfung (in %) durch die Schaumstoffmatte „Confor Foam CF45“ in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Frequenzbändern und den drei Raumachsen bei Versuchsfahrten auf verschiedenen Streckenabschnitten mit dem „DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500“; Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung

In den höheren Frequenzbereichen von *21 bis 48 Hertz* bewirkt das Einlegen der *Confor Foam CF45* in den Patientenraum des Transportinkubators auf allen Streckenabschnitten

eine Dämpfung in den drei Raumachsen. Am effektivsten ist die Dämpfung mit Werten bis -64% in Richtung x-Achse, gefolgt von der y-Achse mit Werten bis -26% und der z-Achse bis -14%.

Über den gesamten erfassten Frequenzbereich kommt es in Summe auf allen Streckenteilen zu einer Dämpfung in Richtung x-Achse (-28 bis -31%), auf welcher an allen Aufnahmepunkten die höchsten Schwingungsbelastungen gemessen wurden. In Richtung der aufgrund wesentlich niedrigerer Vibrationsbelastungen weniger relevanten Raumachsen kommt es zu einer Dämpfung von bis zu -16% auf der y-Achse und einer Schwingungsverstärkung von bis zu +34% auf der z-Achse.

3.2.3 Die zwei Transportinkubatoren im direkten Vergleich

Die simulierten Neugeborenen-Intensivtransporte der zweiten Messreihe wurden mit den zwei getesteten Inkubatoren jeweils auf derselben Versuchsstrecke durchgeführt. Der gewählte Streckenverlauf wird in Kapitel 2.4.2.3 beschrieben.

Um eine Vergleichbarkeit der Beschleunigungsaufzeichnungen bei den zwei Testfahrten mit den Transportinkubatoren *DRÄGER ITI 5400* und *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* zu garantieren, wurde Sensor A als Referenz am Fahrzeugboden montiert.

Die Spektralverteilungen der bei den Versuchsfahrten mit den zwei Inkubatormodellen aufgetretenen mechanischen Schwingungen am Fahrzeugboden waren auf den einzelnen Streckenabschnitten in den jeweiligen Raumachsen nahezu deckungsgleich. Somit wurden beide Transportinkubatoren auf den unterschiedlichen Teilen der Versuchsstrecke Vibrationen ausgesetzt, die ein nahezu gleiches Frequenzspektrum aufweisen.

Zur Vergleichbarkeit der Datensätze wird das Gesamtschwingungsaufkommen am Fahrzeugboden (Referenz-Sensor A) in einer bestimmten Achsenrichtung normiert, und die Werte der Sensoren B und C der jeweiligen Raumachse dazu in Relation gesetzt.

Durch das mathematische Verfahren der *Normierung* ist ein direkter Vergleich der zwei Versuchsfahrten möglich. Somit kann eine eindeutige Aussage darüber getroffen werden,

mit welchem Inkubator auf der Straße schonendere Neugeborenen-Intensivtransporte durchgeführt werden können.

Bei den Versuchsfahrten mit beiden Inkubatoren sind auf allen Streckenabschnitten die Schwingungsbelastungen in Richtung x-Achse um ein Vielfaches höher als jene in den anderen zwei Raumachsen. *Abbildung 28* zeigt beispielhaft die Relationen der Vibrationsbelastungen an unterschiedlichen Aufnahmepunkten bei Testfahrten mit dem *DRÄGER ITI 5400* auf der Schnellstraße.

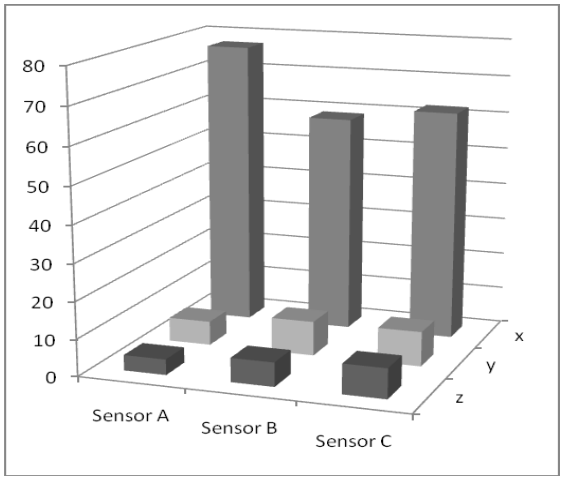


Abb. 28: Säulendiagramm der gesamten (nicht normierten) Schwingungsbelastungen in den drei Raumachsen an den unterschiedlichen Aufnahmepunkten (Sensor A, B, C) mit der Einheit $g^2 10^{-4}$ ($g = 9{,}81\ m/s^2$) bei Versuchsfahrten auf der Schnellstraße mit dem „DRÄGER ITI 5400"; Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung

Aufgrund dieser Größenverhältnisse wird in der Folge beim Vergleich der zwei Transportinkubatoren in erster Linie auf die auftretenden Vibrationsbelastungen in vertikaler Richtung (x-Achse) eingegangen. Alle detaillierten Ergebnisse, auch jene der Raumachsen y und z, findet der Interessierte im Anhang.

3.2.3.1 Schwingungsbelastungen

3.2.3.1.1 Schnellstraße

Die Vibrationsbelastungen bei Versuchsfahrten auf der Schnellstraße mit dem *DRÄGER ITI 5400* und dem *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* werden in *Abbildung 29* in Form

von Säulendiagrammen dargestellt. Hierfür wird bei der Auswertung der Datensätze beider Inkubatoren die Summe aller Schwingungsbelastungen in einer Raumachse am Fahrzeugboden (Referenz-Sensor A) auf 100% normiert und die in den einzelnen Frequenzbändern aufgezeichneten Werte dazu in Relation gesetzt.

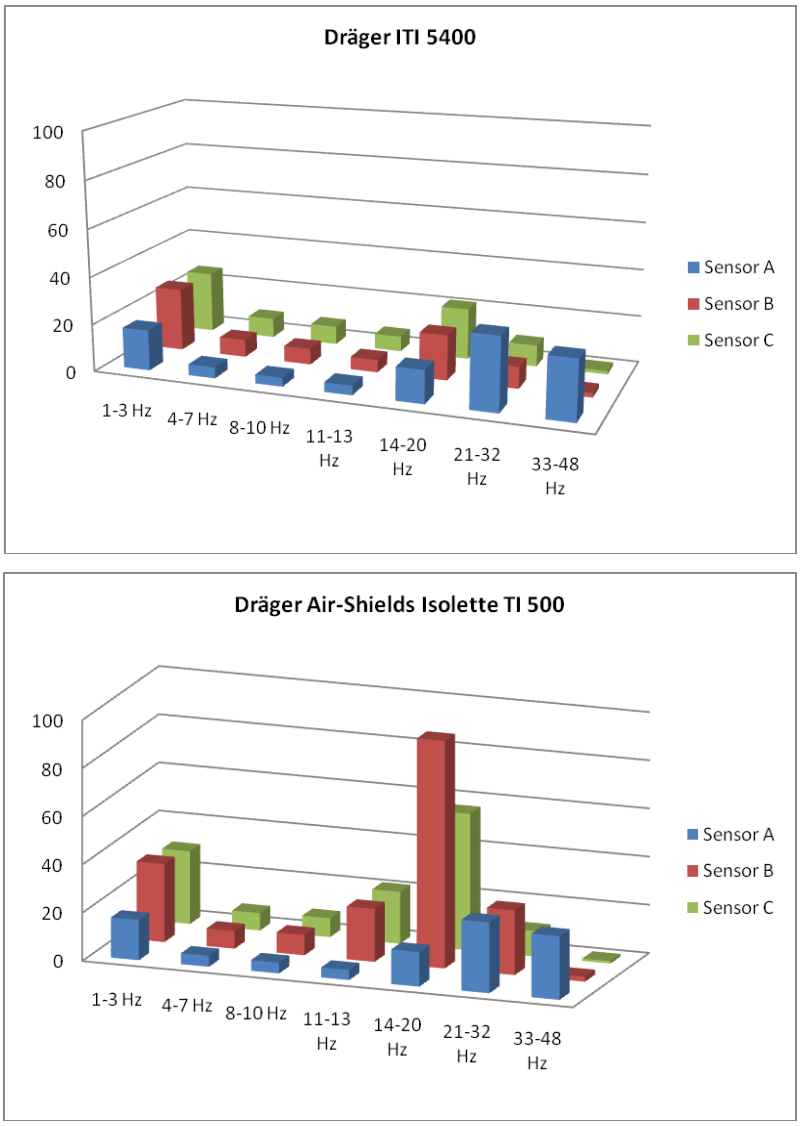


Abb. 29: Vergleichende Darstellung der in Richtung der x-Achse registrierten Schwingungsbelastungen (in %) in verschiedenen Frequenzbereichen an unterschiedlichen Aufnahmepunkten bei Versuchsfahrten auf der Schnellstraße mit dem „DRÄGER ITI 5400“ (oben) und dem „DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500“ (unten)

Die in beiden Diagrammen der *Abbildung 29* in der vorderen Reihe gelegenen blauen Säulen entsprechen den durch Sensor A aufgezeichneten Vibrationsbelastungen in den einzelnen Frequenzbändern. Sie zeigen eine nahezu deckungsgleiche Spektralverteilung

der Schwingungsbelastungen am Fahrzeugboden während der Versuchsfahrten mit den zwei Inkubatoren auf der Schnellstraße.

Aufgrund der Normierung der Messdaten und der sehr ähnlichen Frequenzspektren können die Ergebnisse miteinander verglichen werden.

Insbesondere im Frequenzbereich *14 bis 20 Hertz* zeigen sich beim Vergleich der beiden Transportinkubatoren große Unterschiede: Bei den Versuchsfahrten mit dem *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* tritt am Aufnahmepunkt des Sensors B das 5,8-Fache an Vibrationsbelastungen auf!

Auch in den Frequenzbändern *1 – 3 Hz*, *11 – 13 Hz* und *21 – 32 Hz* sind bei den simulierten Neugeborenen-Intensivtransporten mit dem neueren der beiden Inkubatormodelle deutlich mehr Schwingungsbelastungen zu finden als beim älteren *DRÄGER ITI 5400*.

3.2.3.1.2 Stadtverkehr

Wie *Abbildung 30* zeigt, ist der Unterschied der auftretenden Vibrationsbelastungen in Richtung x-Achse bei den zwei zu testenden Transportinkubatoren im Stadtverkehr sogar noch größer als auf der Schnellstraße.

In den Frequenzbereichen *1 bis 3 Hertz* sowie vor allem *11 bis 32 Hertz* kommt es bei Transporten mit dem *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* im Stadtverkehr zu massiven Erhöhungen der Vibrationsbelastungen. Im Vergleich zu den Messdaten des *DRÄGER ITI 5400* treten in Summe über das gesamte Frequenzspektrum gerechnet beim neueren Modell das 8-Fache an Schwingungsbelastungen auf! In einzelnen Frequenzbändern (14 – 20 Hz) kommt es im Vergleich dazu im Patientenraum des Inkubators (Sensor B) sogar zu einer Steigerung der Vibrationsbelastungen um das 9,4-Fache!

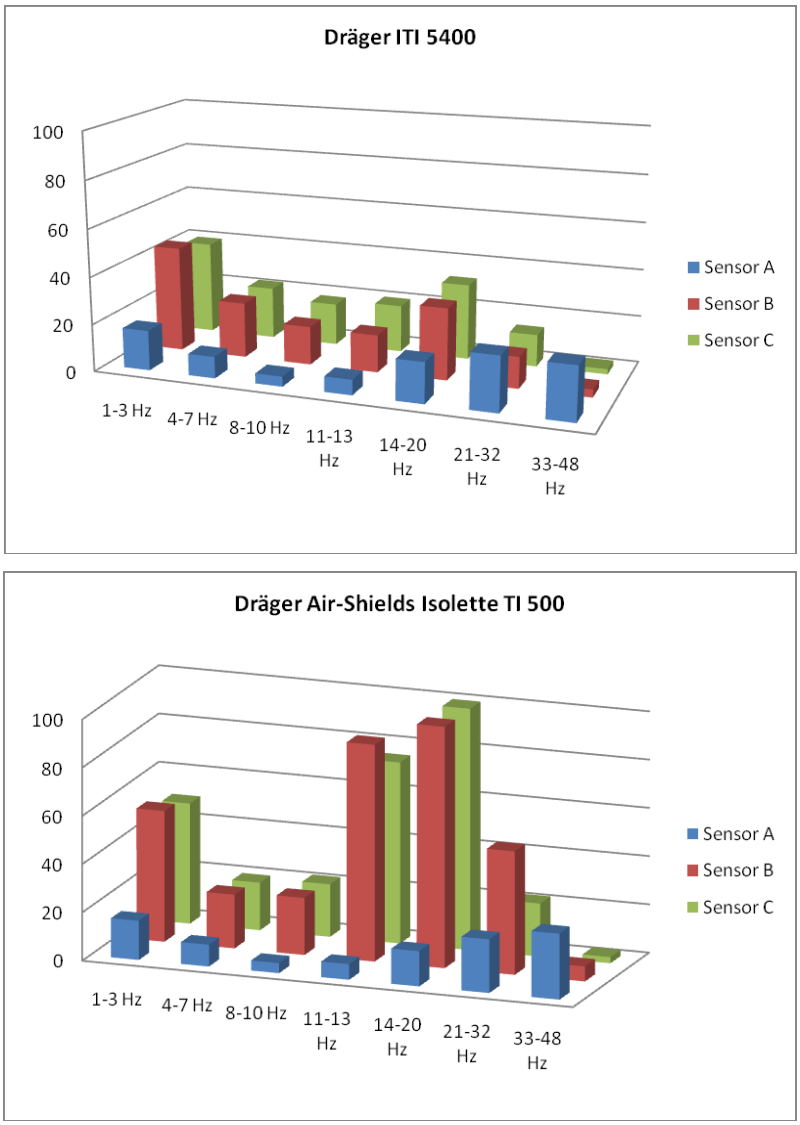


Abb. 30: Vergleichende Darstellung der in Richtung der x-Achse registrierten Schwingungsbelastungen (in %) in verschiedenen Frequenzbereichen an unterschiedlichen Aufnahmepunkten bei Versuchsfahrten im Stadtverkehr mit dem „DRÄGER ITI 5400“ (oben) und dem „DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500“ (unten)

3.2.3.1.3 Landstraße

Die Darstellungen von Versuchsfahrten auf der Landstraße in *Abbildung 31* erinnern stark an die oben präsentierten Ergebnisse der Messungen auf der Schnellstraße.

Im Frequenzbereich von 11 bis 32 Hertz treten bei Messungen mit dem *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* auf der Landstraße in Richtung der x-Achse große Vibrationsbelastungen auf. Im Frequenzband 14 bis 20 Hertz sind die auftretenden Schwingungsbelastungen im Patientenraum des Inkubators (Sensor B) sogar 7-mal so groß wie bei Transporten mit dem *DRÄGER ITI 5400*!

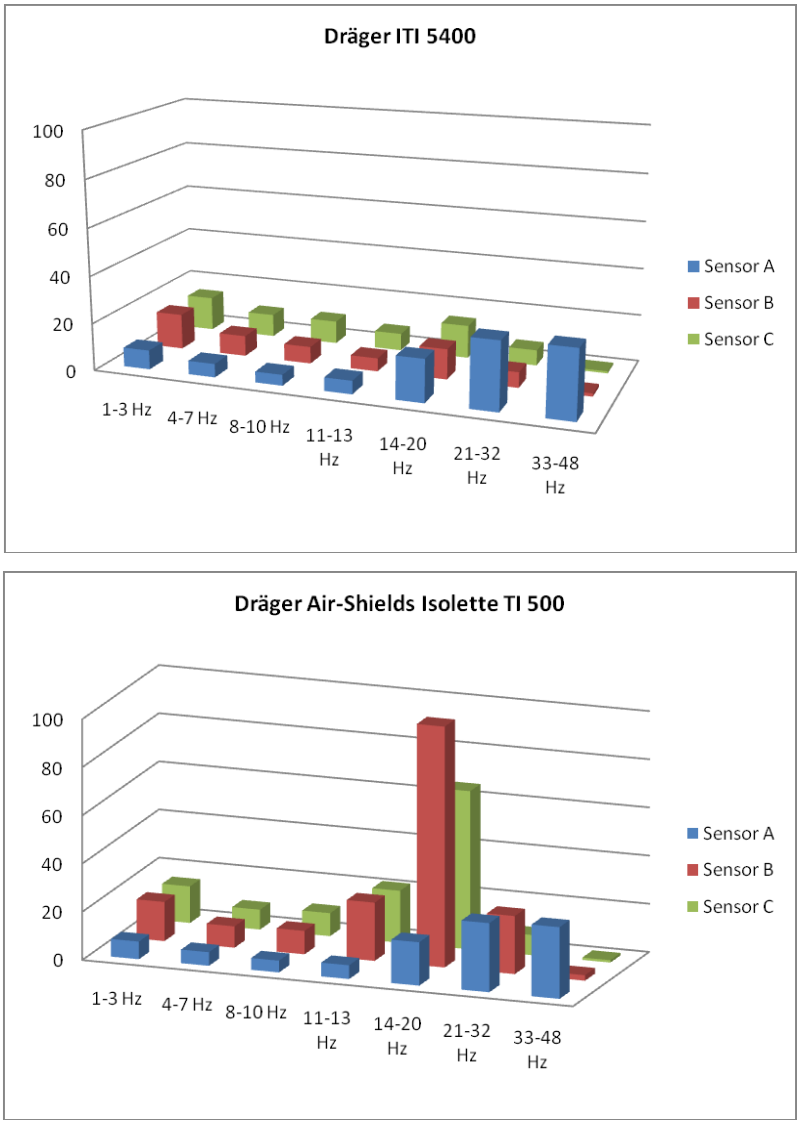


Abb. 31: Vergleichende Darstellung der in Richtung der x-Achse registrierten Schwingungsbelastungen (in %) in verschiedenen Frequenzbereichen an unterschiedlichen Aufnahmepunkten bei Versuchsfahrten auf der Landstraße mit dem „DRÄGER ITI 5400“ (oben) und dem „DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500“ (unten)

3.2.3.2 Maximalbeschleunigungen

Die in den *Tabellen 12 und 13* mit allen drei Sensoren ermittelten Spitzenbeschleunigungen bei Versuchsfahrten mit den beiden Transportinkubatoren auf verschiedenen Streckenabschnitten weisen im Vergleich ebenfalls große Unterschiede auf.

Bei den Beschleunigungsmessungen mit dem *DRÄGER ITI 5400* auf der Schnellstraße wurde der größte Wert mit 0,85 g (8,34 m/s^2), im Stadtverkehr mit 0,70 g (6,87 m/s^2) und auf Landstraßen mit 0,90 g (8,83 m/s^2) aufgezeichnet.

Während simulierter Inkubatortransporte zeigten sich beim *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* Maximalbeschleunigungen von 1,60 g (15,70 m/s^2) auf der Schnellstraße, 1,40 g (13,73 m/s^2) im Stadtverkehr und 1,50 g (14,72 m/s^2) auf der Landstraße. Diese Werte sind bis zu doppelt so groß wie die maximal aufgetretenen Beschleunigungskräfte beim älteren Modell (*DRÄGER ITI 5400*).

3.3 Ergebnisse der dritten Messreihe

Bei der dritten Messreihe wurden interne Inkubatortransporte innerhalb der Mauern des LKH Leoben simuliert und dabei auftretende Beschleunigungskräfte aufgezeichnet. Die Versuchsfahrten erfolgten mit dem *DRÄGER ITI 5400* auf einem spezialangefertigten Rollwagen und mit dem *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* auf dem *Stollenwerk Sonderfahrgestell 2870*. Die Positionierung der Aufnahmesensoren wird im Kapitel 2.4.3.2 erläutert.

Die Beschleunigungsmessungen erfolgten mit jedem der zwei Transportinkubatoren über jeweils etwa 25 Minuten. Die bei internen Transporten im LKH Leoben üblicherweise befahrene Strecke wurde auch für die Versuche der dritten Messreihe ausgewählt und ist in Kapitel 2.4.3.3 detailliert beschrieben.

Die Ergebnisse werden in der Folge für beide Inkubatoren zuerst einzeln aufgeführt; anschließend erfolgt ein direkter Vergleich der Schwingungseigenschaften beider Modelle.

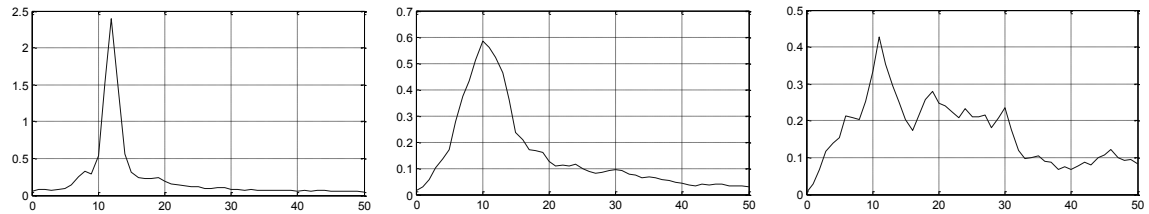
3.3.1 Analyse des Schwingungsverhaltens des *DRÄGER ITI 5400* bei krankenhausinternen Transporten

Auf der gewählten Strecke ist die Benutzung zweier Aufzüge vonnöten, was das mehrmalige Überfahren von Fugen, wie sie bei jeder Lifttüre zu finden sind, erforderlich macht. Dabei wurden die höchsten Beschleunigungskräfte während krankenhausinterner Transporte mit dem *DRÄGER ITI 5400* detektiert. Im Patientenraum des Inkubators wurde von Sensor B unter der Schaumstoffmatte ein Spitzenwert von 0,53 g (5,2 m/s^2) auf der *x-Achse* gemessen; Sensor C auf der *Confor Foam CF45* zeichnete ebenfalls in Vertikalrichtung einen maximalen Wert von 0,50 g (4,91 m/s^2) auf. In Richtung der *y*- und

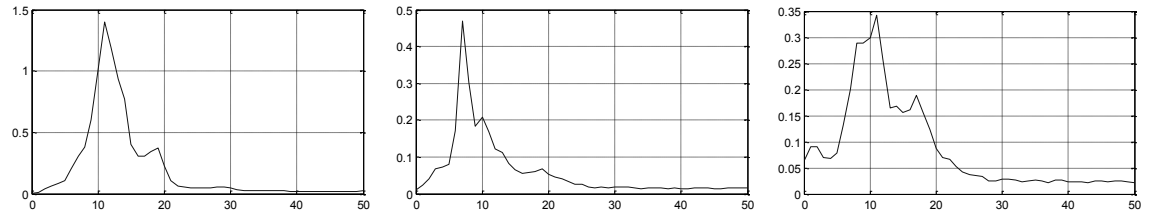
z-Achse wurden die höchsten Werte im Patientenraum sowohl unter als auch auf der Schaumstoffmatte (Sensoren B und C) mit etwa 0,20 g (1,96 m/s^2) aufgezeichnet.

Bezüglich der von den Sensoren B und C aufgezeichneten Spitzenwerte konnten im Vergleich in allen drei Raumachsen keine wesentlichen Unterschiede festgestellt werden. Die Verwendung der Schaumstoffmatte mit den vom Hersteller hochgepriesenen Dämpfungseigenschaften kann die Größe von auftretenden Maximalwerten nicht effektiv beeinflussen.

Sensor A am Fahrgestell des Inkubators (x_1, y_1, z_1):



Sensor B unter der Schaumstoffmatte im Patientenraum des Inkubators (x_2, y_2, z_2):



Sensor C auf der Schaumstoffmatte im Patientenraum des Inkubators (x_3, y_3, z_3):

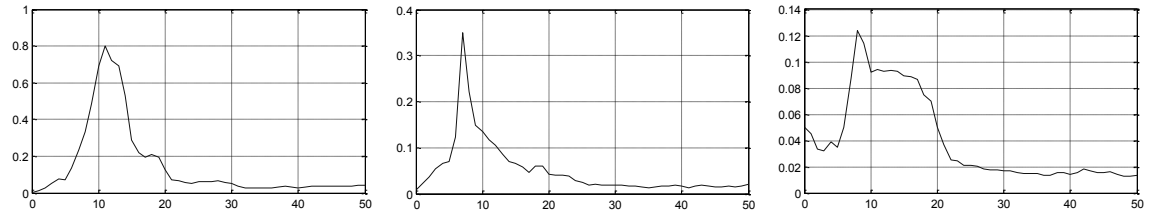


Abb. 32: Frequenzspektren mechanischer Schwingungen in den drei Raumachsen an drei Aufnahmepunkten bei krankenhausinternen Inkubatortransporten auf Krankenhausfluren mit dem „DRÄGER ITI 5400“. Auf der Abszissenachse sind Frequenzen in Hertz aufgetragen; bei den Diagrammen muss die unterschiedliche Skalierung der Ordinatenachsen mit der Einheit $g^2 10^{-4}$ ($g = 9{,}81$ m/s^2) beachtet werden. Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung

In *Abbildung 32* ist zu sehen, dass das Auftreten von mechanischen Schwingungen während interner Inkubatortransporte auf Krankenhausfluren mit dem *DRÄGER ITI 5400*

in allen Achsen im Frequenzbereich zwischen 8 und 15 Hz am größten ist. Die höchsten Vibrationsbelastungen treten bei allen drei Sensoren wieder in der x-Achse auf.

Am Fahrgestell (Sensor A) zeigen sich auf der *x-Achse* hohe Beschleunigungskräfte überwiegend zwischen 11 und 13 Hz. Im Transportinkubator (Sensor B) ist das Auftreten von Schwingungen in diesem Frequenzbereich etwas reduziert (-34%), gleichzeitig steigen aber die Schwingungsbelastungen in den benachbarten Frequenzbereichen zwischen 8 und 10 Hertz und zwischen 14 und 20 Hertz (+82% bzw. +35%). Diese Verschiebung der Vibrationsbelastungen durch Abflachung und Verbreiterung des Gipfels hat die in *Abbildung 33* gezeigte Schwingungsverstärkung auf der x-Achse im Frequenzband 1 bis 10 Hertz zur Folge. In den anderen dort gezeigten Frequenzbändern (11 – 20 Hz bzw. 21 – 48 Hz) kommt es zu einer Dämpfung der mechanischen Schwingungen durch die Bauteile des Inkubators (-15% bzw. -57%).

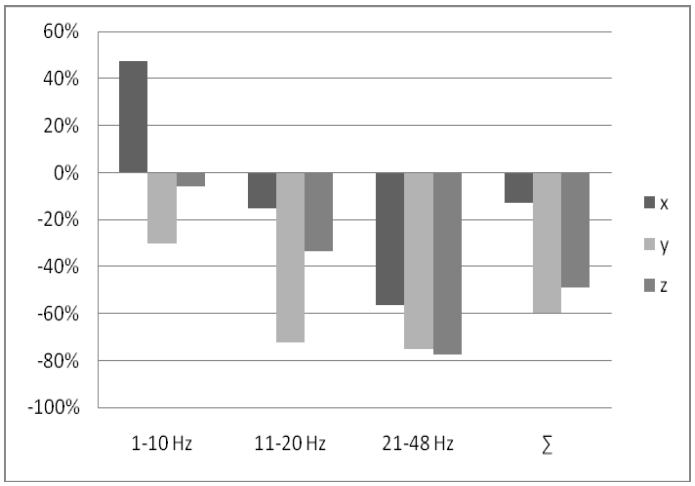


Abb. 33: Übersicht über die relative Schwingungsverstärkung bzw. -dämpfung (in %) zwischen zwei Aufnahmepunkten (Sensor A und B) in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Frequenzbändern und den drei Raumachsen durch den „DRÄGER ITI 5400“ bei internen Inkubatortransporten; Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung

Bei Einsatz der Schaumstoffmatte *Confor Foam CF45* kommt es – wie *Abbildung 34* zeigt – in Richtung der x-Achse zu einer deutlichen Reduzierung von Vibrationen im Frequenzbereich zwischen 1 und 20 Hz. Die zu beobachtende Schwingungsverstärkung bei 21 bis 48 Hertz ist aufgrund der sehr kleinen Absolutwerte nahezu unbedeutend.

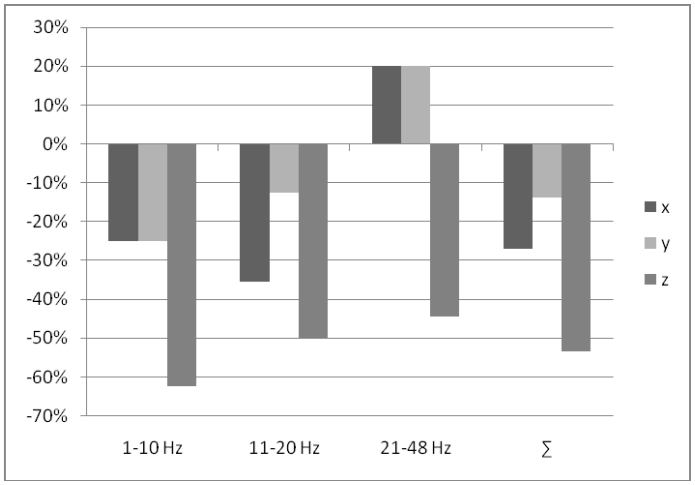


Abb. 34: Übersicht über die relative Schwingungsverstärkung bzw. -dämpfung (in %) durch die Schaumstoffmatte „Confor Foam CF45“ in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Frequenzbändern und den drei Raumachsen bei internen Inkubatortransporten mit dem „DRÄGER ITI 5400“; Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung

Belastungen durch mechanische Schwingungen in Richtung der *y- und z-Achse* spielen nur eine untergeordnete Rolle. Sie entsprechen einem Bruchteil der in Richtung der *x-Achse* auftretenden Werte. Zusätzlich werden die vom Fahrgestell übertragenen Schwingungen vom *DRÄGER ITI 5400* in der y- und z-Achse besonders gut gedämpft (-60% bzw. -49%). Durch die Einlage einer Schaumstoffmatte erfolgt darüber hinaus noch eine weitere Dämpfung der ohnehin schon kleinen Schwingungsbelastungen (-14% bzw. -53%).

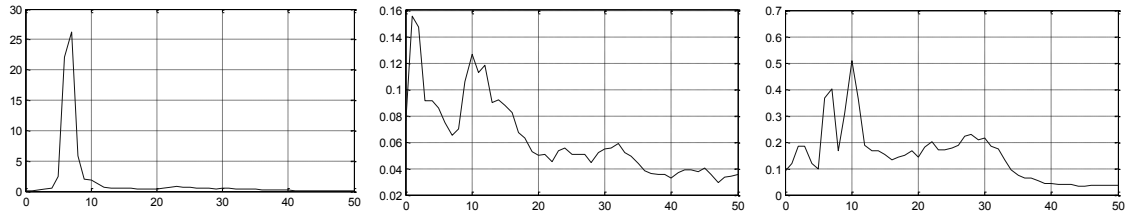
3.3.2 Analyse des Schwingungsverhaltens des *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* bei krankenhausinternen Transporten

Die größten Beschleunigungskräfte während interner Inkubatortransporte mit dem *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* zeigten sich ebenfalls beim Überfahren von Liftschachtfugen. Die auf der x-Achse von den Sensoren B und C gemessenen Spitzenwerte betrugen unter der Schaumstoffmatte 0,81 g (7,95 m/s^2) bzw. auf dieser 0,60 g (5,88 m/s^2).

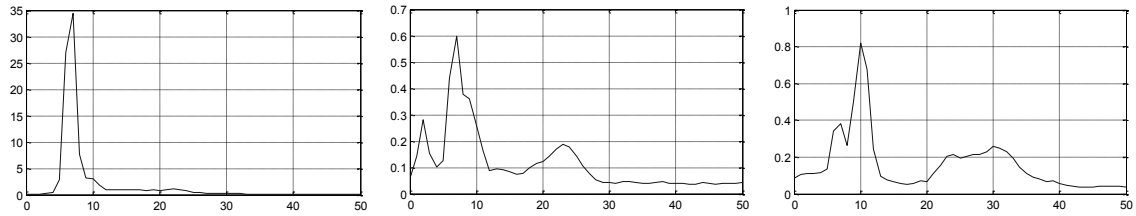
Sensor B zeichnete als höchsten Wert 0,22 g (2,16 m/s^2) auf der y-Achse und 0,32 g (3,14 m/s^2) auf der z-Achse auf, Sensor C 0,24 g (2,35 m/s^2) auf der y-Achse und 0,35 g (3,43 m/s^2) auf der z-Achse.

Die Verwendung des Schaumwerkstoffs *Confor Foam CF45* bei simulierten Inkubatortransporten mit dem *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* kann die Größe der auftretenden Maximalwerte in Richtung der x-Achse vermindern; Spitzenwerte auf der y- und z-Achse bleiben weitgehend unverändert.

Sensor A am Fahrgestell des Inkubators (x_1, y_1, z_1):



Sensor B unter der Schaumstoffmatte im Patientenraum des Inkubators (x_2, y_2, z_2):



Sensor C auf der Schaumstoffmatte im Patientenraum des Inkubators (x_3, y_3, z_3):

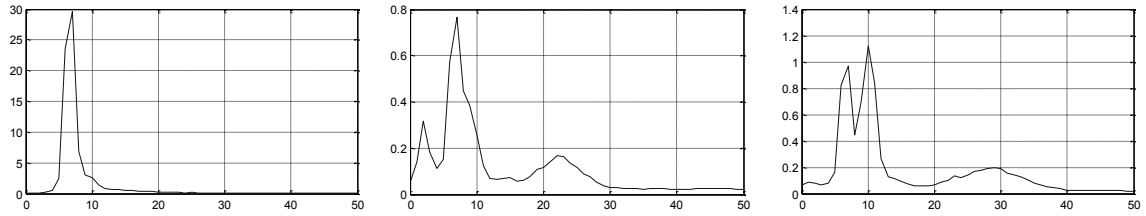


Abb. 35: Frequenzspektren mechanischer Schwingungen in den drei Raumachsen an drei Aufnahmepunkten bei krankenhausinternen Inkubatortransporten auf Krankenhausfluren mit dem „DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500". Auf der Abszissenachse sind Frequenzen in Hertz aufgetragen; bei den Diagrammen muss die unterschiedliche Skalierung der Ordinatenachsen mit der Einheit $g^2 10^{-4}$ ($g = 9{,}81\ m/s^2$) beachtet werden. Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung

Wie die Frequenzspektren in der *Abbildung 35* zeigen, treten mechanische Schwingungen im Patientenraum des Inkubators (Sensor B und C) während interner Inkubatortransporte auf Krankenhausfluren mit dem *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* in Richtung x- und y-Achse hauptsächlich im Frequenzbereich von etwa 7 Hertz auf. Die Spektralverteilung auftretender Erschütterungen in Richtung der z-Achse weist einen zweigipfligen Verlauf mit Spitzen bei 7 und 10 Hertz auf. Die Schwingungsbelastungen in Richtung x-Achse sind

um ein Vielfaches höher als die in den anderen zwei Raumachsen und werden in der Folge detailliert analysiert.

Wie in *Abbildung 35* abzulesen ist, zeigen die Beschleunigungsaufzeichnungen am Fahrgestell in Richtung der Vertikalachse (x-Achse) sehr hohe Werte bei zirka 7 Hertz. Diese werden durch die Bauteile des *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* entsprechend *Abbildung 36* bis in den Innenraum des Transportinkubators noch weiter verstärkt (+27% im Frequenzbereich 1 – 10 Hz). Zu einer massiven Zunahme der Vibrationsbelastungen im Inkubator kommt es auch im Frequenzbereich von 11 bis 20 Hertz (+87%); allerdings dürften sich hier mögliche Auswirkungen aufgrund niedriger Absolutwerte in Grenzen halten. Betrachtet man die Summe aller Schwingungsbelastungen der einzelnen Frequenzbänder in Richtung der x-Achse, verstärkt der *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* die Belastungen durch mechanische Schwingungen im Patientenraum des Inkubators (Sensor B) im Vergleich zu den Beschleunigungsmessungen am Fahrgestell (Sensor A) um 25%!

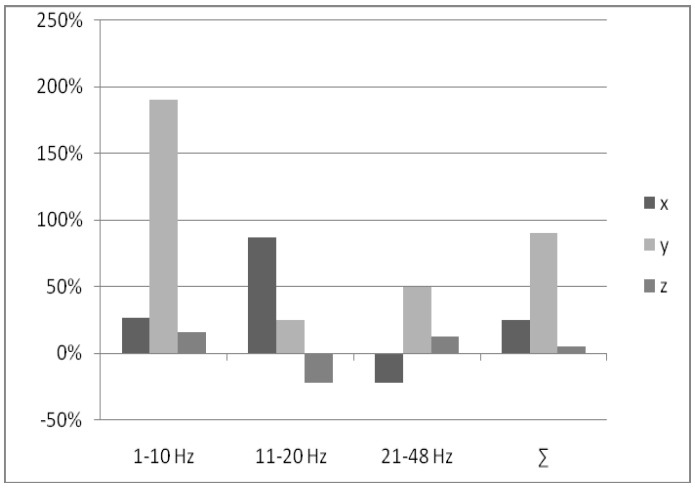


Abb. 36: Übersicht über die relative Schwingungsverstärkung bzw. -dämpfung (in %) zwischen zwei Aufnahmepunkten (Sensor A und B) in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Frequenzbändern und den drei Raumachsen durch den „DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500“ bei internen Inkubatortransporten; Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung

Die Verwendung der *Confor Foam CF45* reduziert Vibrationsbelastungen in Richtung x-Achse entsprechend *Abbildung 37* um insgesamt ca. 19%. Die beste Dämpfung zeigt die Schaumstoffmatte in den höheren Frequenzbereichen von 21 bis 48 Hertz (-69%); eine Reduktion um ca. 12% wird im aufgrund der großen Beschleunigungskräfte besonders relevanten Bereich von 1 bis 10 Hertz beobachtet.

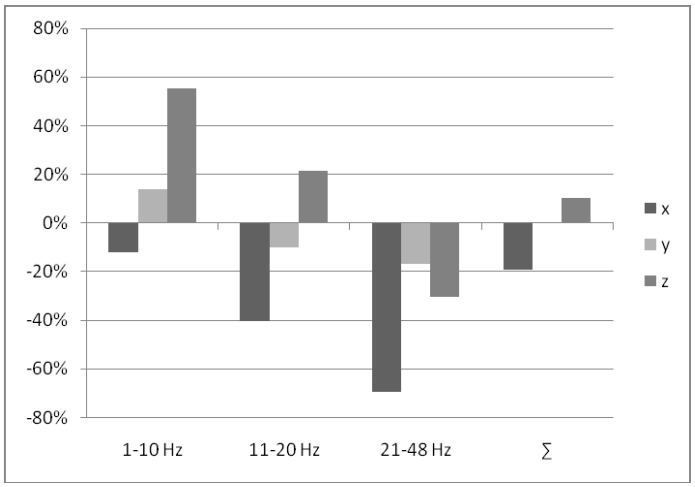


Abb. 37: Übersicht über die relative Schwingungsverstärkung bzw. -dämpfung (in %) durch die Schaumstoffmatte „Confor Foam CF45“ in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Frequenzbändern und den drei Raumachsen bei internen Inkubatortransporten mit dem „DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500“; Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung

Die wesentlich geringeren Werte in Richtung der y- und z-Achse werden an dieser Stelle nicht weiter analysiert. Es wird aber auf die Zusammenstellung aller Ergebnisse im Anhang dieser Arbeit verwiesen.

3.3.3 Die zwei Transportinkubatoren im direkten Vergleich

Aufgrund des Fehlens eines Referenzsensors bedingt durch die Verwendung unterschiedlicher Fahrgestelle ist eine Gegenüberstellung der auftretenden Schwingungsbelastungen bei internen Inkubatortransporten mit dem *DRÄGER ITI 5400* und dem *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* schwierig. Eine exakte Vergleichbarkeit der bei den Versuchsfahrten vorgelegenen Transportbedingungen kann aus diesem Grund nicht vorausgesetzt werden. Die Testfahrten wurden jedoch mit großer Sorgfalt möglichst realitätsnahe durchgeführt, wodurch die erhobenen Messdaten den bei internen Verlegungen üblicherweise auftretenden Linearbeschleunigungen sicherlich sehr nahe kommen.

3.3.3.1 Maximalbeschleunigungen

In *Tabelle 14* werden bei internen Verlegungen mit den zwei Transportinkubatoren auftretende Maximalbeschleunigungen gegenübergestellt.

Tab. 14: Übersicht über die von den Sensoren B und C registrierten Spitzenwerte bei Beschleunigungsmessungen während krankenhausinterner Versuchsfahrten mit dem „DRÄGER ITI 5400“ und dem „DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500“; Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung

		X	**y**	**z**	
DRÄGER ITI 5400	**Sensor B**	0,53 *5,20*	0,19 *1,86*	0,18 *1,77*	[g] *[m/s²]*
	Sensor C	0,50 *4,91*	0,20 *1,96*	0,21 *2,06*	[g] *[m/s²]*
DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500	**Sensor B**	0,81 *7,95*	0,22 *2,16*	0,32 *3,14*	[g] *[m/s²]*
	Sensor C	0,60 *5,89*	0,24 *2,35*	0,35 *3,43*	[g] *[m/s²]*

In der *x-Achse* fallen beim *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* wesentlich höhere maximale Beschleunigungswerte auf. Der von Sensor B gemessene Spitzenwert unter der Schaumstoffmatte ist mit 0,81 g (7,95 m/s^2) um etwa 53% größer als der vergleichbare Wert (0,53 g = 5,2 m/s^2) bei internen Transporten mit dem *DRÄGER ITI 5400*. Der Unterschied der von Sensor C auf dem Schaumwerkstoff gemessenen Maximalwerte ist aber nicht so groß (nur +20%).

Beim Vergleich der Spitzenbeschleunigungen in Richtung der *y-Achse* zeigen sich keine relevanten Unterschiede. Auf der *z-Achse* ist jedoch der höchste gemessene Wert bei internen Transporten mit dem *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* um etwa 77% größer als beim zweiten Modell.

3.3.3.2 Schwingungsbelastungen

Berechnet man die Flächeninhalte unter den Kurven der Frequenzspektren in den *Abbildungen 32 und 35*, erhält man einen Überblick über die auftretenden Schwingungsbelastungen bei internen Verlegungstransporten in Richtung der betreffenden Raumachsen. Vergleicht man die in *Tabelle 15* zusammengefassten Ergebnisse der zwei Inkubatormodelle, zeigen sich große Unterschiede.

Tab. 15: Übersicht über die in Richtung der x-Achse registrierten Schwingungsbelastungen mit der Einheit $g^2 10^{-4}$ ($g = 9{,}81\ m/s^2$) in verschiedenen Frequenzbereichen an drei Aufnahmepunkten (Sensor A, B, C) bei Beschleunigungsmessungen während krankenhausinterner Versuchsfahrten mit dem „DRÄGER ITI 5400“ und dem „DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500“

Dräger ITI 5400								
$[g^2 10^{-4}]$	**1-3 Hz**	**4-7 Hz**	**8-10 Hz**	**11-13 Hz**	**14-20 Hz**	**21-32 Hz**	**33-48 Hz**	**∑**
x_1 (A)	0,2	0,6	1,1	5,3	2,0	1,3	1,0	11,5
x_2 (B)	0,1	0,7	2,0	3,5	2,7	0,6	0,4	10,0
x_3 (C)	0,1	0,5	1,5	2,2	1,8	0,7	0,5	7,3

Dräger Air-Shields Isolette TI 500								
$[g^2 10^{-4}]$	**1-3 Hz**	**4-7 Hz**	**8-10 Hz**	**11-13 Hz**	**14-20 Hz**	**21-32 Hz**	**33-48 Hz**	**∑**
x_1 (A)	0,7	**51,4**	9,8	2,3	3,0	6,3	3,0	**76,5**
x_2 (B)	0,3	**64,4**	13,8	3,5	6,4	6,1	1,1	**95,6**
x_3 (C)	0,4	**56,1**	12,5	2,8	3,1	1,7	0,5	**77,1**

Bei krankenhausinternen Transporten mit dem *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* zeigen sich in Richtung der vertikalen x-Achse bereits am Fahrgestell (Sensor A) sehr hohe Vibrationsbelastungen im Bereich von 4 bis 7 Hertz. Die mechanischen Schwingungen in diesem Frequenzband werden bis in den Patientenraum des Inkubators (Sensor B) noch weiter verstärkt. Damit sind die von Sensor B gemessenen Schwingungsbelastungen zwischen 4 und 7 Hertz 92-mal höher als der vergleichbare Wert bei internen Transporten mit dem *DRÄGER ITI 5400*.

Die Summe der auftretenden Schwingungsbelastungen an den unterschiedlichen Aufnahmepunkten ist in der rechtesten Spalte der Tabelle ablesbar, und ist bei Sensor B bei internen Transporten mit dem *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* fast zehnmal größer als der korrespondierende Wert beim älteren Modell.

3.3.3.3 Schwingungsverhalten

Vergleicht man das Schwingungsverhalten der zwei Transportinkubatoren bei internen Verlegungen anhand der *Abbildungen 33 und 36*, ist eindeutig zu sehen, dass der *DRÄGER ITI 5400* in nahezu allen Frequenzbereichen und Raumachsen Schwingungen reduzieren kann, der *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* aber die ohnehin schon viel höheren Vibrationsbelastungen in vielen Frequenzbereichen und Raumachsen noch verstärkt.

Diese Beobachtungen sind auch in der letzten Spalte der *Tabelle 15* ablesbar. Während die über alle Frequenzbereiche erfassten Schwingungsbelastungen beim *DRÄGER ITI 5400* von Sensor A (Fahrgestell) zu Sensor B (im Inkubator) um 13% abnehmen, steigen sie beim *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* um 25% an.

4 Diskussion

4.1 Diskussion der Fragestellung

Bei neonatologischen Intensivtransporten am LKH Leoben mit dem neu angeschafften *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* wurden vom begleitenden Personal stärkere Vibrationsgeräusche wahrgenommen, als dies im Vergleich dazu bei Einsätzen mit dem älteren Inkubatormodell (*DRÄGER ITI 5400*) der Fall war. Aufgrund dieser Beobachtungen entstand diese Diplomarbeit, die sich zum Ziel setzte, auftretende mechanische Schwingungen bei Versuchsfahrten mit den zwei Inkubatoren zu quantifizieren und anschließend zu vergleichen. Aufgrund des Fehlens von Grenzwerten und Empfehlungen für maximal zu tolerierende Vibrationsbelastungen oder Maximalbeschleunigungen ist die Interpretation von einzelnen Messwerten schwierig, der direkte Vergleich des Schwingungsverhaltens zweier Transportinkubatoren aber von großem Interesse. Auf diese Weise kann eine konkrete Aussage darüber getroffen werden, mit welchem Inkubator unter welchen Umständen schonendere Neugeborenen-Intensivtransporte möglich sind.

Die tiefsten für den Menschen hörbaren Frequenzen liegen bei etwa 16 bis 21 Hertz [168]. Von Interesse sind aber nicht nur Vibrationen jener Frequenzbereiche, die aufgrund der akustischen Wahrnehmbarkeit vom begleitenden Personal als besonders bedrohlich eingestuft werden, sondern auch mechanische Schwingungen in niedrigeren, nicht hörbaren Frequenzbereichen zwischen 3 und 18 Hertz, die als besonders schädlich für kritisch kranke Früh- und Neugeborene gelten [1]. Bei den Beschleunigungsmessungen im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden daher Schwingungen im Frequenzspektrum zwischen 1 und 50 Hertz untersucht.

Peters et al. (1997) sprechen in ihrer Arbeit eine Empfehlung für alle Neugeborenen-Intensivtransportsysteme aus: Jeder in Verwendung befindliche Transportinkubator samt dem zugehörigem Untergestell sowie das Fahrzeug mit dem Tragetisch sollen auf das gemeinsame Schwingungsverhalten getestet und individuelle Lösungen zur Optimierung der Transportbedingungen gesucht werden [167]. Dies unterstreicht die Notwendigkeit der Durchführung von Beschleunigungsmessungen während simulierter Inkubatortransporte am bestehenden System im LKH Leoben. Bei der Suche nach einer geeigneten

Versuchsanordnung wurde eine einfache und leicht reproduzierbare Lösung mit kostengünstigen Messinstrumenten angestrebt, um auch an anderen neonatologischen Abteilungen Beschleunigungsmessungen nach dem Vorbild der für diese Diplomarbeit verwendeten Messanordnung anzuregen.

Viele Autoren betonen in ihren Arbeiten, dass Schwingungsbelastungen für Früh- und Neugeborene während neonatologischer Intensivtransporte bestmöglich reduziert werden sollten [1-8]. Um das Schwingungsverhalten am bestehenden System zu reduzieren, wurde bei zwei Versuchsreihen die Einlage eines Schaumwerkstoffes (*Confor Foam CF45*) unter das Neugeborenenphantom versucht.

4.2 Diskussion der Methodik

4.2.1 Messgrößen

Grenzwerte für gerade noch zulässige Vibrationsbelastungen bei neonatologischen Intensivtransporten gibt es nicht. Dementsprechend schwierig erscheint eine qualitative Bewertung der erhobenen Ergebnisse im Bezug auf Komplikationsrisiken wie z. B. das Auftreten einer intrazerebralen Blutung.

Erschwerend für die Interpretation der Ergebnisse ist des Weiteren, dass viele in der Vergangenheit veröffentlichte Untersuchungsergebnisse zum Teil schwer vergleichbar sind, da zur Beurteilung der Schwingungsbelastungen unterschiedliche Größen herangezogen wurden. Als Belastungsparameter findet man Beschleunigungen mit oder ohne Frequenzbewertung, Effektivbeschleunigungen oder die bewertete Schwingstärke K. Internationale und europäische Normen empfehlen heute die Kennzeichnung der Schwingungseinwirkung durch die frequenzbewertete Effektivbeschleunigung [9, 10]. Überlegungen zur Frequenzbewertung einwirkender mechanischer Schwingungen folgen im nächsten Kapitel.

4.2.2 Frequenzbewertung

Internationale Normen fordern eine Gewichtung von auf den Menschen einwirkenden mechanischen Schwingungen entsprechend ihrer Beanspruchung im jeweils relevanten Frequenzbereich. Es werden unter Berücksichtigung der räumlichen Ausrichtung und der Einleitungsstellen in den menschlichen Körper anhand von frequenzabhängigen Beanspruchungskriterien unterschiedliche Bewertungsfunktionen definiert [9, 10]. Diese Beanspruchungsmodelle stammen aus der Arbeitsmedizin und können wahrscheinlich nicht auf kritisch kranke Früh- oder Neugeborene umgelegt werden. Auf eine Frequenzbewertung in dieser Arbeit wurde mangels entsprechender Bewertungsfunktionen für liegende Früh- und Neugeborene verzichtet.

In der arbeitsmedizinischen Fachliteratur findet man häufig Angaben über Eigenfrequenzen von Organen und Geweben beim erwachsenen Menschen. Es gibt aber nur wenige Aussagen, welche sich mit Resonanzschwingungen in kindlichen Körperteilen beschäftigen. So soll der Schädel des Neugeborenen eine Eigenfrequenz von etwa 10 Hertz besitzen [169]. *Limperopoulos et al.* (2009) führten mittels Magnetresonanztomographie Reihenuntersuchungen an Feten durch und bestimmten das durchschnittliche intrakranielle Volumen, Hirnvolumen und intrakranielle Liquorvolumen im Bezug auf das Gestationsalter [170]. Mit dem Wissen dieser anthropometrischen Größen könnten Modellberechnungen durchgeführt und Versuchsanordnungen konstruiert werden, welche die Entwicklung einer Bewertungsfunktion für auf liegende Früh- und Neugeborene einwirkende mechanische Schwingungen zum Ziel hat.

4.3 Diskussion der Ergebnisse

4.3.1 Ergebnisse beim *DRÄGER ITI 5400*

Die größten Schwingungsbelastungen entlang einer Raumachse wurden bei Inkubatortransporten mit dem *DRÄGER ITI 5400* in vertikaler Richtung (x-Achse) detektiert. Dabei wurden die höchsten Werte bei Versuchsfahrten mit dem Neugeborenen-Intensivtransportwagen auf der Landstraße (86,1 m^2/s^5) beobachtet, gefolgt von Transporten auf der Schnellstraße mit 120 km/h (70,4 m^2/s^5) und im Stadtverkehr

(66 m^2/s^5). Bei 80 km/h auf der Schnellstraße wurden verhältnismäßig kleine Vibrationsbelastungen (16,5 m^2/s^5) gefunden.

Betrachtet man die aufgezeichneten Maximalbeschleunigungen in Richtung der x-Achse auf unterschiedlichen Streckenabschnitten, so wurden die höchsten Werte beim Überfahren von Temposchwellen mit 0,91 g (8,93 m/s^2) und von Dilatationsfugen auf Brücken der S6-Schnellstraße bei 120 km/h mit 0,77 g (7,55 m/s^2) gemessen. Im Stadtverkehr wurden Spitzenwerte von 0,66 g (6,47 m/s^2), auf Landstraßen solche von 0,54 g (5,30 m/s^2) registriert. Beim Überfahren von Dehnungsfugen mit einer reduzierten Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h auf der Schnellstraße wurden mit 0,3 g (2,94 m/s^2) relativ niedrige Werte aufgezeichnet.

Das Wissen über unterschiedlich hohe Beschleunigungsspitzenwerte und Gesamtschwingungsbelastungen auf den verschiedenen Streckenabschnitten könnte auch die Routenwahl bei neonatologischen Intensivtransporten beeinflussen: Der Transport auf Schnellstraßen mit relativ niedriger Geschwindigkeit (z. B. 80 km/h) ist – wo möglich – schonender als jener auf einer Landstraße und sollte daher bevorzugt angestrebt werden. Weitere Überlegungen zu Streckenwahl und Fahrweise des Einsatzfahrers finden sich in Kapitel 4.4.1.

Vibrationsbelastungen und Maximalbeschleunigungen in Richtung y-Achse (quer zur Fahrtrichtung) sind im Vergleich zu jenen in Richtung z-Achse (in Fahrtrichtung) auf allen untersuchten Streckenabschnitten höher ausgefallen. Mit dieser Beobachtung unterscheiden sich die Ergebnisse dieser Diplomarbeit von den Arbeiten anderer Autoren [12, 167, 171], welche bei Schwingungsmessungen mit dem *DRÄGER ITI 5400* ein wesentlich größeres Gesamtschwingungsauftreten auf der z-Achse (in Fahrtrichtung) als auf der y-Achse (quer zur Fahrtrichtung) gefunden haben. In Richtung z-Achse wurden von diesen Autoren sogar höhere maximale Beschleunigungen als auf der vertikalen x-Achse gefunden. Die auffallend hohen Werte in Fahrtrichtung werden durch Nickbewegungen des auf einem angehobenen Schwingtisch (langer Hebelarm) fixierten Inkubators (hoher Schwerpunkt, hohes Gewicht) erklärt [12]. Bei den Testreihen dieser Diplomarbeit wurde der Transportinkubator direkt auf den im Rotkreuzwagen fix montierten Tragetisch geschoben, wodurch sich der Aufbau des *Feder-Masse-Systems*,

bestehend aus Inkubator, Untergestell und Tragetisch, deutlich von jenem der anderen Autoren unterscheidet.

Betrachtet man die durch *Fast Fourier Transformation* gebildeten Frequenzspektren der Versuchsfahrten bei allen untersuchten Straßenabschnitten, fallen in allen Raumachsen im Transportinkubator zwei ausgeprägte Resonanzbereiche zwischen etwa 8 bis 15 Hz und zwischen etwa 15 bis 23 Hz auf. Umso höhere Vibrationsbelastungen über das gesamte Frequenzspektrum auf den unterschiedlichen Streckenteilen gefunden werden, desto größer fallen die Schwingungsintensitäten auch im niedrigeren Frequenzbereich von 8 bis 15 Hz aus.

Beim stehenden Fahrzeug mit laufendem Motor werden am Fahrzeugboden Vibrationen mit einer Spitze bei 28 Hertz registriert, im Inkubator fällt hierbei eine hohe Resonanzspitze bei 14 Hz auf. Auch die vorgenommenen Messungen auf den verschiedenen Streckenabschnitten zeigen vor allem bei hohen Schwingungsbelastungen eine Frequenzanregung des *DRÄGER ITI 5400* in einem Resonanzfeld von ca. 10 bis 14 Hz. Ähnliche Ergebnisse fanden bereits *Boehnisch et al.* (1985) mit hohen Schwingungsintensitäten im Bereich von 12 bis 13 Hz beim Vorgängermodell der *Dräger Medical AG* (*ITI 5300*) und *Speidel* (2008) mit Schwingungsspitzen bei ungefähr 13 Hz beim aktuell vorliegenden Modell [6, 12].

Koch veröffentlichte bereits 1986 als Reaktion auf die Studie von *Boehnisch et al.* (1985) im Auftrag der *Dräger Medical AG* eine Untersuchung, in der die anfängliche Resonanzfrequenz des Inkubators von 12 Hertz durch Einbau eines Federsystems und Versteifung des Tragegestells auf einen etwas tieferen Frequenzbereich von ca. 7 Hertz verschoben werden konnte [169]. Der von der *Abteilung für Kinder- und Jugendliche* am *LKH Leoben* 1994 angeschaffte *DRÄGER ITI 5400* hat in seiner Ausführung offensichtlich nicht von den Ergebnissen von *Koch* profitiert, da der ausgeprägte Resonanzbereich des Inkubators bei den Messungen für diese Diplomarbeit zumindest in der relevanten x-Achse im ungünstigen Bereich zwischen 10 bis 14 Hertz gelegen ist.

4.3.2 Ergebnisse beim *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* und Vergleich der beiden Transportinkubatoren

Vorausgeschickt werden muss, dass in der Literatur keine veröffentlichten Daten zu Beschleunigungsmessungen bei neonatologischen Intensivtransporten mit dem neueren *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* zu finden sind.

Schwingungsbelastungen entlang der vertikalen Raumachse (x-Achse) wurden beim neueren der beiden Inkubatormodelle bei Versuchsfahrten mit dem Rotkreuzwagen auf der Landstraße in der Höhe von 246,9 m^2/s^5, im Stadtverkehr von 230,8 m^2/s^5 und auf der Schnellstraße von 173,7 m^2/s^5 gefunden. Das Gesamtschwingungsaufkommen ist beim *Air-Shields Isolette TI 500* im Vergleich zum älteren der beiden Inkubatormodelle auf einzelnen Straßenabschnitten bis um das 8-Fache erhöht. In einzelnen Frequenzbändern (14 – 20 Hz) kommt es im Stadtverkehr sogar zu einer Steigerung um das 9,4-Fache!

Die höchsten Beschleunigungskräfte wurden in Richtung der vertikalen x-Achse beim Überfahren von Dilatationsfugen auf der Schnellstraße mit 1,60 g (15,70 m/s^2) registriert. Auf der Landstraße wurden Maximalwerte bis 1,50 g (14,72 m/s^2) und im Stadtverkehr solche bis 1,40 g (14,72 m/s^2) gefunden. Diese Werte sind bis zu doppelt so groß wie die vergleichbaren Werte bei Transporten mit dem *DRÄGER ITI 5400*.

Die Gründe für das schlechte Abschneiden dieses Transportinkubators bei den Schwingungsmessungen für diese Diplomarbeit sind vielfältig. Einige Ursachen sollen an dieser Stelle diskutiert werden.

Der Hersteller hebt bei der Beschreibung des *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* auf der Homepage des Unternehmens das im Vergleich zu früheren Modellen besonders niedrige Gewicht (49,2 kg) hervor, was den Umgang mit dem Gerät für das Personal wesentlich erleichtern soll [152]. Während der *DRÄGER ITI 5400* mit etwa 95 kg deutlich schwerer ist, bringt die leichte Bauweise das anderen Modells zwar eine bandscheibenfreundliche Arbeitserleichterung für das Sanitätspersonal, ist aber für das ungünstige Schwingungsverhalten des Inkubators mitverantwortlich zu machen. Optimierte Transportbedingungen für Früh- oder Neugeborene könnten durch das Anbringen von abnehmbaren Gewichten auf dem *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* geschaffen werden.

Um dem Personal das Ausladen des Transportinkubators zu erleichtern, könnten die Gewichte zuvor wieder abgenommen werden.

Beim *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* können die Standbeine des *Stollenwerk Sonderfahrgestells* in eine Position geklappt werden, die das zeitgleiche Einladen des Inkubators in den Rettungswagen ermöglicht. Im Unterschied dazu muss der *DRÄGER ITI 5400* zum Einladen in den Rettungswagen mühsam von dessen Rollwagen gehoben werden, kann auf diese Weise aber direkt auf den Tragetisch geschoben werden. Somit befindet sich beim *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* zwischen dem Untergestell des Inkubators und dem Tragetisch des Fahrzeugs zusätzlich das zusammengeklappte Fahrgestell, welches beim *DRÄGER ITI 5400* fehlt. Diese zusätzliche, zwar arretierte, aber nicht starr verbundene Konstruktion könnte eine weitere Ursache der registrierten Schwingungsverstärkungen sein.

Auch bei den krankenhausinternen Transporten gibt es so wie bei jenen auf der Straße große Unterschiede im Schwingungsverhalten der beiden untersuchten Inkubatoren. Innerklinische Verlegungen werden mit dem *Dräger ITI 5400* auf einem speziell angefertigten Rollwagen durchgeführt. Der augenscheinlichste Unterschied zum Sonderfahrgestell des *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* ist der wesentlich größere Radius der vier Räder. Bei Beschleunigungsmessungen mit dem *Dräger ITI 5400* wurden von Sensor A am Fahrgestell in Bodennähe die höchsten Schwingungsintensitäten bei etwa 11 Hertz registriert; beim *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* lagen die höchsten Amplituden bei etwa 7 Hertz. Die voneinander abweichenden Gipfel des Frequenzspektrums können durch die unterschiedliche Größe der Räder der Fahrgestelle erklärt werden.

Auftretende Spitzenbeschleunigungen auf der relevanten x-Achse (vertikal) sind beim *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* um 53% größer als die vergleichbaren Werte beim älteren Modell. Das Gesamtschwingungsaufkommen ist beim neueren Inkubator 9,5-mal größer als beim *Dräger ITI 5400*. In bestimmten Frequenzbändern unterscheiden sich die Vibrationsbelastungen sogar bis um das 92-Fache! Diese enormen Unterschiede des Schwingungsverhaltens sind bereits beim Vergleich der Messdaten an den Fahrgestellen der beiden Inkubatoren im vollen Ausmaß vorhanden. Das bedeutet, dass die Schwingungsbelastungen im Patientenraum des *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* in

dieser Höhe nicht durch den Inkubator selbst, sondern durch das *Stollenwerk* Fahrgestell verursacht werden.

4.3.3 Diskussion der schwingungsdämpfenden Eigenschaften der *Confor Foam CF45*

In mehreren Arbeiten wurde bereits gezeigt, dass durch den Einsatz von Gelmatten und anderen Matratzen in Transportinkubatoren mechanische Schwingungen effektiv gedämpft werden können [2, 4, 171, 172]. Für diese Diplomarbeit wurde bei der zweiten und dritten Versuchsreihe getestet, ob der Schaumwerkstoff *Confor Foam CF45* Schwingungsbelastungen für transportierte Früh- oder Reifgeborene reduzieren kann.

Bei Transporten mit dem *DRÄGER TI 5400* auf der Straße beeinflusst der Einsatz des Schaumwerkstoffes die auftretenden Maximalbeschleunigungen in ihrer Größe nur minimal (zwischen +5,6% auf der Landstraße bis -9,4% auf der Schnellstraße). Über den gesamten erfassten Frequenzbereich nehmen Schwingungsbelastungen in der vertikalen x-Achse und der in Fahrtrichtung gelegenen z-Achse deutlich zu. Zwischen 1 und 10 Hertz werden Erschütterungen durch den *Confor Foam CF45* in allen Raumachsen verstärkt. In der besonders relevanten x-Achse werden Vibrationen im Frequenzbereich von 11 bis 20 Hertz durch Einlegen der Schaumstoffmatte um bis zu 16% vergrößert! Lediglich im als weniger bedrohlich bewerteten Frequenzbereich von 21 bis 48 Hz werden Schwingungsbelastungen in der x- und auch y-Achse reduziert. Der Einsatz des *Confor Foam CF45* kann daher bei neonatologischen Intensivtransporten mit dem *DRÄGER TI 5400* auf der Straße nicht empfohlen werden!

Der Einsatz des Schaumwerkstoffes brachte bei Inkubatortransporten mi dem *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* jedoch ein deutlich anderes Ergebnis. Die mit sehr hohen Werten registrierten Spitzenbeschleunigungen konnten auf den verschiedenen Streckenabschnitten um 8 bis 19% gesenkt werden. Über das gesamte Frequenzspektrum kommt es auf allen Streckenabschnitten zu einer Dämpfung der Vibrationen in Richtung der relevanten x-Achse. In Richtung der aufgrund wesentlich niedrigerer Vibrationsbelastungen weniger relevanten Raumachsen kommt es zu einer Schwingungsreduktion von bis zu -16% auf der y-Achse und einer Verstärkung von bis zu +34% auf der z-Achse. Aufgrund der effektiven Dämpfung von Schwingungen in Richtung

der Vertikalachse kann der Einsatz des *Confor Foam CF45* bei externen Inkubatortransporten mit dem *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* empfohlen werden!

Abbildung 38 zeigt eine Gegenüberstellung der Dämpfungseigenschaften der Schaumstoffmatte *Confor Foam CF45* bei Versuchsfahrten mit den zwei Transportinkubatoren auf der Schnellstraße. Dabei kann festgestellt werden, dass der Schaumwerkstoff in den niedrigen Frequenzbereichen (1 – 10 Hz) eher schwingungsverstärkend, in den höheren Bereichen (21 – 48 Hz) eher dämpfend wirkt. Des Weiteren finden sich die günstigeren Schwingungseigenschaften in Richtung x- und y-Achse, während Vibrationen in Richtung z-Achse zumeist verstärkt werden.

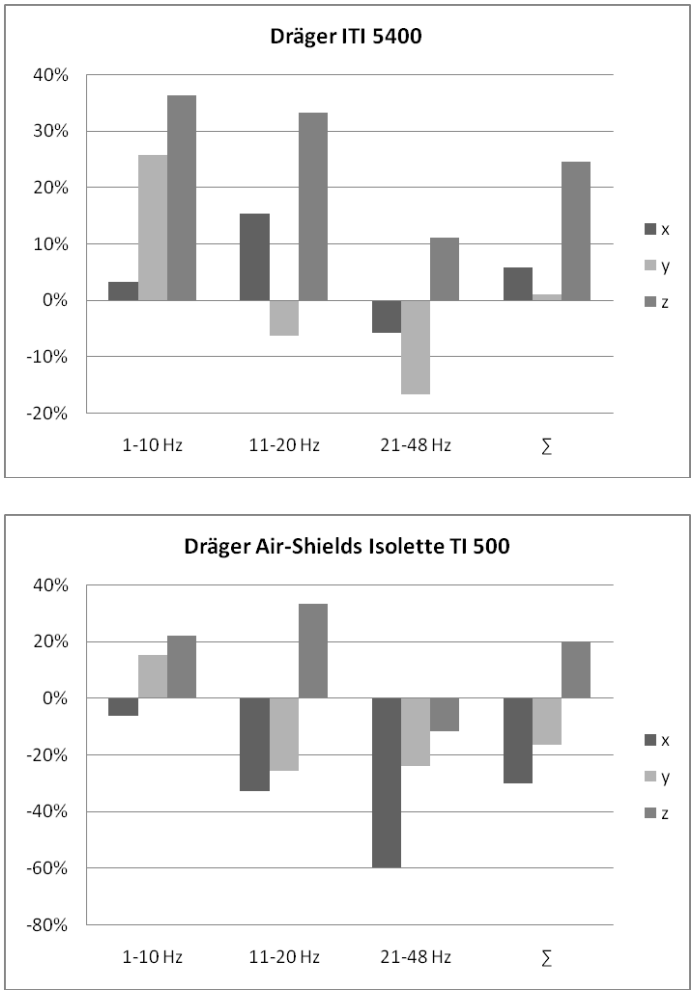


Abb. 38: Übersicht über die relative Schwingungsverstärkung bzw. -dämpfung (in %) durch die Schaumstoffmatte „Confor Foam CF45" in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Frequenzbändern und den drei Raumachsen bei Versuchsfahrten auf der Schnellstraße mit zwei verschiedenen Transportinkubatoren; Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung

Bei den internen Transporten mit dem *DRÄGER TI 5400* kommt es durch den *Confor Foam CF45* über das gesamte Spektrum in Summe zur Dämpfung mechanischer Schwingungen in allen Raumachsen. Die Werte der Spitzenbeschleunigung bleiben weitgehend unbeeinflusst. Der Einsatz des *Confor Foam CF45* bei internen Transporten mit dem *DRÄGER TI 5400* auf dem Rollwagen kann im Gegensatz zum Einsatz bei Transporten mit dem Rotkreuzwagen auf der Straße empfohlen werden!

Bei Inkubatortransporten im Krankenhaus mit dem neueren der beiden Modelle (*DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500*) hingegen findet man Schwingungsdämpfung in Richtung der aufgrund der Höhe der Absolutwerte relevanten x-Achse in allen Frequenzbereichen. Mechanische Schwingungen in Richtung der y-Achse (quer zur Fahrtrichtung) zeigen sich eher unbeeinflusst, in Richtung z-Achse (in Fahrtrichtung) werden verstärkt. Aufgrund der effektiven Dämpfung von Schwingungen in Richtung der x-Achse kann der Einsatz des *Confor Foam CF45* bei krankenhausinternen Inkubatortransporten mit dem *DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* empfohlen werden!

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Verwendung des Schaumwerkstoffes als Dämpfungsmaßnahme unter allen getesteten Transportbedingungen sinnvoll erscheint, mit Ausnahme des Einsatzes bei Inkubatortransporten auf der Straße mit dem *DRÄGER TI 5400*.

4.3.4 Auswirkungen der gewählten Fahrgeschwindigkeit

Bei der Durchführung von Intensivtransporten kritisch kranker Früh- oder Neugeborener werden auf verschiedenen Streckenabschnitten wie Schnellstraßen und Autobahnen mitunter auch relativ hohe Fahrgeschwindigkeiten gewählt. Dies wird mit einem Zeitgewinn bis zum Eintreffen im Zielkrankenhaus begründet. Die Ergebnisse von Beschleunigungsmessungen der ersten Messreihe in Kapitel 3.1.1.1.3 zeigen, wie stark die Fahrgeschwindigkeit das Auftreten von mechanischen Schwingungen auf Schnellstraßen beeinflusst. Das hiermit erworbene Wissen über deutlich erhöhte Schwingungsbelastungen bei einer Fahrgeschwindigkeit von 120 km/h im Vergleich zu 80 km/h sollte zur möglichst schonenden Durchführung aller neonatologischen Intensivverlegungen mit niedrigeren Geschwindigkeiten anregen, vor allem dann, wenn bei Eintreffen in der neonatologischen

Einrichtung keine unmittelbaren Interventionen geplant sind, welche im Notfall nicht auch vor Ort im Intensivtransportwagen durchgeführt werden könnten.

Eine massive Reduktion des Gesamtschwingungsauftretens und der maximalen Schwingungswerte konnte auch *Speidel* (2008) in seiner Dissertation bei Beschleunigungsmessungen mit dem *DRÄGER ITI 5400* auf einer virtuellen Versuchstrecke unter Laborverhältnissen unter Verwendung einer Hydropulsanalage durch Verringerung der Fahrgeschwindigkeit von 85 km/h auf 40 km/h beobachten [12].

Aussagen, wie sie im Krankentransportwesen und Rettungsdienst immer wieder zu hören sind, dass sich Vibrationen, welche beispielsweise beim Überfahren von Dilatationsfugen auf Autobahnbrücken entstehen, durch Wahl einer höheren Geschwindigkeit vermindern ließen, weil das Fahrzeug das Fahrbahnhindernis förmlich überspringen würde, können durch die vorliegenden Ergebnisse nicht bestätigt werden. Je höher die Geschwindigkeit, desto höher sind auch die Vibrationsbelastungen für den transportierten Patienten.

Wie in *Abbildung 15* gezeigt wird, wirkt sich die Wahl einer höheren Geschwindigkeit auf Schnellstraßen vor allem in einer Erhöhung der Schwingungsbelastungen im Frequenzbereich $1 – 20$ Hz aus, der somit größtenteils außerhalb des menschlichen Hörbereiches liegt. Aus diesem Grund kann bei zunehmender Fahrgeschwindigkeit die Erhöhung der Schwingungsbelastungen durch die fehlende bzw. schwach ausgeprägte Zunahme von hörbaren Vibrationen mit dem Gehör nicht wahrgenommen werden. Dies könnte dazu veranlassen, auf eine schonendere Fahrweise mit niedrigerem Fahrtempo zu verzichten.

4.4 Mögliche Maßnahmen zur Reduktion von mechanischen Schwingungen

4.4.1 Schulung von Einsatzfahrern

Der Einsatzfahrer kann bei Neugeborenen-Intensivtransporten mit seiner Fahrweise das Auftreten von mechanischen Schwingungen im Inkubator wesentlich beeinflussen. Wie in Kapitel 3.1.1.1.3 gezeigt wurde, kann beispielsweise die Wahl einer höheren Fahrgeschwindigkeit (120 statt 80 km/h) auf der Schnellstraße Schwingungsbelastungen in

Richtung x-Achse bzw. Vertikalrichtung um das 4,8-Fache erhöhen. Durch Vermeidung von abrupten Abbremsmanövern (wie etwa jenem, das beispielhaft in *Abbildung 22* gezeigt wird) kann das Auftreten von hohen Beschleunigungskräften auch in Fahrtrichtung (z-Achse) weitgehend verhindert werden.

Der ortskundige Einsatzfahrer sollte für die Routenwahl Streckeneigenschaften wie die Kurvenhäufigkeit oder die zu erwartende Verkehrsdichte sowie den Zustand des Fahrbahnbelages berücksichtigen. Solche Streckenabschnitte, auf welchen bei Versuchsfahrten nachweislich hohe Vibrationsbelastungen aufgetreten sind, wie beispielsweise bei Bodenschwellen oder Bahnübergängen (Kapitel 3.1.2) sind tunlichst zu vermeiden.

Um der Problematik der auftretenden Schwingungsbelastungen bei Inkubatortransporten gerecht zu werden, wären neben der bei Rettungsorganisationen üblichen theoretischen und praktischen Einsatzfahrer-Ausbildung mit Fahrsicherheitstraining zusätzlich *Kurse zum Erlernen einer vibrationsarmen Fahrweise* wünschenswert. Der in Kapitel 2.1 beschriebene Versuchsaufbau sowie die Datenerfassung und -analyse nach den Vorgaben des Kapitels 2.2 könnten in Zukunft bei Ausbildungsfahrten Anwendung finden. Die Auswertung von Schwingungsmessungen könnte jeden einzelnen Fahrzeuglenker auf ganz individuelle Situationen im Straßenverkehr sensibilisieren, bei welchen es zu hohen Beschleunigungskräften im Inkubator gekommen war.

4.4.2 Schwingungsreduzierende Maßnahmen

In der Literatur werden von vielen Autoren Maßnahmen zur Reduktion von mechanischen Schwingungen beschrieben [2, 4, 12, 167, 169, 171-173], um kritisch kranke Früh- oder Neugeborene vor zu hohen Vibrationsbelastungen zu schützen. Schwingungsreduzierende Adaptationen können prinzipiell jeden einzelnen Bauteil des Fahrzeugs oder des Transportinkubators betreffen und sind in einer großen finanziellen Bandbreite von billig bis sehr teuer vorstellbar. Alle Materialien müssen als Einheit verstanden und auf ihr gemeinsames Schwingungsverhalten getestet werden, um ein mögliches Zusammenfallen von Fahrzeugresonanz- und Inkubator-Eigenfrequenz aufzudecken.

4.4.2.1 Federsysteme von Kraftfahrzeugen

Die Automobilindustrie beschäftigt sich seit vielen Jahren intensiv mit Fahrwerken und Federsystemen, die das Auftreten von mechanischen Schwingungen möglichst klein halten sollen. Die meisten Rettungsfahrzeuge sind heutzutage noch mit *Schraubenfedern* und Stoßdämpfern ausgestattet. Eine für Neugeborenen-Intensivtransportwagen sehr gut geeignete, aber teure Alternative stellen Fahrzeuge mit einer *pneumatischen Federung* dar. Die für Inkubatortransporte eingesetzten Krankenwagen sollten aufgrund des günstigeren Schwingungsverhaltens möglichst schwer sein und außerdem einen großen Radstand aufweisen [6, 171, 173].

Eine revolutionäre Entwicklung in der Fahrwerkstechnik der *Bose Corporation*, Framingham, Massachusetts, USA, könnte in Zukunft auf allen Rettungsfahrzeugen, insbesondere auf allen Neugeborenen-Intensivtransportwagen, zu finden sein. Federn und Dämpfer werden bei sog. *aktiven Fahrwerken* durch elektromagnetische Linearmotoren ersetzt, die durch Heben und Senken der Räder praktisch in Echtzeit auf Fahrbahnunebenheiten wie Schlaglöcher und Bodenwellen reagieren können und diese fast zur Gänze kompensieren, ohne dass mechanische Schwingungen auf die Karosserie übertragen werden [174].

4.4.2.2 Einbaurichtung von Transportinkubatoren

Ein vieldiskutiertes Thema bei neonatologischen Intensivtransporten ist die Frage nach der optimalen *Einbaurichtung des Transportinkubators*. Vorausgeschickt werden muss, dass bislang noch keine Studie veröffentlicht wurde, in welcher das Schwingungsverhalten von Inkubatoren bei unterschiedlicher Ausrichtung (quer zur Fahrtrichtung oder in derselben) unter standardisierten Bedingungen verglichen worden wäre.

Einige Autoren haben bei Inkubatortransporten ein größeres Auftreten mechanischer Schwingungen in Fahrtrichtung (z-Achse) als quer dazu auf der y-Achse nachweisen können. Daraus wurde abgeleitet, dass der Einbau von Inkubatoren parallel zu den Fahrzeugachsen eine Reduktion der Schwingungsbelastungen für transportierte Früh- oder Reifgeborene bewirken würde [12, 167, 171, 173]. Bei den auf der Straße durchgeführten Versuchsfahrten für diese Diplomarbeit wurde auf behutsames Bremsen und

Beschleunigen (wie bei Realtransporten üblich) geachtet und dabei erreicht, dass im Unterschied zu den oben erwähnten Beobachtungen anderer Autoren Linearbeschleunigungen in Richtung z-Achse im Vergleich zu jenen der y-Achse kleinere Werte angenommen haben. Weitere Untersuchungen zu dieser Thematik sind dringend erforderlich.

Der Einbau des Inkubators quer zur Fahrtrichtung genau in der Mitte zwischen den beiden Fahrzeugachsen erscheint aus folgenden Überlegungen sinnvoll: Im Vergleich zum heute noch immer häufig exzentrisch in Fahrtrichtung gelegenen Inkubator – links hinten im für Erwachsenentransporte ausgerichteten Rettungswagen – sind in der Fahrzeugmitte besonders in der hochbelasteten vertikalen Richtung (x-Achse) geringere Beschleunigungskräfte zu erwarten. Dieses Phänomen kennt jeder Busreisender vom Sitzen in der letzten Reihe.

Ein im deutschsprachigen Raum neu in den Dienst gestellter Neugeborenen-Intensivtransportwagen (vielerorts auch *Baby-NAW* genannt) wird heutzutage üblicherweise mit einem quer zur Fahrtrichtung eingebauten Tragetisch ausgestattet [173]. Bislang wurden aber keine Ergebnisse von Schwingungsmessungen bei Versuchsfahrten mit parallel zu den Fahrzeugachsen ausgerichteten Transportinkubatoren veröffentlicht.

4.4.2.3 Schwingtische

Peters et al. (1991) und *Speidel* (2008) haben *pneumatisch gefederte Schwingtische* mit nicht gefederten Systemen verglichen und dabei deutlich geringere Schwingungsbelastungen im Inkubator gefunden. Die Autoren fordern in ihren Arbeiten die Weiterentwicklung und den vermehrten Einsatz von sog. *aktiven Federsystemen* für Schwingtische, welche die auftretenden mechanischen Schwingungen registrieren und prozessorgesteuert darauf reagieren können [12, 167].

4.4.2.4 Transportinkubatoren

Die Herstellerfirmen sind angehalten, möglichst schwingungsarme Transportinkubatoren auf den Markt zu bringen. Es ist nicht akzeptabel, wenn ein neueres Modell bei simulierten

Neugeborenen-Intensivtransporten wesentlich schlechtere Ergebnisse erzielt als ein älteres Modell.

Verbesserungen des Schwingungsverhaltens von bereits eingesetzten Transportinkubatoren können durch Verschiebung der Eigenfrequenz mittels einfacher und kostengünstiger Maßnahmen erzielt werden. Beispielsweise sind Adaptationen wie Versteifungen von Bauteilen, der Einbau von Federn oder Dämpfsystemen, die Fixation von Zusatzgeräten, der Austausch von (Verschleiß-) Materialien, das Beschweren des Inkubators und andere denkbar. Der Nutzen von strukturellen Veränderungen am Gerät muss in der Folge immer bei gemeinsamen Testmessungen von Inkubator, Tragetisch und Fahrzeug überprüft werden. Die Optimierung des Schwingungsverhaltens des gesamten Systems sollte nicht nur nach Neunschaffung, sondern auch später in regelmäßigen Abständen erfolgen, um Abnutzung und Verschleiß verschiedenster Materialien aufzudecken und ggf. den Austausch bzw. Modifikationen zu veranlassen [4, 12, 167].

Eine weitere leicht durchzuführende Maßnahme ist die Einlage einer Matratze direkt unter das Früh- oder Reifgeborene. Wie in Kapitel 4.3.3 bereits beschrieben, können durch den Einsatz von Gelmatten und ähnlichen Unterlagen mechanische Vibrationen in Transportinkubatoren effektiv reduziert werden [2, 4, 171, 172].

4.4.3 Monitoring von mechanischen Schwingungen

Die bei Inkubatortransporten auftretenden mechanischen Vibrationen werden von einigen Autoren als Risikofaktor für die Entstehung von intrazerebralen Blutungen bei Früh- und Neugeborenen angeführt [1, 6, 7, 15-19]. *Mohamed et al.* (2010) konnten in ihrer Arbeit eine Korrelation zwischen der Durchführung von neonatologischen Intensivtransporten und der Häufigkeit des Auftretens bzw. des Schweregrades von intraventrikulären Blutungen zeigen [18]. Trotz dieser veröffentlichten Ergebnisse gibt es bislang keine Berichte über den routinemäßigen Einsatz von Beschleunigungsaufnehmern bei Neugeborenen-Intensivtransporten, welche – mit Alarmfunktion ausgestattet – beim Auftreten hoher Schwingungsbelastungen Warnsignale aussenden und auf diese Weise durch Rückmeldung an den Einsatzfahrer dessen Fahrweise beeinflussen können.

Wie bereits im Kapitel 2.2 beschrieben wurde, könnte man die für diese Diplomarbeit verwendeten Sensoren im *iPod touch* in Kombination mit bereits existierender Software als kontinuierliches Schwingungsmonitoring während neonataler Intensivtransporte einsetzen. Der Fahrzeuglenker könnte beim Auftreten potenziell schädlicher Vibrationen im Inkubator durch ein akustisches und optisches Signal gewarnt werden und daraufhin mit Änderungen der Fahrgeschwindigkeit und des Fahrstils oder mit Wahl einer erschütterungsärmeren Alternativstrecke reagieren.

Die medizintechnische Industrie wäre gefordert, Geräte auf den Markt zu bringen, welche die Schwingungen bei neonatologischen Intensivtransporten kontinuierlich aufzeichnen, die oben beschriebene Alarmfunktion besitzen und die Messdaten auch langfristig speichern können, um retrospektive Datenauswertungen zu ermöglichen. Diese Produkte sollten auch bei bestehenden Systemen möglichst einfach in den Patientenraum von Inkubatoren eingebaut werden können. Bei einer möglichst flächendeckenden Einführung solcher Geräte könnten eventuell bestehende Korrelationen zwischen der Inzidenz oder dem Schweregrad von intraventrikulären Blutungen und den auftretenden Schwingungsbelastungen bestimmter Frequenzbereiche oder den registrierten Maximal-beschleunigungen festgestellt werden. Diese Daten könnten dann dazu verwendet werden, um bislang fehlende Empfehlungen für maximal tolerierbare Belastungen durch mechanische Schwingungen zu formulieren.

Abkürzungsverzeichnis

ARGE	*Arbeitsgemeinschaft*
Abb.	*Abbildung*
DEGUM	*Deutsche Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin*
FA	*Facharzt*
g	*Erdbeschleunigung (9,81 m/s^2)*
IVH	*Intraventrikuläre Hämorrhagie*
KAGes	*Steiermärkische Krankenanstaltengesellschaft m. b. H.*
LKH	*Landeskrankenhaus*
NAW	*Notarztwagen*
ÖGfPPM	*Österreichische Gesellschaft für prä- und perinatale Medizin*
ÖSG 2008	*Österreichischer Strukturplan Gesundheit 2008 (herausgegeben vom Österreichischen Bundesministerium für Gesundheit)*
PVH	*Periventrikuläre Hämorrhagie*
SSW	*Schwangerschaftswoche*
Tab.	*Tabelle*
WLAN	*Wireless Local Area Network*

Anmerkung: Abkürzungen von Einheiten jener physikalischen Größen, die im *Internationalen Einheitensystem* (*Système international d'unités*) berücksichtigt werden, sind in diesem Verzeichnis nicht angeführt.

Abbildungsverzeichnis

ABB. 1: INZIDENZ INTRAVENTRIKULÄRER BLUTUNGEN (IN PROZENT) IN ABHÄNGIGKEIT VOM GEBURTSGEWICHT (IN GRAMM)..... 5

ABB. 2: DER NEUGEBORENEN-INTENSIVTRANSPORTWAGEN DER BEZIRKSSTELLE LEOBEN DES ÖSTERREICHISCHEN ROTEN KREUZES 30

ABB. 3: DER TRANSPORTINKUBATOR „DRÄGER ITI 5400“ AUF SEINEM ROLLWAGEN 31

ABB. 4: DER TRANSPORTINKUBATOR „DRÄGER AIR-SHIELDS ISOLETTE TI 500“ AUF EINEM FAHRGESTELL DER STOLLENWERK U. CIE. GMBH..... 32

ABB. 5: DIE REANIMATIONSPUPPE „LAERDAL RESUSCI BABY“ ALS MANNEQUIN AUF DER SCHAUMSTOFFMATTE „CONFOR FOAM CF45“ IM TRANSPORTINKUBATOR „DRÄGER ITI 5400“ WÄHREND EINER VERSUCHSFAHRT 35

ABB. 6: SCREENSHOTS DER IPOD TOUCH-APPLIKATION „ISEISMOGRAPH“. A: ECHTZEIT-AKZELEROGRAMM. B: EINSTELLUNGSOPTIONEN. C: FREQUENZSPEKTRUM DER VORGENOMMENEN SCHWINGUNGSMESSUNGEN 38

ABB. 7: GRAFISCHE DARSTELLUNG DER BEI SIMULIERTEN INKUBATORTRANSPORTEN AUFGEZEICHNETEN SCHWINGUNGEN MIT DER SOFTWARE „G.BSANALYZE 3.0“. DIE NEUN ABGEBILDETEN KANÄLE ENTSPRECHEN BESCHLEUNIGUNGSAUFNAHMEN VON DREI SENSOREN AN UNTERSCHIEDLICHEN PUNKTEN IM FAHRZEUG MIT JEWEILS DREI RAUMACHSEN. AUF DER ABSZISSENACHSE IST DIE ZEIT IN SEKUNDEN, AUF DER ORDINATENACHSE DIE BESCHLEUNIGUNG IN G (9,81 M/S^2) AUFGETRAGEN. 40

ABB. 8: DAS BIODYNAMISCHE KOORDINATENSYSTEM DES MENSCHLICHEN KÖRPERS NACH ISO 8727:1997 BEI UNTERSCHIEDLICHEN KÖRPERHALTUNGEN 42

ABB. 9: DIE RAUMACHSEN (X, Y, Z) IN BEZUG AUF DEN BESCHLEUNIGUNGSSENSOR „LIS331DL“ (A) UND DEN „IPOD TOUCH“ (B)..... 43

ABB. 10: BEISPIELHAFTE DARSTELLUNG EINES FREQUENZSPEKTRUMS MITTELS FAST FOURIER TRANSFORMATION (FFT). AUF DER ABSZISSENACHSE SIND FREQUENZEN ZWISCHEN 3 UND 50 HERTZ, AUF DER ORDINATENACHSE DIE AMPLITUDEN IM BETREFFENDEN FREQUENZBEREICH ABLESBAR. IN DIESEM BEISPIEL ZEIGEN SCHWINGUNGEN ZWISCHEN 17 UND 22 HZ DIE HÖCHSTEN AMPLITUDEN IN DER DEFINIERTEN RAUMACHSE. DIE ORDINATENACHSE MIT DER EINHEIT $G^2 10^{-4}$ ($G = 9{,}81\ M/S^2$) WIRD BEI DER AUSWERTUNG DER DATEN DURCH DAS PROGRAMM „G.BSANALYZE 3.0“ AUTOMATISCH SKALIERT UND IST NICHT VERÄNDERBAR. 44

ABB. 11: BEISPIELHAFTE DARSTELLUNG EINER WAVELETS-TRANSFORMATION. DIE ABSZISSENACHSE ENTSPRICHT DER ZEITACHSE IN SEKUNDEN, DIE ORDINATENACHSE ENTHÄLT INFORMATIONEN ÜBER DIE FREQUENZBEREICHE DER AUFTRETENDEN VIBRATIONEN IN HERTZ, DIE FARBLICHE KENNZEICHNUNG SPIEGELT DIE AMPLITUDENAUSSCHLÄGE DER BESCHLEUNIGUNGSAUFZEICHNUNGEN IN ZUNEHMENDER GRÖßE VON BLAU NACH ROT WIDER. DAS BEISPIEL ZEIGT, DASS BEIM ÜBERFAHREN EINER UNEBENHEIT AM AUFNAHMEPUNKT FÜR ETWA 0,2 SEKUNDEN SCHWINGUNGEN VON HOHER INTENSITÄT IM FREQUENZBEREICH ZWISCHEN 20 UND 30 HERTZ IN EINER DEFINIERTEN RAUMACHSE AUSGELÖST WERDEN. 45

ABB. 12: FREQUENZSPEKTREN MECHANISCHER SCHWINGUNGEN IN DEN DREI RAUMACHSEN AN DREI AUFNAHMEPUNKTEN IM FAHRZEUG BEI CA. 80 KM/H AUF DER SCHNELLSTRAßE BEI VERSUCHSFAHRTEN MIT DEM „DRÄGER ITI 5400“. AUF DER ABSZISSENACHSE SIND FREQUENZEN IN HERTZ AUFGETRAGEN; BEI DEN DIAGRAMMEN MUSS DIE UNTERSCHIEDLICHE SKALIERUNG DER ORDINATENACHSEN MIT DER EINHEIT $G^2 10^{-4}$ ($G = 9{,}81\ M/S^2$) BEACHTET WERDEN. AUSRICHTUNG DER ACHSEN IM RAUM: X: VERTIKAL, Y: QUER ZUR FAHRTRICHTUNG, Z: IN FAHRTRICHTUNG 54

ABB. 13: FREQUENZSPEKTREN MECHANISCHER SCHWINGUNGEN IN DEN DREI RAUMACHSEN AN DREI AUFNAHMEPUNKTEN IM FAHRZEUG BEI CA. 120 KM/H AUF DER SCHNELLSTRAßE BEI VERSUCHSFAHRTEN MIT DEM „DRÄGER ITI 5400“. AUF DER ABSZISSENACHSE SIND FREQUENZEN IN HERTZ AUFGETRAGEN; BEI DEN DIAGRAMMEN MUSS DIE UNTERSCHIEDLICHE SKALIERUNG DER ORDINATENACHSEN MIT DER EINHEIT $G^2 10^{-4}$ ($G = 9{,}81\ M/S^2$) BEACHTET WERDEN. AUSRICHTUNG DER ACHSEN IM RAUM: X: VERTIKAL, Y: QUER ZUR FAHRTRICHTUNG, Z: IN FAHRTRICHTUNG 55

ABB. 14: VERGLEICH DER SCHWINGUNGSBELASTUNGEN MIT DER EINHEIT $G^2 10^{-4}$ ($G = 9{,}81\ M/S^2$) IN DEN DREI RAUMACHSEN AN UNTERSCHIEDLICHEN AUFNAHMEPUNKTEN IM GESAMTEN

FREQUENZSPEKTRUM BEI 80 BZW. 120 KM/H AUF DER SCHNELLSTRAßE BEI VERSUCHSFAHRTEN MIT DEM „DRÄGER ITI 5400“; SENSOR A AM FAHRZEUGBODEN (X_1, Y_1, Z_1), SENSOR B AM UNTERGESTELL DES INKUBATORS (X_2, Y_2, Z_2) UND SENSOR C IM TRANSPORTINKUBATOR (X_3, Y_3, Z_3); AUSRICHTUNG DER ACHSEN IM RAUM: X: VERTIKAL, Y: QUER ZUR FAHRTRICHTUNG, Z: IN FAHRTRICHTUNG 56

ABB. 15: VERGLEICH DER FREQUENZBÄNDER DER AUFTRETENDEN SCHWINGUNGSBELASTUNGEN IM „DRÄGER ITI 5400“ (SENSOR C) BEI 80 BZW. 120 KM/H AUF DER SCHNELLSTRAßE IN RICHTUNG X-ACHSE MIT DER EINHEIT $G^2 10^{-4}$ ($G = 9{,}81\ M/S^2$) 57

ABB. 16: FREQUENZSPEKTREN MECHANISCHER SCHWINGUNGEN IN DEN DREI RAUMACHSEN AN DREI AUFNAHMEPUNKTEN IM FAHRZEUG BEI VERSUCHSFAHRTEN IM STADTVERKEHR MIT DEM „DRÄGER ITI 5400“. AUF DER ABSZISSENACHSE SIND FREQUENZEN IN HERTZ AUFGETRAGEN; BEI DEN DIAGRAMMEN MUSS DIE UNTERSCHIEDLICHE SKALIERUNG DER ORDINATENACHSEN MIT DER EINHEIT $G^2 10^{-4}$ ($G = 9{,}81\ M/S^2$) BEACHTET WERDEN. AUSRICHTUNG DER ACHSEN IM RAUM: X: VERTIKAL, Y: QUER ZUR FAHRTRICHTUNG, Z: IN FAHRTRICHTUNG 58

ABB. 17: FREQUENZSPEKTREN MECHANISCHER SCHWINGUNGEN IN DEN DREI RAUMACHSEN AN DREI AUFNAHMEPUNKTEN IM FAHRZEUG BEI VERSUCHSFAHRTEN AUF LANDSTRAßEN MIT DEM „DRÄGER ITI 5400“. AUF DER ABSZISSENACHSE SIND FREQUENZEN IN HERTZ AUFGETRAGEN; BEI DEN DIAGRAMMEN MUSS DIE UNTERSCHIEDLICHE SKALIERUNG DER ORDINATENACHSEN MIT DER EINHEIT $G^2 10^{-4}$ ($G = 9{,}81\ M/S^2$) BEACHTET WERDEN. AUSRICHTUNG DER ACHSEN IM RAUM: X: VERTIKAL, Y: QUER ZUR FAHRTRICHTUNG, Z: IN FAHRTRICHTUNG 59

ABB. 18: FREQUENZSPEKTREN MECHANISCHER SCHWINGUNGEN IN DEN DREI RAUMACHSEN AN DREI AUFNAHMEPUNKTEN IM FAHRZEUG BEIM STEHENDEN FAHRZEUG MIT LAUFENDEM MOTOR BEI TESTMESSUNGEN MIT DEM „DRÄGER ITI 5400“. AUF DER ABSZISSENACHSE SIND FREQUENZEN IN HERTZ AUFGETRAGEN; BEI DEN DIAGRAMMEN MUSS DIE UNTERSCHIEDLICHE SKALIERUNG DER ORDINATENACHSEN MIT DER EINHEIT $G^2 10^{-4}$ ($G = 9{,}81\ M/S^2$) BEACHTET WERDEN. AUSRICHTUNG DER ACHSEN IM RAUM: X: VERTIKAL, Y: QUER ZUR FAHRTRICHTUNG, Z: IN FAHRTRICHTUNG 60

ABB. 19: DER AUSSCHNITT EINES AKZELEROGRAMMS ZEIGT EINE CA. 90 SEKUNDEN DAUERNDE VERSUCHSFAHRT MIT DEM „DRÄGER ITI 5400“ BEI BESONDERS SCHLECHTEN STRAßENVERHÄLTNISSEN. DIE NEUN ABGEBILDETEN KANÄLE ENTSPRECHEN IN IHRER

Reihenfolge von oben nach unten den Beschleunigungsaufnahmen der Sensoren A (X_1, Y_1, Z_1), B (X_2, Y_2, Z_2) und C (X_3, Y_3, Z_3). Auf der Abszissenachse ist die Zeit in Sekunden, auf der Ordinatenachse die Beschleunigung aufgetragen. Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung 61

Abb. 20: Graphische Darstellung einer Wavelet-Transformation der auftretenden transienten Schwingungen beim Überfahren eines Bahnüberganges mit dem „DRÄGER ITI 5400“. Die neun abgebildeten Grafiken entsprechen in ihrer Reihenfolge von oben nach unten den Beschleunigungsaufnahmen der Sensoren A (X_1, Y_1, Z_1), B (X_2, Y_2, Z_2) und C (X_3, Y_3, Z_3). Die Abszissenachse entspricht der Zeitachse in Sekunden, die Ordinatenachse enthält Informationen über die Frequenzbereiche der auftretenden Vibrationen in Hertz, die farbliche Kennzeichnung spiegelt die Beschleunigung in zunehmender Größe von blau nach rot wider. Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung 63

Abb. 21: Graphische Darstellung einer Wavelet-Transformation der auftretenden transienten Schwingungen beim Überfahren einer Dehnungsfuge einer Brücke bei etwa 120 km/h mit dem „DRÄGER ITI 5400“. Die neun abgebildeten Grafiken entsprechen in ihrer Reihenfolge von oben nach unten den Beschleunigungsaufnahmen der Sensoren A (X_1, Y_1, Z_1), B (X_2, Y_2, Z_2) und C (X_3, Y_3, Z_3). Die Abszissenachse entspricht der Zeitachse in Sekunden, die Ordinatenachse enthält Informationen über die Frequenzbereiche der auftretenden Vibrationen in Hertz, die farbliche Kennzeichnung spiegelt die Beschleunigung in zunehmender Größe von blau nach rot wider. Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung 65

Abb. 22: Ausschnitt eines Akzelerogramms bei Versuchsfahrten mit dem „DRÄGER ITI 5400“. Über eine Dauer von etwa 2,25 Sekunden werden die beim Überfahren einer Temposchwelle gemessenen Linearbeschleunigungen dargestellt. Die neun abgebildeten Kanäle entsprechen in ihrer Reihenfolge von oben nach unten den Beschleunigungsaufnahmen der Sensoren A (X_1, Y_1, Z_1), B (X_2, Y_2, Z_2) und C (X_3, Y_3, Z_3). Durch schwarze Rechtecke wurde ein Abbremsmanöver vor dem eigentlichen Fahrbahnhindernis in den z-Achsen markiert. Auf der Abszissenachse ist die Zeit in Sekunden, auf der Ordinatenachse die Beschleunigung aufgetragen.

Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung 66

Abb. 23: Graphische Darstellung einer Wavelet-Transformation der auftretenden transienten Schwingungen beim Überfahren einer Bodenschwelle mit dem „DRÄGER ITI 5400“. Die neun abgebildeten Grafiken entsprechen in ihrer Reihenfolge von oben nach unten den Beschleunigungsaufnahmen der Sensoren A (x_1, y_1, z_1), B (x_2, y_2, z_2) und C (x_3, y_3, z_3). Die Abszissenachse entspricht der Zeitachse in Sekunden, die Ordinatenachse enthält Informationen über die Frequenzbereiche der auftretenden Vibrationen in Hertz, die farbliche Kennzeichnung spiegelt die Beschleunigung in zunehmender Größe von blau nach rot wider. Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung 67

Abb. 24: Frequenzspektren mechanischer Schwingungen in den drei Raumachsen an zwei Aufnahmepunkten bei Versuchsfahrten auf der Landstraße mit dem „DRÄGER ITI 5400“. Auf der Abszissenachse sind Frequenzen in Hertz aufgetragen; bei den Diagrammen muss die unterschiedliche Skalierung der Ordinatenachsen mit der Einheit $g^2 10^{-4}$ ($g = 9{,}81\ m/s^2$) beachtet werden. Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung 71

Abb. 25: Übersicht über die relative Schwingungsverstärkung bzw. -dämpfung (in %) durch die Schaumstoffmatte „Confor Foam CF45“ in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Frequenzbändern und den drei Raumachsen bei Versuchsfahrten auf verschiedenen Streckenabschnitten mit dem „DRÄGER ITI 5400“; Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung 73

Abb. 26: Frequenzspektren mechanischer Schwingungen in den drei Raumachsen an drei Aufnahmepunkten bei Versuchsfahrten auf der Schnellstraße mit dem „DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500“. Auf der Abszissenachse sind Frequenzen in Hertz aufgetragen; bei den Diagrammen muss die unterschiedliche Skalierung der Ordinatenachsen mit der Einheit $g^2 10^{-4}$ ($g = 9{,}81\ m/s^2$) beachtet werden. Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung 76

ABB. 27: ÜBERSICHT ÜBER DIE RELATIVE SCHWINGUNGSVERSTÄRKUNG BZW. -DÄMPFUNG (IN %) DURCH DIE SCHAUMSTOFFMATTE „CONFOR FOAM CF45“ IN ABHÄNGIGKEIT VON DEN UNTERSCHIEDLICHEN FREQUENZBÄNDERN UND DEN DREI RAUMACHSEN BEI VERSUCHSFAHRTEN AUF VERSCHIEDENEN STRECKENABSCHNITTEN MIT DEM „DRÄGER AIR-SHIELDS ISOLETTE TI 500“; AUSRICHTUNG DER ACHSEN IM RAUM: X: VERTIKAL, Y: QUER ZUR FAHRTRICHTUNG, Z: IN FAHRTRICHTUNG 78

ABB. 28: SÄULENDIAGRAMM DER GESAMTEN (NICHT NORMIERTEN) SCHWINGUNGSBELASTUNGEN IN DEN DREI RAUMACHSEN AN DEN UNTERSCHIEDLICHEN AUFNAHMEPUNKTEN (SENSOR A, B, C) MIT DER EINHEIT $G^2 10^{-4}$ ($G = 9{,}81\ M/S^2$) BEI VERSUCHSFAHRTEN AUF DER SCHNELLSTRAßE MIT DEM „DRÄGER ITI 5400“; AUSRICHTUNG DER ACHSEN IM RAUM: X: VERTIKAL, Y: QUER ZUR FAHRTRICHTUNG, Z: IN FAHRTRICHTUNG 80

ABB. 29: VERGLEICHENDE DARSTELLUNG DER IN RICHTUNG DER X-ACHSE REGISTRIERTEN SCHWINGUNGSBELASTUNGEN (IN %) IN VERSCHIEDENEN FREQUENZBEREICHEN AN UNTERSCHIEDLICHEN AUFNAHMEPUNKTEN BEI VERSUCHSFAHRTEN AUF DER SCHNELLSTRAßE MIT DEM „DRÄGER ITI 5400“ (OBEN) UND DEM „DRÄGER AIR-SHIELDS ISOLETTE TI 500“ (UNTEN) 81

ABB. 30: VERGLEICHENDE DARSTELLUNG DER IN RICHTUNG DER X-ACHSE REGISTRIERTEN SCHWINGUNGSBELASTUNGEN (IN %) IN VERSCHIEDENEN FREQUENZBEREICHEN AN UNTERSCHIEDLICHEN AUFNAHMEPUNKTEN BEI VERSUCHSFAHRTEN IM STADTVERKEHR MIT DEM „DRÄGER ITI 5400“ (OBEN) UND DEM „DRÄGER AIR-SHIELDS ISOLETTE TI 500“ (UNTEN) 83

ABB. 31: VERGLEICHENDE DARSTELLUNG DER IN RICHTUNG DER X-ACHSE REGISTRIERTEN SCHWINGUNGSBELASTUNGEN (IN %) IN VERSCHIEDENEN FREQUENZBEREICHEN AN UNTERSCHIEDLICHEN AUFNAHMEPUNKTEN BEI VERSUCHSFAHRTEN AUF DER LANDSTRAßE MIT DEM „DRÄGER ITI 5400“ (OBEN) UND DEM „DRÄGER AIR-SHIELDS ISOLETTE TI 500“ (UNTEN) 84

ABB. 32: FREQUENZSPEKTREN MECHANISCHER SCHWINGUNGEN IN DEN DREI RAUMACHSEN AN DREI AUFNAHMEPUNKTEN BEI KRANKENHAUSINTERNEN INKUBATORTRANSPORTEN AUF KRANKENHAUSFLUREN MIT DEM „DRÄGER ITI 5400“. AUF DER ABSZISSENACHSE SIND FREQUENZEN IN HERTZ AUFGETRAGEN; BEI DEN DIAGRAMMEN MUSS DIE UNTERSCHIEDLICHE SKALIERUNG DER ORDINATENACHSEN MIT DER EINHEIT $G^2 10^{-4}$ ($G = 9{,}81$

m/s^2) beachtet werden. Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung 86

Abb. 33: Übersicht über die relative Schwingungsverstärkung bzw. -dämpfung (in %) zwischen zwei Aufnahmepunkten (Sensor A und B) in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Frequenzbändern und den drei Raumachsen durch den „DRÄGER ITI 5400“ bei internen Inkubatortransporten; Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung 87

Abb. 34: Übersicht über die relative Schwingungsverstärkung bzw. -dämpfung (in %) durch die Schaumstoffmatte „Confor Foam CF45“ in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Frequenzbändern und den drei Raumachsen bei internen Inkubatortransporten mit dem „DRÄGER ITI 5400“; Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung 88

Abb. 35: Frequenzspektren mechanischer Schwingungen in den drei Raumachsen an drei Aufnahmepunkten bei krankenhausinternen Inkubatortransporten auf Krankenhausfluren mit dem „DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500“. Auf der Abszissenachse sind Frequenzen in Hertz aufgetragen; bei den Diagrammen muss die unterschiedliche Skalierung der Ordinatenachsen mit der Einheit g^{2}10^{-4} (g = 9,81 m/s^2) beachtet werden. Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung 89

Abb. 36: Übersicht über die relative Schwingungsverstärkung bzw. -dämpfung (in %) zwischen zwei Aufnahmepunkten (Sensor A und B) in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Frequenzbändern und den drei Raumachsen durch den „DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500“ bei internen Inkubatortransporten; Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung 90

Abb. 37: Übersicht über die relative Schwingungsverstärkung bzw. -dämpfung (in %) durch die Schaumstoffmatte „Confor Foam CF45“ in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Frequenzbändern und den drei Raumachsen bei internen Inkubatortransporten mit dem „DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500“; Ausrichtung der Achsen im Raum: x: vertikal, y: quer zur Fahrtrichtung, z: in Fahrtrichtung 91

ABB. 38: ÜBERSICHT ÜBER DIE RELATIVE SCHWINGUNGSVERSTÄRKUNG BZW. -DÄMPFUNG (IN %) DURCH DIE SCHAUMSTOFFMATTE „CONFOR FOAM CF45“ IN ABHÄNGIGKEIT VON DEN UNTERSCHIEDLICHEN FREQUENZBÄNDERN UND DEN DREI RAUMACHSEN BEI VERSUCHSFAHRTEN AUF DER SCHNELLSTRAßE MIT ZWEI VERSCHIEDENEN TRANSPORTINKUBATOREN; AUSRICHTUNG DER ACHSEN IM RAUM: X: VERTIKAL, Y: QUER ZUR FAHRTRICHTUNG, Z: IN FAHRTRICHTUNG 103

Tabellenverzeichnis

TAB. 1: DIE KLASSIFIKATION DER HIRNBLUTUNG BEIM FRÜHGEBORENEN NACH L. A. PAPILE ET AL. 8

TAB. 2: DIE KLASSIFIKATION DER HIRNBLUTUNG BEIM FRÜHGEBORENEN DER DEGUM 8

TAB. 3: FOLGEN EINER PERI- UND INTRAVENTRIKULÄREN BLUTUNG BEI FRÜHGEBORENEN 9

TAB. 4: STUFEN DER PERINATOLOGISCHEN VERSORGUNG IN ÖSTERREICH 20

TAB. 5: VERLEGUNG VON NEUGEBORENEN AN EINE NEONATOLOGISCHE ABTEILUNG IN DER STEIERMARK (LKH GRAZ UND LEOBEN) 24

TAB. 6: POSTNATALE INTENSIVTRANSPORTE VON NEUGEBORENEN AUF DIE NEONATOLOGISCHE INTENSIVSTATION IM LKH LEOBEN IN DEN JAHREN 2002 BIS 2008 25

TAB. 7: EMPFEHLUNGEN DER STEIERMÄRKISCHEN KAGES FÜR INDIKATIONEN ZUR TRANSFERIERUNG VON NEUGEBORENEN AN EINE NEONATOLOGISCHE ABTEILUNG 26

TAB. 8: TECHNISCHE DATEN DES NEUGEBORENEN-INTENSIVTRANSPORTWAGENS LAUT ZULASSUNGSSCHEIN 29

TAB. 9: ÜBERBLICK ÜBER DIE WICHTIGSTEN TECHNISCHEN DATEN DES TRANSPORTINKUBATORS „DRÄGER ITI 5400“ 31

TAB. 10: ÜBERBLICK ÜBER DIE WICHTIGSTEN TECHNISCHEN DATEN DES TRANSPORTINKUBATORS „DRÄGER AIR-SHIELDS ISOLETTE TI 500“ 33

TAB. 11: ÜBERBLICK ÜBER DIE WICHTIGSTEN TECHNISCHEN DATEN DER VERWENDETEN DREI-ACHSEN-LINEARBESCHLEUNIGUNGSSENSOREN IN DER VORLIEGENDEN KONFIGURATION 37

TAB. 12: ÜBERSICHT ÜBER DIE VON DEN SENSOREN B UND C REGISTRIERTEN SPITZENWERTE BEI BESCHLEUNIGUNGSMESSUNGEN WÄHREND VERSUCHSFAHRTEN AUF UNTERSCHIEDLICHEN STRECKENABSCHNITTEN MIT DEM „DRÄGER ITI 5400“; AUSRICHTUNG DER ACHSEN IM RAUM: X: VERTIKAL, Y: QUER ZUR FAHRTRICHTUNG, Z: IN FAHRTRICHTUNG 70

TAB. 13: ÜBERSICHT ÜBER DIE VON DEN SENSOREN A, B UND C REGISTRIERTEN SPITZENWERTE BEI BESCHLEUNIGUNGSMESSUNGEN WÄHREND VERSUCHSFAHRTEN AUF UNTERSCHIEDLICHEN STRECKENABSCHNITTEN MIT DEM „DRÄGER AIR-SHIELDS ISOLETTE TI 500“; AUSRICHTUNG DER ACHSEN IM RAUM: X: VERTIKAL, Y: QUER ZUR FAHRTRICHTUNG, Z: IN FAHRTRICHTUNG 74

TAB. 14: ÜBERSICHT ÜBER DIE VON DEN SENSOREN B UND C REGISTRIERTEN SPITZENWERTE BEI BESCHLEUNIGUNGSMESSUNGEN WÄHREND KRANKENHAUSINTERNER VERSUCHSFAHRTEN MIT DEM „DRÄGER ITI 5400“ UND DEM „DRÄGER AIR-SHIELDS ISOLETTE TI 500“; AUSRICHTUNG DER ACHSEN IM RAUM: X: VERTIKAL, Y: QUER ZUR FAHRTRICHTUNG, Z: IN FAHRTRICHTUNG 92

TAB. 15: ÜBERSICHT ÜBER DIE IN RICHTUNG DER X-ACHSE REGISTRIERTEN SCHWINGUNGSBELASTUNGEN MIT DER EINHEIT $G^2 10^{-4}$ ($G = 9{,}81\ M/S^2$) IN VERSCHIEDENEN FREQUENZBEREICHEN AN DREI AUFNAHMEPUNKTEN (SENSOR A, B, C) BEI BESCHLEUNIGUNGSMESSUNGEN WÄHREND KRANKENHAUSINTERNER VERSUCHSFAHRTEN MIT DEM „DRÄGER ITI 5400“ UND DEM „DRÄGER AIR-SHIELDS ISOLETTE TI 500“ 93

Literaturverzeichnis

[1] Shenai JP, Johnson GE, Varney RV. Mechanical vibration in neonatal transport. Pediatrics. 1981 Jul;68(1):55-7.

[2] Campbell AN, Lightstone AD, Smith JM, Kirpalani H, Perlman M. Mechanical vibration and sound levels experienced in neonatal transport. American journal of diseases of children. 1984 Oct;138(10):967-70.

[3] Shenai JP. Sound levels for neonates in transit. The Journal of pediatrics. 1977 May;90(5):811-2.

[4] Sherwood HB, Donze A, Giebe J. Mechanical vibration in ambulance transport. J Obstet Gynecol Neonatal Nurs. 1994 Jul-Aug;23(6):457-63.

[5] Macnab A, Chen Y, Gagnon F, Bora B, Laszlo C. Vibration and noise in pediatric emergency transport vehicles: a potential cause of morbidity? Aviation, space, and environmental medicine. 1995 Mar;66(3):212-9.

[6] Boenisch H, Gaden W, Mau G, Gohrbandt U, Teuteberg HO, Braun H, et al. [Mechanical stress of newborn infants caused by incubator transport]. Monatsschr Kinderheilkd. 1985 Jul;133(7):471-5.

[7] Bellieni CV, Pinto I, Stacchini N, Cordelli DM, Bagnoli F. [Vibration risk during neonatal transport]. Minerva pediatrica. 2004 Apr;56(2):207-12.

[8] Buckland L, Austin N, Jackson A, Inder T. Excessive exposure of sick neonates to sound during transport. Archives of disease in childhood. 2003 Nov;88(6):F513-6.

[9] Verein Deutscher Ingenieure. VDI-Richtlinien: Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen, Ganzkörper-Schwingungen. Beuth Verlag GmbH 2002.

[10] ÖNORM ISO 2631-1. Mechanische Schwingungen und Stöße - Bewertung der Auswirkung von Ganzkörperschwingungen auf den Menschen. ON-Österreichisches Normierungsinstitut 2007.

[11] Pieper CH, Smith J, Kirsten GF, Malan P. The transport of neonates to an intensive care unit. South African medical journal. 1994 Nov;84(11 Suppl):801-3.

[12] Speidel U. Schwingungsuntersuchungen zur Optimierung des Transportsystems für vitalbedrohte Früh- und Neugeborene in Inkubatoren. Dissertation. Homburg 2008.

[13] Macnab AJ. Optimal escort for interhospital transport of pediatric emergencies. The Journal of trauma. 1991 Feb;31(2):205-9.

[14] Witzel K, Hoppe H, Raschka C. The influence of the mode of emergency ambulance transportation on the emergency patient's outcome. Eur J Emerg Med. 1999 Jun;6(2):115-8.

[15] Gleissner M, Jorch G, Avenarius S. Risk factors for intraventricular hemorrhage in a birth cohort of 3721 premature infants. Journal of perinatal medicine. 2000;28(2):104-10.

[16] Wells JT, Ment LR. Prevention of intraventricular hemorrhage in preterm infants. Early human development. 1995 Aug 18;42(3):209-33.

[17] Clark CE, Clyman RI, Roth RS, Sniderman SH, Lane B, Ballard RA. Risk factor analysis of intraventricular hemorrhage in low-birth-weight infants. The Journal of pediatrics. 1981 Oct;99(4):625-8.

[18] Mohamed MA, Aly H. Transport of premature infants is associated with increased risk for intraventricular haemorrhage. Archives of disease in childhood. 2010 Nov;95(6):403-7

[19] Shah S, Rothberger A, Caprio M, Mally P, Hendricks-Munoz K. Quantification of impulse experienced by neonates during inter- and intra-hospital transport measured by biophysical accelerometery. Journal of perinatal medicine. 2008;36(1):87-92.

[20] Hofmann V, Deeg KH, Hoyer PF. Ultraschalldiagnostik in Pädiatrie und Kinderchirurgie: Lehrbuch und Atlas. 3rd ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag 2005.

[21] Speer CP. Pädiatrie. 3rd ed. Heidelberg: Springer Medizin Verlag 2009.

[22] Sitzmann FC. Pädiatrie. 3rd ed. Stuttgart: Thieme Verlag KG 2007.

[23] Mayatepek E. Repetitorium Pädiatrie. München: Urban & Fischer Verlag 2008.

[24] Philip AG, Allan WC, Tito AM, Wheeler LR. Intraventricular hemorrhage in preterm infants: declining incidence in the 1980s. Pediatrics. 1989 Nov;84(5):797-801.

[25] Jain NJ, Kruse LK, Demissie K, Khandelwal M. Impact of mode of delivery on neonatal complications: trends between 1997 and 2005. J Matern Fetal Neonatal Med. 2009 Jun;22(6):491-500.

[26] Bhushan V, Paneth N, Kiely JL. Impact of improved survival of very low birth weight infants on recent secular trends in the prevalence of cerebral palsy. Pediatrics. 1993 Jun;91(6):1094-100.

[27] Field DJ, Dorling JS, Manktelow BN, Draper ES. Survival of extremely premature babies in a geographically defined population: prospective cohort study of 1994-9 compared with 2000-5. BMJ (Clinical research ed. 2008 May 31;336(7655):1221-3.

[28] Wilson-Costello D, Friedman H, Minich N, Fanaroff AA, Hack M. Improved survival rates with increased neurodevelopmental disability for extremely low birth weight infants in the 1990s. Pediatrics. 2005 Apr;115(4):997-1003.

[29] Ballabh P. Intraventricular hemorrhage in premature infants: mechanism of disease. Pediatric research. Jan;67(1):1-8.

[30] Whitelaw A. Intraventricular haemorrhage and posthaemorrhagic hydrocephalus: pathogenesis, prevention and future interventions. Semin Neonatol. 2001 Apr;6(2):135-46.

[31] Kopp W, Tolly E, Kaulfersch W, Fritsch G, Schneider GH. [Intracranial hemorrhages in mature and premature infants. Computer tomography and clinical follow-up studies]. Monatsschr Kinderheilkd. 1986 Feb;134(2):84-8.

[32] Murphy BP, Inder TE, Rooks V, Taylor GA, Anderson NJ, Mogridge N, et al. Posthaemorrhagic ventricular dilatation in the premature infant: natural history and predictors of outcome. Archives of disease in childhood. 2002 Jul;87(1):F37-41.

[33] Emsley HC, Wardle SP, Sims DG, Chiswick ML, D'Souza SW. Increased survival and deteriorating developmental outcome in 23 to 25 week old gestation infants, 1990-4 compared with 1984-9. Archives of disease in childhood. 1998 Mar;78(2):F99-104.

[34] Tortorolo G, Luciano R, Papacci P, Tonelli T. Intraventricular hemorrhage: past, present and future, focusing on classification, pathogenesis and prevention. Childs Nerv Syst. 1999 Nov;15(11-12):652-61.

[35] Gould SJ, Howard S. Glial differentiation in the germinal layer of fetal and preterm infant brain: an immunocytochemical study. Pediatric pathology / affiliated with the International Paediatric Pathology Association. 1988;8(1):25-36.

[36] Gould SJ, Howard S. An immunocytochemical study of the germinal layer vasculature in the developing fetal brain using Ulex europaeus 1 lectin. The Journal of pathology. 1988 Oct;156(2):129-35.

[37] Volpe JJ. Neurology of the Newborn. 4th ed. Philadelphia: Saunders 2000.

[38] Papile LA, Burstein J, Burstein R, Koffler H. Incidence and evolution of subependymal and intraventricular hemorrhage: a study of infants with birth weights less than 1,500 gm. The Journal of pediatrics. 1978 Apr;92(4):529-34.

[39] Deeg KH, Staudt F, von Rohden L. [Classification of intracranial hemorrhage in premature infants]. Ultraschall Med. 1999 Aug;20(4):165-70.

[40] Obladen M, Maier RF. Neugeborenenintensivmedizin: Evidenz und Erfahrung. 7th ed. Heidelberg: Springer Medizin Verlag 2006.

[41] Volpe JJ. Intraventricular hemorrhage in the premature infant - current concepts. Part I. Annals of neurology. 1989 Jan;25(1):3-11.

[42] Vassilyadi M, Tataryn Z, Shamji MF, Ventureyra EC. Functional outcomes among premature infants with intraventricular hemorrhage. Pediatric neurosurgery. 2009;45(4):247-55.

[43] Vohr BR, Allan WC, Westerveld M, Schneider KC, Katz KH, Makuch RW, et al. School-age outcomes of very low birth weight infants in the indomethacin intraventricular hemorrhage prevention trial. Pediatrics. 2003 Apr;111(4 Pt 1):e340-6.

[44] Saliba E, Bertrand P, Gold F, Marchand S, Laugier J. Area of lateral ventricles measured on cranial ultrasonography in preterm infants: association with outcome. Arch Dis Child. 1990 Oct;65(10 Spec No):1033-7.

[45] Stewart AL, Thorburn RJ, Hope PL, Goldsmith M, Lipscomb AP, Reynolds EO. Ultrasound appearance of the brain in very preterm infants and neurodevelopmental outcome at 18 months of age. Arch Dis Child. 1983 Aug;58(8):598-604.

[46] Low JA, Galbraith RS, Sauerbrei EE, Muir DW, Killen HL, Pater E, et al. Motor and cognitive development of infants with intraventricular hemorrhage, ventriculomegaly, or periventricular parenchymal lesions. American journal of obstetrics and gynecology. 1986 Oct;155(4):750-6.

[47] Roze E, Van Braeckel KN, van der Veere CN, Maathuis CG, Martijn A, Bos AF. Functional outcome at school age of preterm infants with periventricular hemorrhagic infarction. Pediatrics. 2009 Jun;123(6):1493-500.

[48] Pinto-Martin JA, Whitaker AH, Feldman JF, Van Rossem R, Paneth N. Relation of cranial ultrasound abnormalities in low-birthweight infants to motor or cognitive performance at ages 2, 6, and 9 years. Developmental medicine and child neurology. 1999 Dec;41(12):826-33.

[49] Hauspy J, Jacquemyn Y, Van Reempts P, Buytaert P, Van Vliet J. Intrauterine versus postnatal transport of the preterm infant: a short-distance experience. Early human development. 2001 Jun;63(1):1-7.

[50] Van de Bor M, Van Bel F, Lineman R, Ruys JH. Perinatal factors and periventricular-intraventricular hemorrhage in preterm infants. American journal of diseases of children (1960). 1986 Nov;140(11):1125-30.

[51] Cuestas E, Bas J, Pautasso J. Sex differences in intraventricular hemorrhage rates among very low birth weight newborns. Gend Med. 2009 Jul;6(2):376-82.

[52] Mohamed MA, Aly H. Male gender is associated with intraventricular hemorrhage. Pediatrics. Feb;125(2):e333-9.

[53] Shankaran S, Bauer CR, Bain R, Wright LL, Zachary J. Prenatal and perinatal risk and protective factors for neonatal intracranial hemorrhage. National Institute of Child Health and Human Development Neonatal Research Network. Archives of pediatrics & adolescent medicine. 1996 May;150(5):491-7.

[54] Sarkar S, Bhagat I, Dechert R, Schumacher RE, Donn SM. Severe intraventricular hemorrhage in preterm infants: comparison of risk factors and short-term neonatal morbidities between grade 3 and grade 4 intraventricular hemorrhage. American journal of perinatology. 2009 Jun;26(6):419-24.

[55] Linder N, Haskin O, Levit O, Klinger G, Prince T, Naor N, et al. Risk factors for intraventricular hemorrhage in very low birth weight premature infants: a retrospective case-control study. Pediatrics. 2003 May;111(5 Pt 1):e590-5.

[56] Wimberley PD, Lou HC, Pedersen H, Hejl M, Lassen NA, Friis-Hansen B. Hypertensive peaks in the pathogenesis of intraventricular hemorrhage in the newborn. Abolition by phenobarbitone sedation. Acta paediatrica Scandinavica. 1982 Jul;71(4):537-42.

[57] Vohr B, Ment LR. Intraventricular hemorrhage in the preterm infant. Early human development. 1996 Jan 5;44(1):1-16.

[58] Salafia CM, Minior VK, Rosenkrantz TS, Pezzullo JC, Popek EJ, Cusick W, et al. Maternal, placental, and neonatal associations with early germinal matrix/intraventricular hemorrhage in infants born before 32 weeks' gestation. American journal of perinatology. 1995 Nov;12(6):429-36.

[59] Korinthenberg F, Panteliadis P, Hagel C. Neuropädiatrie - Evidenzbasierte Therapie. München: Urban & Fischer Verlag 2009.

[60] Turner M, Griffin MJ. Motion sickness in public road transport: the effect of driver, route and vehicle. Ergonomics. 1999 Dec;42(12):1646-64.

[61] Noppens R, Hennes HJ. Kinetosen bei Hubschraubereinsätzen. Notfall & Rettungsmedizin. 2001;4:426-30.

[62] Wright MS, Bose CL, Stiles AD. The incidence and effects of motion sickness among medical attendants during transport. The Journal of emergency medicine. 1995 Jan-Feb;13(1):15-20.

[63] Boxwell G. Neonatal Intensive Care Nursing. New York: Taylor & Francis Group 2000.

[64] Ciesielski S, Kopka J, Kidawa B. Incubator noise and vibration - possible iatrogenic influence on neonate. International journal of pediatric otorhinolaryngology. 1980 Feb;1(4):309-16.

[65] Graven SN. Sound and the developing infant in the NICU: conclusions and recommendations for care. J Perinatol. 2000 Dec;20(8 Pt 2):S88-93.

[66] Philbin MK, Robertson A, Hall JW, 3rd. Recommended permissible noise criteria for occupied, newly constructed or renovated hospital nurseries. Adv Neonatal Care. 2008 Oct;8(5 Suppl):S11-5.

[67] Environmental Protection Agency OoNAaC. Information on Levels of Environmental Noise Requisite to Protect Public Health and Welfare With an Adequate Margin of Safety (Report No. 5509-74-004). Washington, DC: Government Printing Office 1974.

[68] Noise: a hazard for the fetus and newborn. American Academy of Pediatrics. Committee on Environmental Health. Pediatrics. 1997 Oct;100(4):724-7.

[69] Lasky RE, Williams AL. Noise and light exposures for extremely low birth weight newborns during their stay in the neonatal intensive care unit. Pediatrics. 2009 Feb;123(2):540-6.

[70] Brown G. NICU noise and the preterm infant. Neonatal Netw. 2009 May-Jun;28(3):165-73.

[71] 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]. Chinese journal of contemporary pediatrics. 2009 Dec;11(12):976-9.

[72] Stennert E, Schulte FJ, Vollrath M, Brunner E, Frauenrath C. The etiology of neurosensory hearing defects in preterm infants. Archives of oto-rhino-laryngology. 1978 Oct 31;221(3):171-82.

[73] Bremmer P, Byers JF, Kiehl E. Noise and the premature infant: physiological effects and practice implications. J Obstet Gynecol Neonatal Nurs. 2003 Jul-Aug;32(4):447-54.

[74] Perlman JM. Neurobehavioral deficits in premature graduates of intensive care - potential medical and neonatal environmental risk factors. Pediatrics. 2001 Dec;108(6):1339-48.

[75] 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.

[76] Blackburn S. Environmental impact of the NICU on developmental outcomes. Journal of pediatric nursing. 1998 Oct;13(5):279-89.

[77] Bowden V, Greenberg C, Donaldson N. Developmental care of the newborn. Online Journal of Clinical Innovations. 2000;15(7):1-77.

[78] Herson VC, Block C, Eisenfeld LI, Maderazo E, Krause PJ. Effect of labor and delivery on neonatal polymorphonuclear leukocyte number and function. American journal of perinatology. 1992 Jul;9(4):285-8.

[79] Chirico G, Gasparoni A, Ciardelli L, Martinotti L, Rondini G. Leukocyte counts in relation to the method of delivery during the first five days of life. Biology of the neonate. 1999 May;75(5):294-9.

[80] Grosek S, Mlakar G, Vidmar I, Ihan A, Primozic J. Heart rate and leukocytes after air and ground transportation in artificially ventilated neonates: a prospective observational study. Intensive care medicine. 2009 Jan;35(1):161-5.

[81] Evans JB, Philbin MK. Facility and operations planning for quiet hospital nurseries. J Perinatol. 2000 Dec;20(8 Pt 2):S105-12.

[82] Philbin MK. Planning the acoustic environment of a neonatal intensive care unit. Clinics in perinatology. 2004 Jun;31(2):331-52.

[83] Philbin MK, Gray L. Changing levels of quiet in an intensive care nursery. J Perinatol. 2002 Sep;22(6):455-60.

[84] Ramesh A, Suman Rao PN, Sandeep G, Nagapoornima M, Srilakshmi V, Dominic M, et al. Efficacy of a low cost protocol in reducing noise levels in the neonatal intensive care unit. Indian journal of pediatrics. 2009 May;76(5):475-8.

[85] Zahr LK, de Traversay J. Premature infant responses to noise reduction by earmuffs: effects on behavioral and physiologic measures. J Perinatol. 1995 Nov-Dec;15(6):448-55.

[86] Jöhr M. Kinderanästhesie. München: Urban & Fischer Verlag 2009.

[87] Striebel HW. Die Anästhesie: Grundlagen und Praxis. Stuttgart: Schattauer Verlag 2003.

[88] Tourneux P, Libert JP, Ghyselen L, Leke A, Delanaud S, Degrugilliers L, et al. [Heat exchanges and thermoregulation in the neonate]. Arch Pediatr. 2009 Jul;16(7):1057-62.

[89] Risbourg B, Vural M, Kremp O, de Broca A, Leke L, Freville M. Neonatal thermoregulation. The Turkish journal of pediatrics. 1991 Apr-Jun;33(2):121-34.

[90] Knobel RB, Holditch-Davis D, Schwartz TA, Wimmer JE, Jr. Extremely low birth weight preterm infants lack vasomotor response in relationship to cold body temperatures at birth. J Perinatol. 2009 Dec;29(12):814-21.

[91] Bartels DB, Kreienbrock L, Dammann O, Wenzlaff P, Poets CF. Population based study on the outcome of small for gestational age newborns. Archives of disease in childhood. 2005 Jan;90(1):F53-9.

[92] Costeloe K, Hennessy E, Gibson AT, Marlow N, Wilkinson AR. The EPICure study: outcomes to discharge from hospital for infants born at the threshold of viability. Pediatrics. 2000 Oct;106(4):659-71.

[93] Harms K, Osmers R, Kron M, Schill M, Kuhn W, Speer CP, et al. [Mortality of premature infants 1980-1990: analysis of data from the Gottingen perinatal center]. Zeitschrift fur Geburtshilfe und Perinatologie. 1994 Aug;198(4):126-33.

[94] Almeida PG, Chandley J, Davis J, Harrigan RC. Use of the heated gel mattress and its impact on admission temperature of very low birth-weight infants. Adv Neonatal Care. 2009 Feb;9(1):34-9.

[95] L'Herault J, Petroff L, Jeffrey J. The effectiveness of a thermal mattress in stabilizing and maintaining body temperature during the transport of very low-birth weight newborns. Appl Nurs Res. 2001 Nov;14(4):210-9.

[96] Kollee LA, Verloove-Vanhorick SP, Brand R, Verwey RA, Ruys JH. [Mortality risk after intrauterine and after neonatal transport]. Nederlands tijdschrift voor geneeskunde. 1989 Mar 18;133(11):553-6.

[97] Bucher HU, Fawer CL, von Kaenel J, Kind C, Moessinger A. [Intrauterine and postnatal transfer of high risk newborn infants. Swiss Society of Neonatology]. Schweizerische medizinische Wochenschrift. 1998 Oct 24;128(43):1646-53.

[98] Holt J, Weidle B, Kaaresen PI, Fundingsrud HP, Dahl LB. Very low birthweight infants: outcome in a sub-arctic population. Acta Paediatr. 1998 Apr;87(4):446-51.

[99] Mori R, Fujimura M, Shiraishi J, Evans B, Corkett M, Negishi H, et al. Duration of inter-facility neonatal transport and neonatal mortality: systematic review and cohort study. Pediatrics International. 2007 Aug;49(4):452-8.

[100] Arad I, Baras M, Bar-Oz B, Gofin R. Neonatal transport of very low birth weight infants in Jerusalem, revisited. Isr Med Assoc J. 2006 Jul;8(7):477-82.

[101] Swyer PR. Organisation of perinatal/neonatal care. Acta Paediatr Suppl. 1993 Jan;385:1-18.

[102] Wallace HM, Losty MA, Baumgartner L. Report of two years' experience in the transportation of premature infants in New York City. Pediatrics. 1952 Apr;9(4):439-48.

[103] Butterfield LJ. Historical perspectives of neonatal transport. Pediatric clinics of North America. 1993 Apr;40(2):221-39.

[104] Yeast JD, Poskin M, Stockbauer JW, Shaffer S. Changing patterns in regionalization of perinatal care and the impact on neonatal mortality. American journal of obstetrics and gynecology. 1998 Jan;178(1 Pt 1):131-5.

[105] Towers CV, Bonebrake R, Padilla G, Rumney P. The effect of transport on the rate of severe intraventricular hemorrhage in very low birth weight infants. Obstetrics and gynecology. 2000 Feb;95(2):291-5.

[106] Chien LY, Whyte R, Aziz K, Thiessen P, Matthew D, Lee SK. Improved outcome of preterm infants when delivered in tertiary care centers. Obstetrics and gynecology. 2001 Aug;98(2):247-52.

[107] Hohlagschwandtner M, Husslein P, Klebermass K, Weninger M, Nardi A, Langer M. Perinatal mortality and morbidity. Comparison between maternal transport, neonatal transport and inpatient antenatal treatment. Archives of gynecology and obstetrics. 2001 Aug;265(3):113-8.

[108] Harris TR, Isaman J, Giles HR. Improved neonatal survival through maternal transport. Obstetrics and gynecology. 1978 Sep;52(3):294-300.

[109] Menard MK, Liu Q, Holgren EA, Sappenfield WM. Neonatal mortality for very low birth weight deliveries in South Carolina by level of hospital perinatal service. American journal of obstetrics and gynecology. 1998 Aug;179(2):374-81.

[110] Roy RN, Kitchen WH. NETS: a new system for neonatal transport. The Medical journal of Australia. 1977 Dec 24-31;2(26-27):855-8.

[111] Samuelson JL, Buehler JW, Norris D, Sadek R. Maternal characteristics associated with place of delivery and neonatal mortality rates among very-low-birthweight infants, Georgia. Paediatric and perinatal epidemiology. 2002 Oct;16(4):305-13.

[112] Roemer VM, Ramb S. [Centralization in obstetrics: pros and cons]. Zeitschrift fur Geburtshilfe und Neonatologie. 1996 Jan-Feb;200(1):2-12.

[113] Koller D, Langer T, Zechmeister I. Neonatologische Erstversorgung von Neugeborenen ohne vorab bekanntes Komplikationsrisiko. Ansätze für eine evidenzbasierte Versorgungsplanung in der Steiermark. Endbericht. Ludwig Boltzmann Gesellschaft GmbH. Wien 2007.

[114] Österreichische Gesellschaft für Prä- und Perinatale Medizin [Online]. 2004 [cited 2010-05-08]; available from: http://www.perinatal.at/

[115] Österreichischer Strukturplan Gesundheit 2008. ÖSG 2008 (inkl. Großgeräteplan). Bundesministerium für Gesundheit 2009.

[116] Stark AR. Levels of neonatal care. Pediatrics. 2004 Nov;114(5):1341-7.

[117] Bacak SJ, Baptiste-Roberts K, Amon E, Ireland B, Leet T. Risk factors for neonatal mortality among extremely-low-birth-weight infants. American journal of obstetrics and gynecology. 2005 Mar;192(3):862-7.

[118] Trotter A, Pohlandt F. [Current outcome quality in the care of preterm infants with birth weight less than 1 500 g as a basis for regionalisation of risk pregnancies]. Zeitschrift fur Geburtshilfe und Neonatologie. 2010 Apr;214(2):55-61.

[119] Shah PS, Shah V, Qiu Z, Ohlsson A, Lee SK. Improved outcomes of outborn preterm infants if admitted to perinatal centers versus freestanding pediatric hospitals. The Journal of pediatrics. 2005 May;146(5):626-31.

[120] Gessner BD, Muth PT. Perinatal care regionalization and low birth weight infant mortality rates in Alaska. American journal of obstetrics and gynecology. 2001 Sep;185(3):623-8.

[121] Bode MM, O'Shea T M, Metzguer KR, Stiles AD. Perinatal regionalization and neonatal mortality in North Carolina, 1968-1994. American journal of obstetrics and gynecology. 2001 May;184(6):1302-7.

[122] Cifuentes J, Bronstein J, Phibbs CS, Phibbs RH, Schmitt SK, Carlo WA. Mortality in low birth weight infants according to level of neonatal care at hospital of birth. Pediatrics. 2002 May;109(5):745-51.

[123] Vieux R, Fresson J, Hascoet JM, Blondel B, Truffert P, Roze JC, et al. Improving perinatal regionalization by predicting neonatal intensive care requirements of preterm infants: an EPIPAGE-based cohort study. Pediatrics. 2006 Jul;118(1):84-90.

[124] Interdisziplinäre Arbeitsgruppe. Indikationen zur Einweisung von Schwangeren in Krankenhäuser der adäquaten Versorgungsstufe. AWMF-Leitlinien-Register Nr. 024/001. Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften 2008.

[125] Geburtenregister Steiermark. KAGes Jahresbericht 2005. Steiermärkische Krankenanstaltenges.m.b.H. Graz; 2006.

[126] Stark U. Transferierungsempfehlungen für Risikoschwangerschaften in ein Perinatalzentrum bzw. für Neugeborene in eine Neonatologie. Steiermärkische KAGes 2001.

[127] Clark RH. The constantly changing neonatal health care paradigm in California. J Perinatol. 2002 Dec;22(8):623-7.

[128] Pohlandt F, Artlich A, Freihorst A, Radlow U, Schadel G, Schneider A, et al. [Regionalisation of preterm births in county districts? Yes we can!]. Zeitschrift fur Geburtshilfe und Neonatologie. 2009 Aug;213(4):135-7.

[129] Healthy People 2010 : Increase the proportion of very low birth weight (VLBW) infants born at level III hospitals or subspecialty perinatal centers. U.S. Department of Health and Human Services 2005.

[130] Gerber SE, Dobrez DG, Budetti PP. Managed care and perinatal regionalization in Washington State. Obstetrics and gynecology. 2001 Jul;98(1):139-43.

[131] Arad I, Braunstein R, Bar-Oz B. Neonatal outcome of inborn and outborn extremely low birth weight infants: relevance of perinatal factors. Isr Med Assoc J. 2008 Jun;10(6):457-61.

[132] Dudenhausen JW, Locher B, Nolting HD. Zur Regionalisierung der perinatalen Versorgung - Wie häufig sind Fehlplatzierungen von Risikogebärenden? Zeitschrift fur Geburtshilfe und Neonatologie. 2006 Jun;210(3):92-8.

[133] Serfaty A, Crenn-Hebert C, Deprez M, Bertrand M, Chabernaud JL, Joly J, et al. [Regionalization of very preterm birth care sites in Ile-de France in 1998]. Santé publique (Vandoeuvre-les-Nancy, France). 2003 Dec;15(4):491-502.

[134] Tommiska V, Heinonen K, Ikonen S, Kero P, Pokela ML, Renlund M, et al. A national short-term follow-Up study of extremely low birth weight infants born in Finland in 1996-1997. Pediatrics. 2001 Jan;107(1):E2.

[135] Dobrez D, Gerber S, Budetti P. Trends in perinatal regionalization and the role of managed care. Obstetrics and gynecology. 2006 Oct;108(4):839-45.

[136] Geburtenregister Steiermark. KAGes Jahresbericht 2008. Steiermärkische Krankenanstaltenges.m.b.H. Graz; 2009.

[137] Geburtenregister Steiermark. KAGes Jahresbericht 2006/2007. Steiermärkische Krankenanstaltenges.m.b.H. Graz; 2008.

[138] Geburtenregister Steiermark. KAGes Jahresbericht 2004. Steiermärkische Krankenanstaltenges.m.b.H. Graz; 2005.

[139] Intensivtransporte (Aufzeichnungen des Pflegepersonals). LKH Leoben Neonatologische Intensivstation 2002-2008.

[140] Geborene seit 1981 nach ausgewählten demografischen und medizinischen Merkmalen [Online]. 2010 [cited 2010-05-13]; available from: http://www.statistik.at/web_de/statistiken/bevoelkerung/geburten/index.html

[141] Heller G, Richardson DK, Schnell R, Misselwitz B, Kunzel W, Schmidt S. Are we regionalized enough? Early-neonatal deaths in low-risk births by the size of delivery units in Hesse, Germany 1990-1999. International journal of epidemiology. 2002 Oct;31(5):1061-8.

[142] Poets CF, Bartels DB, Wallwiener D. [Patient volume and facilities measurements as quality indicators of peri- and neonatal care: a review of data from the last 4 years]. Zeitschrift fur Geburtshilfe und Neonatologie. 2004 Dec;208(6):220-5.

[143] Heller G, Schnell R, Richardson DK, Misselwitz B, Schmidt S. [Assessing the impact of delivery unit size on neonatal survival: estimation of potentially avoidable deaths in Hessen, Germany, 1990-2000]. Deutsche medizinische Wochenschrift (1946). 2003 Mar 28;128(13):657-62.

[144] Moster D, Lie RT, Markestad T. Neonatal mortality rates in communities with small maternity units compared with those having larger maternity units. Bjog. 2001 Sep;108(9):904-9.

[145] Fenton AC, Leslie A. Who should staff neonatal transport teams? Early human development. 2009 Aug;85(8):487-90.

[146] Leslie A. Formation of a neonatal transport team. Paediatric nursing. 1994 Sep;6(7):18-20.

[147] Chance GW, Matthew JD, Gash J, Williams G, Cunningham K. Neonatal transport: a controlled study of skilled assistance. Mortality and morbidity of neonates less than 1.5 kg birth weight. The Journal of pediatrics. 1978 Oct;93(4):662-6.

[148] Hood JL, Cross A, Hulka B, Lawson EE. Effectiveness of the neonatal transport team. Critical care medicine. 1983 Jun;11(6):419-23.

[149] Leslie A, Stephenson T. Neonatal transfers by advanced neonatal nurse practitioners and paediatric registrars. Archives of disease in childhood. 2003 Nov;88(6):F509-12.

[150] Morrison J, Cheema IU. Neonatal transfers by advanced neonatal nurse practitioners: Is it time to end the debate? Early human development. 2007;83(2):134.

[151] Transportinkubator 5400 - Bedienungsanleitung. Dräger Medical AG & Co. KGaA.

[152] Dräger Isolette® TI 500 [Online]. 2011 [cited 2011-05-22]; available from: http://www.draeger.com/DE/de/products/neonatal_care/neonatal_transport/neo_ti500_isolette.jsp

[153] Dräger Air-Shields® Isolette® TI500 - Brochure. Dräger Medical AG & Co. KGaA.

[154] Fahrgestell 2780 - Bedienungsanleitung und Ersatzteilliste. Stollenwerk u. Cie. GmbH.

[155] CONFOR® Foams. Aearo Technologies E-A-R Speciality Composites 2001.

[156] Resusci® Baby Basic and SkillGuide™ [Online]. 2001-2007 [cited 2011-04-03]; available from: http://www.laerdal.com/gb/doc/66/Resusci-Baby-Basic-and-SkillGuide#/specs

[157] Wikipedia. Beschleunigungssensor [Online]. 2011 [cited 2011-04-03]; available from: http://de.wikipedia.org/wiki/Beschleunigungssensor

[158] Apple Inc. Willkommen im Apple Store - Apple Store (Österreich) [Online]. 2011 [cited 2011-03-02]; available from: http://store.apple.com/at

[159] STMicroelectronics. LIS331DL MEMS motion sensor. 2008.

[160] Wikipedia. Nyquist-Shannon-Abtasttheorem [Online]. 2011 [cited 2011-04-03]; available from: http://de.wikipedia.org/wiki/Nyquist-Shannon-Abtasttheorem

[161] Apple Inc. iTunes Preview. iSeismometer [Online]. 2011 [cited 2011-05-13]; available from: http://itunes.apple.com/at/app/iseismometer/id304190739?mt=8

[162] Takeuchi K. iSeismometer. Free Seismometer App for iPhone/iPad/iPod Touch [Online]. 2010 [cited 2011-03-28]; available from: http://www.iseismometer.com/tutorial/gravity-and-device-orientations/

[163] g.tec medical engineering GmbH. g.BSanalyze - gtec's Biosignal Analysis Software [Online]. 2011 [cited 2011-04-29]; available from: http://www.gtec.at/Products/Software/g.BSanalyze-Specs-Features

[164] ISO 8727:1997 Mechanical vibration and shock - Human exposure - Biodynamic coordinate systems. International Organization for Standardization 1997.

[165] Overview of Human Vibration Weighting Filters [Online]. 2008 [cited 2011-03-28]; available from: http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/6957

[166] Wikipedia. Schnelle Fourier Transformation [Online]. 2011 [cited 2011-05-01]; available from: http://de.wikipedia.org/wiki/Schnelle_Fourier-Transformation

[167] Peters C, Bauer M, Speidel U, Jung E, Homberg F, Schofer O. [Measuring vibrations of transport stress in premature and newborn infants during incubator transport]. Klinische Padiatrie. 1997 Sep-Oct;209(5):315-20.

[168] Wikipedia. Hörfläche [Online]. 2011 [cited 2011-09-01]; available from: http://de.wikipedia.org/wiki/H%C3%B6rfl%C3%A4che

[169] Koch. Drägerwerk AG. Transport-Trauma: Schwingungsbelastung von Früh- und Neugeborenen in Transportinkubatoren und Krankenwagen. Notfallmedizin. 1986;12:146-55.

[170] Limperopoulos C, Tworetzky W, McElhinney DB, Newburger JW, Brown DW, Robertson RL, Jr., et al. Brain volume and metabolism in fetuses with congenital heart disease: evaluation with quantitative magnetic resonance imaging and spectroscopy. Circulation. Jan 5;121(1):26-33.

[171] Königsbauer C. Maßnahmen zur Dämmung der Kopfbeschleunigung beim Inkubatortransport von Risiko-Neugeborenen. Dissertation. München 1991.

[172] Gajendragadkar G, Boyd JA, Potter DW, Mellen BG, Hahn GD, Shenai JP. Mechanical vibration in neonatal transport: a randomized study of different mattresses. J Perinatol. 2000 Jul-Aug;20(5):307-10.

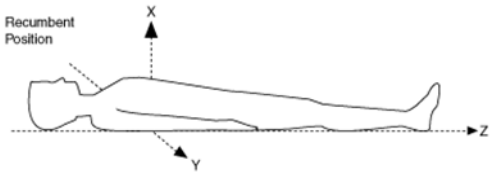
[173] Schöber JG. Der sog. Baby-NAW. Notfall & Rettungsmedizin. 1999;2:29-30.

[174] auto-motor-und-sport.de. Aktives Fahrwerk von Bose. 2011 [cited 2011-09-03]; available from: http://www.auto-motor-und-sport.de/news/aktives-fahrwerk-von-bose-672534.html

5

Anhang A: Ergebnisse der 1. Messreihe

***DRÄGER ITI 5400* - Inkubatortransporte im Neugeborenen-Intensivtransportwagen - Bei 80 km/h auf der Schnellstraße**



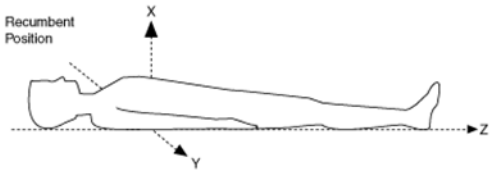
Sensor A	Am Fahrzeugboden	x_1, y_1, z_1
Sensor B	Am Untergestell des Inkubators	x_2, y_2, z_2
Sensor C	Im Inkubator ohne Schaumstoffmatte	x_3, y_3, z_3

[$g^2 10^{-4}$]	**1-3 Hz**	**4-7 Hz**	**8-10 Hz**	**11-13 Hz**	**14-20 Hz**	**21-32 Hz**	**33-48 Hz**	**Σ**
	1-10 Hz			**11-20 Hz**		**21-48 Hz**		
x_1	2	0,7	0,5	0,6	2,6	5,8	1,4	**13,6**
	3,2			3,2		7,2		
x_2	8,8	2,6	1,4	1,3	7,6	15,2	25,3	**62,2**
	12,8			8,9		40,5		
$(x_2-x_1)/x_1$	*340,00%*	*271,43%*	*180,00%*	*116,67%*	*192,31%*	*162,07%*	*1707,14%*	***357,35%***
	300,00%			*178,13%*		*462,50%*		
x_3	3,5	1,1	1	2,4	5,4	2,6	0,5	**16,5**
	5,6			7,8		3,1		
$(x_3-x_2)/x_2$	*-60,23%*	*-57,69%*	*-28,57%*	*84,62%*	*-28,95%*	*-82,89%*	*-98,02%*	***-73,47%***
	-56,25%			*-12,36%*		*-92,35%*		

[$g^2 10^{-4}$]	**1-3 Hz**	**4-7 Hz**	**8-10 Hz**	**11-13 Hz**	**14-20 Hz**	**21-32 Hz**	**33-48 Hz**	**Σ**
	1-10 Hz			**11-20 Hz**		**21-48 Hz**		
y_1	0,2	0,2	0,2	0,2	1,1	1,9	0,8	**4,6**
	0,6			1,3		2,7		
y_2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,7	4,8	7,9	**16,5**
	1,3			2,5		12,7		
$(y_2-y_1)/y_1$	*50,00%*	*100,00%*	*200,00%*	*300,00%*	*54,55%*	*152,63%*	*887,50%*	***258,70%***
	116,67%			*92,31%*		*370,37%*		
y_3	0,1	0,2	0,5	0,4	0,9	1	0,2	**3,3**
	0,8			1,3		1,2		
$(y_3-y_2)/y_2$	*-66,67%*	*-50,00%*	*-16,67%*	*-50,00%*	*-47,06%*	*-79,17%*	*-97,47%*	***-80,00%***
	-38,46%			*-48,00%*		*-90,55%*		

[$g^2 10^{-4}$]	**1-3 Hz**	**4-7 Hz**	**8-10 Hz**	**11-13 Hz**	**14-20 Hz**	**21-32 Hz**	**33-48 Hz**	**Σ**
	1-10 Hz			**11-20 Hz**		**21-48 Hz**		
z_1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,3	0,7	0,8	**2,3**
	0,4			0,4		1,5		
z_2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,6	1,2	1,2	**3,9**
	0,6			0,9		2,4		
$(z_2-z_1)/z_1$	*-50,00%*	*100,00%*	*200,00%*	*200,00%*	*100,00%*	*71,43%*	*50,00%*	***69,57%***
	50,00%			*125,00%*		*60,00%*		
z_3	0,3	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8	0,3	**2,8**
	0,7			1		1,1		
$(z_3-z_2)/z_2$	*200,00%*	*-50,00%*	*0,00%*	*33,33%*	*0,00%*	*-33,33%*	*-75,00%*	***-28,21%***
	16,67%			*11,11%*		*-54,17%*		

DRÄGER ITI 5400 - Inkubatortransporte im Neugeborenen-Intensivtransportwagen - Bei 120 km/h auf der Schnellstraße



Sensor A	Am Fahrzeugboden	x_1, y_1, z_1
Sensor B	Am Untergestell des Inkubators	x_2, y_2, z_2
Sensor C	Im Inkubator ohne Schaumstoffmatte	x_3, y_3, z_3

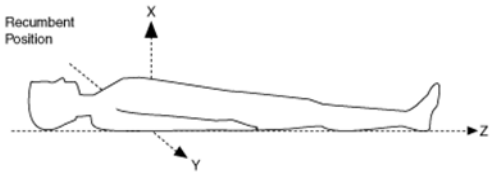
[$g^2 10^{-4}$]	1-3 Hz	4-7 Hz	8-10 Hz	11-13 Hz	14-20 Hz	21-32 Hz	33-48 Hz	Σ
	1-10 Hz			11-20 Hz		21-48 Hz		
x_1	20,2	5,5	3,1	2,2	11,4	19	3,9	**65,3**
	28,8			13,6		22,9		
x_2	41,3	15,7	8	9,8	20,1	37	44	**175,9**
	65			29,9		81		
$(x_2-x_1)/x_1$	*104,46%*	*185,45%*	*158,06%*	*345,45%*	*76,32%*	*94,74%*	*1028,21%*	***169,37%***
	125,69%			*119,85%*		*253,71%*		
x_3	27,3	8,1	10,8	9,5	11,8	2,1	0,8	**70,4**
	46,2			21,3		2,9		
$(x_3-x_2)/x_2$	*-33,90%*	*-48,41%*	*35,00%*	*-3,06%*	*-41,29%*	*-94,32%*	*-98,18%*	***-59,98%***
	-28,92%			*-28,76%*		*-96,42%*		

[$g^2 10^{-4}$]	1-3 Hz	4-7 Hz	8-10 Hz	11-13 Hz	14-20 Hz	21-32 Hz	33-48 Hz	Σ
	1-10 Hz			11-20 Hz		21-48 Hz		
y_1	0,7	0,4	0,4	0,3	3,5	2,8	1	**9,1**
	1,5			3,8		3,8		
y_2	1,1	1	1,3	1,5	3,8	9,9	7,2	**25,8**
	3,4			5,3		17,1		
$(y_2-y_1)/y_1$	*57,14%*	*150,00%*	*225,00%*	*400,00%*	*8,57%*	*253,57%*	*620,00%*	***183,52%***
	126,67%			*39,47%*		*350,00%*		
y_3	1,5	1,2	2,7	2,4	3,5	1,4	0,4	**13,1**
	5,4			5,9		1,8		
$(y_3-y_2)/y_2$	*36,36%*	*20,00%*	*107,69%*	*60,00%*	*-7,89%*	*-85,86%*	*-94,44%*	***-49,22%***
	58,82%			*11,32%*		*-89,47%*		

[$g^2 10^{-4}$]	1-3 Hz	4-7 Hz	8-10 Hz	11-13 Hz	14-20 Hz	21-32 Hz	33-48 Hz	Σ
	1-10 Hz			11-20 Hz		21-48 Hz		
z_1	0,4	0,3	0,2	0,3	0,8	1,1	0,9	**4**
	0,9			1,1		2		
z_2	0,2	0,3	0,4	0,6	1,4	2,2	1,5	**6,6**
	0,9			2		3,7		
$(z_2-z_1)/z_1$	*-50,00%*	*0,00%*	*100,00%*	*100,00%*	*75,00%*	*100,00%*	*66,67%*	***65,00%***
	0,00%			*81,82%*		*85,00%*		
z_3	1,9	1,1	0,6	1,5	2,2	1,4	0,4	**9,1**
	3,6			3,7		1,8		
$(z_3-z_2)/z_2$	*850,00%*	*266,67%*	*50,00%*	*150,00%*	*57,14%*	*-36,36%*	*-73,33%*	***37,88%***
	300,00%			*85,00%*		*-51,35%*		

Anhang B: Ergebnisse der 2. Messreihe

***DRÄGER ITI 5400* - Simulierter Transport mit dem Neugeborenen-Intensivtransportwagen - Schnellstraße**

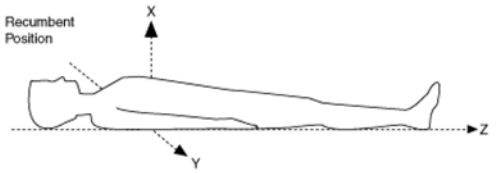
	Sensor A	Am Fahrzeugboden	x_1, y_1, z_1
	Sensor B	Im Inkubator unter der Schaumstoffmatte	x_2, y_2, z_2
	Sensor C	Im Inkubator auf der Schaumstoffmatte	x_3, y_3, z_3

[$g^2 10^{-4}$]	**1-3 Hz**	**4-7 Hz**	**8-10 Hz**	**11-13 Hz**	**14-20 Hz**	**21-32 Hz**	**33-48 Hz**	**Σ**
	1-10 Hz			**11-20 Hz**		**21-48 Hz**		
x_1	13,2	3,6	2,9	3,1	10,8	23,9	19,6	**77,1**
	19,7			13,9		43,5		
x_2	20,5	5,7	5,2	4,1	14,7	7,1	1,5	**58,8**
	31,4			18,8		8,6		
$(x_2-x_1)/x_1$	*55,30%*	*58,33%*	*79,31%*	*32,26%*	*36,11%*	*-70,29%*	*-92,35%*	***-23,74%***
	59,39%			*35,25%*		*-80,23%*		
x_3	20	6,4	6	5	16,7	7	1,1	**62,2**
	32,4			21,7		8,1		
$(x_3-x_2)/x_2$	*-2,44%*	*12,28%*	*15,38%*	*21,95%*	*13,61%*	*-1,41%*	*-26,67%*	***5,78%***
	3,18%			*15,43%*		*-5,81%*		

[$g^2 10^{-4}$]	**1-3 Hz**	**4-7 Hz**	**8-10 Hz**	**11-13 Hz**	**14-20 Hz**	**21-32 Hz**	**33-48 Hz**	**Σ**
	1-10 Hz			**11-20 Hz**		**21-48 Hz**		
y_1	0,4	0,2	0,2	0,2	2,2	2,2	1,1	**6,5**
	0,8			2,4		3,3		
y_2	1,2	0,8	1,1	0,9	2,3	2,5	0,5	**9,3**
	3,1			3,2		3		
$(y_2-y_1)/y_1$	*200,00%*	*300,00%*	*450,00%*	*350,00%*	*4,55%*	*13,64%*	*-54,55%*	***43,08%***
	287,50%			*33,33%*		*-9,09%*		
y_3	1,7	1,1	1,1	0,8	2,2	2	0,5	**9,4**
	3,9			3		2,5		
$(y_3-y_2)/y_2$	*41,67%*	*37,50%*	*0,00%*	*-11,11%*	*-4,35%*	*-20,00%*	*0,00%*	***1,08%***
	25,81%			*-6,25%*		*-16,67%*		

[$g^2 10^{-4}$]	**1-3 Hz**	**4-7 Hz**	**8-10 Hz**	**11-13 Hz**	**14-20 Hz**	**21-32 Hz**	**33-48 Hz**	**Σ**
	1-10 Hz			**11-20 Hz**		**21-48 Hz**		
z_1	0,4	0,2	0,2	0,3	1	1,2	0,9	**4,2**
	0,8			1,3		2,1		
z_2	0,4	0,3	0,4	0,6	2,1	2,2	0,5	**6,5**
	1,1			2,7		2,7		
$(z_2-z_1)/z_1$	*0,00%*	*50,00%*	*100,00%*	*100,00%*	*110,00%*	*83,33%*	*-44,44%*	***54,76%***
	37,50%			*107,69%*		*28,57%*		
z_3	0,6	0,4	0,5	0,9	2,7	2,5	0,5	**8,1**
	1,5			3,6		3		
$(z_3-z_2)/z_2$	*50,00%*	*33,33%*	*25,00%*	*50,00%*	*28,57%*	*13,64%*	*0,00%*	***24,62%***
	36,36%			*33,33%*		*11,11%*		

DRÄGER ITI 5400 - Simulierter Transport mit dem Neugeborenen-Intensivtransportwagen – Stadtverkehr



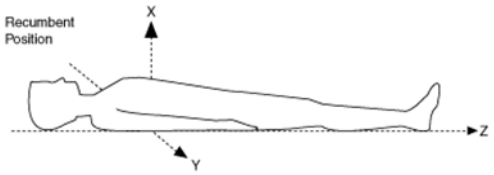
Sensor A	Am Fahrzeugboden	x_1, y_1, z_1
Sensor B	Im Inkubator unter der Schaumstoffmatte	x_2, y_2, z_2
Sensor C	Im Inkubator auf der Schaumstoffmatte	x_3, y_3, z_3

[$g^2 10^{-4}$]	1-3 Hz	4-7 Hz	8-10 Hz	11-13 Hz	14-20 Hz	21-32 Hz	33-48 Hz	Σ
	1-10 Hz			11-20 Hz		21-48 Hz		
x_1	7,6	4,1	1,9	2,9	7,7	10,4	10,2	**44,8**
	13,6			10,6		20,6		
x_2	20	10,5	7,3	7,1	13,6	6	1,5	**66**
	37,8			20,7		7,5		
$(x_2-x_1)/x_1$	*163,16%*	*156,10%*	*284,21%*	*144,83%*	*76,62%*	*-42,31%*	*-85,29%*	***47,32%***
	177,94%			*95,28%*		*-63,59%*		
x_3	17,7	9,9	8	9	14,4	6,1	1	**66,1**
	35,6			23,4		7,1		
$(x_3-x_2)/x_2$	*-11,50%*	*-5,71%*	*9,59%*	*26,76%*	*5,88%*	*1,67%*	*-33,33%*	***0,15%***
	-5,82%			*13,04%*		*-5,33%*		

[$g^2 10^{-4}$]	1-3 Hz	4-7 Hz	8-10 Hz	11-13 Hz	14-20 Hz	21-32 Hz	33-48 Hz	Σ
	1-10 Hz			11-20 Hz		21-48 Hz		
y_1	0,7	0,8	0,3	0,3	3,6	2,8	1,2	**9,7**
	1,8			3,9		4		
y_2	1,5	1,9	1,9	1,3	3,7	3,1	0,6	**14**
	5,3			5		3,7		
$(y_2-y_1)/y_1$	*114,29%*	*137,50%*	*533,33%*	*333,33%*	*2,78%*	*10,71%*	*-50,00%*	***44,33%***
	194,44%			*28,21%*		*-7,50%*		
y_3	1,6	2,3	2,1	1,2	3	2,4	0,5	**13,1**
	6			4,2		2,9		
$(y_3-y_2)/y_2$	*6,67%*	*21,05%*	*10,53%*	*-7,69%*	*-18,92%*	*-22,58%*	*-16,67%*	***-6,43%***
	13,21%			*-16,00%*		*-21,62%*		

[$g^2 10^{-4}$]	1-3 Hz	4-7 Hz	8-10 Hz	11-13 Hz	14-20 Hz	21-32 Hz	33-48 Hz	Σ
	1-10 Hz			11-20 Hz		21-48 Hz		
z_1	0,7	0,3	0,4	0,4	0,9	0,9	1,2	**4,8**
	1,4			1,3		2,1		
z_2	0,8	0,5	0,6	0,8	1,6	1,5	0,5	**6,3**
	1,9			2,4		2		
$(z_2-z_1)/z_1$	*14,29%*	*66,67%*	*50,00%*	*100,00%*	*77,78%*	*66,67%*	*-58,33%*	***31,25%***
	35,71%			*84,62%*		*-4,76%*		
z_3	1,2	0,7	0,9	1,1	2,1	1,6	0,4	**8**
	2,8			3,2		2		
$(z_3-z_2)/z_2$	*50,00%*	*40,00%*	*50,00%*	*37,50%*	*31,25%*	*6,67%*	*-20,00%*	***26,98%***
	47,37%			*33,33%*		*0,00%*		

DRÄGER ITI 5400 - Simulierter Transport mit dem Neugeborenen-Intensivtransportwagen – Landstraße



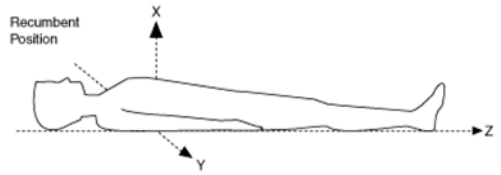
Sensor A	Am Fahrzeugboden	x_1, y_1, z_1
Sensor B	Im Inkubator unter der Schaumstoffmatte	x_2, y_2, z_2
Sensor C	Im Inkubator auf der Schaumstoffmatte	x_3, y_3, z_3

[$g^2 10^{-4}$]	1-3 Hz	4-7 Hz	8-10 Hz	11-13 Hz	14-20 Hz	21-32 Hz	33-48 Hz	Σ
	1-10 Hz			11-20 Hz		21-48 Hz		
x_1	12,2	8,6	6,9	8,5	27,2	43,3	43,8	**150,5**
	27,7			35,7		87,1		
x_2	22,6	13,1	10,8	8,4	19,3	9,9	2	**86,1**
	46,5			27,7		11,9		
$(x_2-x_1)/x_1$	*85,25%*	*52,33%*	*56,52%*	*-1,18%*	*-29,04%*	*-77,14%*	*-95,43%*	***-42,79%***
	67,87%			*-22,41%*		*-86,34%*		
x_3	21,7	14,5	14,6	11	21,1	9,9	1,3	**94,1**
	50,8			32,1		11,2		
$(x_3-x_2)/x_2$	*-3,98%*	*10,69%*	*35,19%*	*30,95%*	*9,33%*	*0,00%*	*-35,00%*	***9,29%***
	9,25%			*15,88%*		*-5,88%*		

[$g^2 10^{-4}$]	1-3 Hz	4-7 Hz	8-10 Hz	11-13 Hz	14-20 Hz	21-32 Hz	33-48 Hz	Σ
	1-10 Hz			11-20 Hz		21-48 Hz		
y_1	0,8	0,9	0,6	0,5	4,7	4,2	2	**13,7**
	2,3			5,2		6,2		
y_2	1,8	2,6	2,5	1,5	4,1	4,3	0,7	**17,5**
	6,9			5,6		5		
$(y_2-y_1)/y_1$	*125,00%*	*188,89%*	*316,67%*	*200,00%*	*-12,77%*	*2,38%*	*-65,00%*	***27,74%***
	200,00%			*7,69%*		*-19,35%*		
y_3	2,2	3,3	2,8	1,3	3,4	3,3	0,6	**16,9**
	8,3			4,7		3,9		
$(y_3-y_2)/y_2$	*22,22%*	*26,92%*	*12,00%*	*-13,33%*	*-17,07%*	*-23,26%*	*-14,29%*	***-3,43%***
	20,29%			*-16,07%*		*-22,00%*		

[$g^2 10^{-4}$]	1-3 Hz	4-7 Hz	8-10 Hz	11-13 Hz	14-20 Hz	21-32 Hz	33-48 Hz	Σ
	1-10 Hz			11-20 Hz		21-48 Hz		
z_1	0,6	0,4	0,5	0,5	1,3	1,6	1,5	**6,4**
	1,5			1,8		3,1		
z_2	0,6	0,6	0,8	0,7	2,9	2,5	0,6	**8,7**
	2			3,6		3,1		
$(z_2-z_1)/z_1$	*0,00%*	*50,00%*	*60,00%*	*40,00%*	*123,08%*	*56,25%*	*-60,00%*	***35,94%***
	33,33%			*100,00%*		*0,00%*		
z_3	0,9	0,9	1,2	1,1	3,7	2,6	0,5	**10,9**
	3			4,8		3,1		
$(z_3-z_2)/z_2$	*50,00%*	*50,00%*	*50,00%*	*57,14%*	*27,59%*	*4,00%*	*-16,67%*	***25,29%***
	50,00%			*33,33%*		*0,00%*		

***DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* - Simulierter Transport mit dem Neugeborenen-Intensivtransportwagen – Schnellstraße**

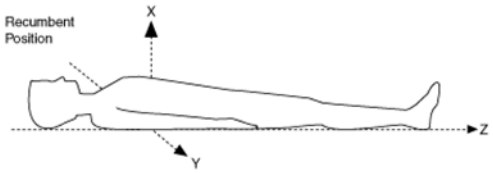
	Sensor A	Am Fahrzeugboden	x_1, y_1, z_1
	Sensor B	Im Inkubator unter der Schaumstoffmatte	x_2, y_2, z_2
	Sensor C	Im Inkubator auf der Schaumstoffmatte	x_3, y_3, z_3

[$g^2 10^{-4}$]	**1-3 Hz**	**4-7 Hz**	**8-10 Hz**	**11-13 Hz**	**14-20 Hz**	**21-32 Hz**	**33-48 Hz**	**Σ**
	1-10 Hz			**11-20 Hz**		**21-48 Hz**		
x_1	15	4,1	4	3,7	12,9	26,4	23,7	**89,8**
	23,1			16,6		50,1		
x_2	29,1	6,6	7,6	19,7	84,8	24,1	1,8	**173,7**
	43,3			104,5		25,9		
$(x_2-x_1)/x_1$	*94,00%*	*60,98%*	*90,00%*	*432,43%*	*557,36%*	*-8,71%*	*-92,41%*	***93,43%***
	87,45%			*529,52%*		*-48,30%*		
x_3	27,1	6,5	7	19,3	50,9	9,5	0,9	**121,2**
	40,6			70,2		10,4		
$(x_3-x_2)/x_2$	*-6,87%*	*-1,52%*	*-7,89%*	*-2,03%*	*-39,98%*	*-60,58%*	*-50,00%*	***-30,22%***
	-6,24%			*-32,82%*		*-59,85%*		

[$g^2 10^{-4}$]	**1-3 Hz**	**4-7 Hz**	**8-10 Hz**	**11-13 Hz**	**14-20 Hz**	**21-32 Hz**	**33-48 Hz**	**Σ**
	1-10 Hz			**11-20 Hz**		**21-48 Hz**		
y_1	0,5	0,2	0,3	0,3	3,1	2,8	1,4	**8,6**
	1			3,4		4,2		
y_2	1,9	0,9	1,1	0,4	9,3	3,2	1	**17,8**
	3,9			9,7		4,2		
$(y_2-y_1)/y_1$	*280,00%*	*350,00%*	*266,67%*	*33,33%*	*200,00%*	*14,29%*	*-28,57%*	***106,98%***
	290,00%			*185,29%*		*0,00%*		
y_3	2,1	1,1	1,3	0,5	6,7	2,5	0,7	**14,9**
	4,5			7,2		3,2		
$(y_3-y_2)/y_2$	*10,53%*	*22,22%*	*18,18%*	*25,00%*	*-27,96%*	*-21,88%*	*-30,00%*	***-16,29%***
	15,38%			*-25,77%*		*-23,81%*		

[$g^2 10^{-4}$]	**1-3 Hz**	**4-7 Hz**	**8-10 Hz**	**11-13 Hz**	**14-20 Hz**	**21-32 Hz**	**33-48 Hz**	**Σ**
	1-10 Hz			**11-20 Hz**		**21-48 Hz**		
z_1	0,5	0,3	0,3	0,3	1	1,6	1	**5**
	1,1			1,3		2,6		
z_2	1,1	1	2,9	1,8	1,5	1	0,7	**10**
	5			3,3		1,7		
$(z_2-z_1)/z_1$	*120,00%*	*233,33%*	*866,67%*	*500,00%*	*50,00%*	*-37,50%*	*-30,00%*	***100,00%***
	354,55%			*153,85%*		*-34,62%*		
z_3	1,2	1,1	3,8	2,2	2,2	0,9	0,6	**12**
	6,1			4,4		1,5		
$(z_3-z_2)/z_2$	*9,09%*	*10,00%*	*31,03%*	*22,22%*	*46,67%*	*-10,00%*	*-14,29%*	***20,00%***
	22,00%			*33,33%*		*-11,76%*		

***DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* - Simulierter Transport mit dem Neugeborenen-Intensivtransportwagen – Stadtverkehr**

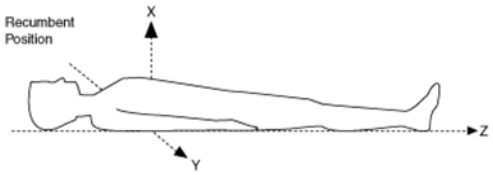
	Sensor A	Am Fahrzeugboden	x_1, y_1, z_1
	Sensor B	Im Inkubator unter der Schaumstoffmatte	x_2, y_2, z_2
	Sensor C	Im Inkubator auf der Schaumstoffmatte	x_3, y_3, z_3

[$g^2 10^{-4}$]	**1-3 Hz**	**4-7 Hz**	**8-10 Hz**	**11-13 Hz**	**14-20 Hz**	**21-32 Hz**	**33-48 Hz**	**Σ**
	1-10 Hz			**11-20 Hz**		**21-48 Hz**		
x_1	7	3,9	1,8	2,8	6,3	9,6	11,8	**43,2**
	12,7			9,1		21,4		
x_2	23,4	9,6	10,2	38,8	124	22,1	2,7	**230,8**
	43,2			162,8		24,8		
$(x_2-x_1)/x_1$	*234,29%*	*146,15%*	*466,67%*	*1285,71%*	*1868,25%*	*130,21%*	*-77,12%*	***434,26%***
	240,16%			*1689,01%*		*15,89%*		
x_3	21,5	8,5	9,4	32,4	83,3	9,5	1,1	**165,7**
	39,4			115,7		10,6		
$(x_3-x_2)/x_2$	*-8,12%*	*-11,46%*	*-7,84%*	*-16,49%*	*-32,82%*	*-57,01%*	*-59,26%*	***-28,21%***
	-8,80%			*-28,93%*		*-57,26%*		

[$g^2 10^{-4}$]	**1-3 Hz**	**4-7 Hz**	**8-10 Hz**	**11-13 Hz**	**14-20 Hz**	**21-32 Hz**	**33-48 Hz**	**Σ**
	1-10 Hz			**11-20 Hz**		**21-48 Hz**		
y_1	0,6	0,8	0,4	0,3	3,1	2,5	1,1	**8,8**
	1,8			3,4		3,6		
y_2	1,8	2,5	2,1	0,7	9,6	2,7	1,2	**20,6**
	6,4			10,3		3,9		
$(y_2-y_1)/y_1$	*200,00%*	*212,50%*	*425,00%*	*133,33%*	*209,68%*	*8,00%*	*9,09%*	***134,09%***
	255,56%			*202,94%*		*8,33%*		
y_3	1,8	3,1	2,5	0,7	6,4	2,2	0,7	**17,4**
	7,4			7,1		2,9		
$(y_3-y_2)/y_2$	*0,00%*	*24,00%*	*19,05%*	*0,00%*	*-33,33%*	*-18,52%*	*-41,67%*	***-15,53%***
	15,63%			*-31,07%*		*-25,64%*		

[$g^2 10^{-4}$]	**1-3 Hz**	**4-7 Hz**	**8-10 Hz**	**11-13 Hz**	**14-20 Hz**	**21-32 Hz**	**33-48 Hz**	**Σ**
	1-10 Hz			**11-20 Hz**		**21-48 Hz**		
z_1	0,7	0,3	0,3	0,3	0,9	1	1,1	**4,6**
	1,3			1,2		2,1		
z_2	2,3	2	3,3	2	1,7	0,8	0,8	**12,9**
	7,6			3,7		1,6		
$(z_2-z_1)/z_1$	*228,57%*	*566,67%*	*1000,00%*	*566,67%*	*88,89%*	*-20,00%*	*-27,27%*	***180,43%***
	484,62%			*208,33%*		*-23,81%*		
z_3	2,7	2,2	4,1	3	3,1	0,8	0,7	**16,6**
	9			6,1		1,5		
$(z_3-z_2)/z_2$	*17,39%*	*10,00%*	*24,24%*	*50,00%*	*82,35%*	*0,00%*	*-12,50%*	***28,68%***
	18,42%			*64,86%*		*-6,25%*		

***DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* - Simulierter Transport mit dem Neugeborenen-Intensivtransportwagen – Landstraße**

	Sensor A	Am Fahrzeugboden	x_1, y_1, z_1
	Sensor B	Im Inkubator unter der Schaumstoffmatte	x_2, y_2, z_2
	Sensor C	Im Inkubator auf der Schaumstoffmatte	x_3, y_3, z_3

[$g^2 10^{-4}$]	**1-3 Hz**	**4-7 Hz**	**8-10 Hz**	**11-13 Hz**	**14-20 Hz**	**21-32 Hz**	**33-48 Hz**	**Σ**
	1-10 Hz			**11-20 Hz**		**21-48 Hz**		
x_1	9,6	7,4	6,4	7,5	23,6	37,6	39	**131,1**
	23,4			31,1		76,6		
x_2	21,3	11,6	12,7	31,7	135	31,6	3	**246,9**
	45,6			166,7		34,6		
$(x_2-x_1)/x_1$	*121,88%*	*56,76%*	*98,44%*	*322,67%*	*472,03%*	*-15,96%*	*-92,31%*	***88,33%***
	94,87%			*436,01%*		*-54,83%*		
x_3	19,9	10,8	12,5	28,3	86,1	11	1,3	**169,9**
	43,2			114,4		12,3		
$(x_3-x_2)/x_2$	*-6,57%*	*-6,90%*	*-1,57%*	*-10,73%*	*-36,22%*	*-65,19%*	*-56,67%*	***-31,19%***
	-5,26%			*-31,37%*		*-64,45%*		

[$g^2 10^{-4}$]	**1-3 Hz**	**4-7 Hz**	**8-10 Hz**	**11-13 Hz**	**14-20 Hz**	**21-32 Hz**	**33-48 Hz**	**Σ**
	1-10 Hz			**11-20 Hz**		**21-48 Hz**		
y_1	0,7	0,6	0,4	0,4	3,5	3,6	1,6	**10,8**
	1,7			3,9		5,2		
y_2	1,9	1,9	2,1	0,7	11,8	3,7	1,3	**23,4**
	5,9			12,5		5		
$(y_2-y_1)/y_1$	*171,43%*	*216,67%*	*425,00%*	*75,00%*	*237,14%*	*2,78%*	*-18,75%*	***116,67%***
	247,06%			*220,51%*		*-3,85%*		
y_3	1,9	2,5	2,4	0,8	8,6	2,9	0,8	**19,9**
	6,8			9,4		3,7		
$(y_3-y_2)/y_2$	*0,00%*	*31,58%*	*14,29%*	*14,29%*	*-27,12%*	*-21,62%*	*-38,46%*	***-14,96%***
	15,25%			*-24,80%*		*-26,00%*		

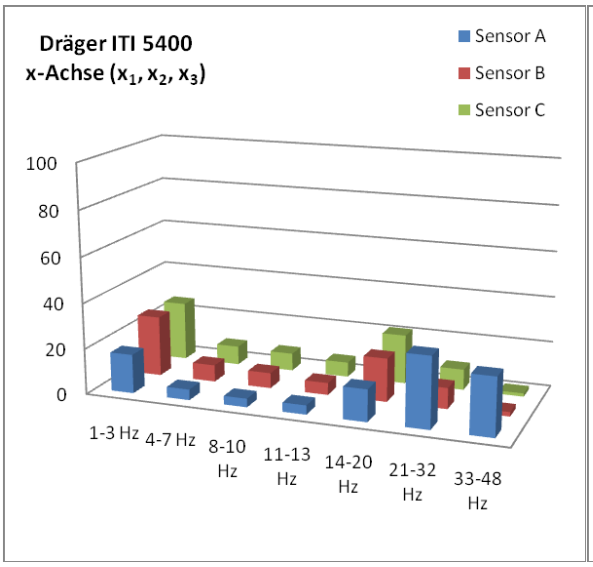
[$g^2 10^{-4}$]	**1-3 Hz**	**4-7 Hz**	**8-10 Hz**	**11-13 Hz**	**14-20 Hz**	**21-32 Hz**	**33-48 Hz**	**Σ**
	1-10 Hz			**11-20 Hz**		**21-48 Hz**		
z_1	0,6	0,4	0,4	0,4	1,1	1,6	1,4	**5,9**
	1,4			1,5		3		
z_2	1,5	1,7	3,9	1,7	1,8	1,2	0,9	**12,7**
	7,1			3,5		2,1		
$(z_2-z_1)/z_1$	*150,00%*	*325,00%*	*875,00%*	*325,00%*	*63,64%*	*-25,00%*	*-35,71%*	***115,25%***
	407,14%			*133,33%*		*-30,00%*		
z_3	1,8	2,2	5,3	2,7	3,2	1,1	0,7	**17**
	9,3			5,9		1,8		
$(z_3-z_2)/z_2$	*20,00%*	*29,41%*	*35,90%*	*58,82%*	*77,78%*	*-8,33%*	*-22,22%*	***33,86%***
	30,99%			*68,57%*		*-14,29%*		

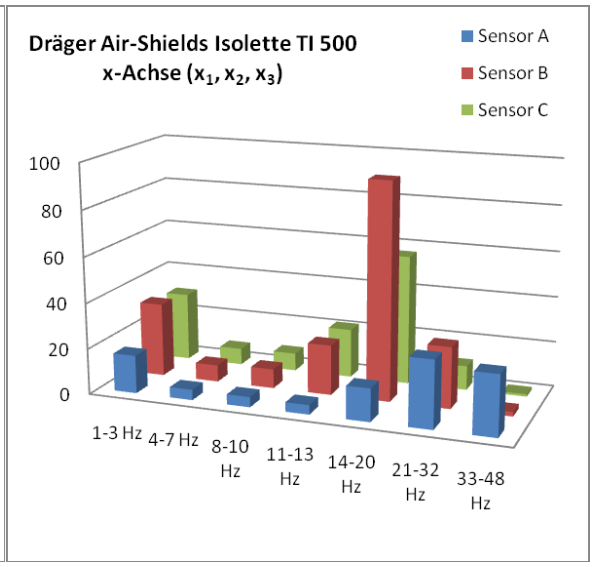
Das Auftreten mechanischer Schwingungen bei simulierten Inkubatortransporten mit dem Neugeborenen-Intensivtransportwagen auf der Schnellstraße - Vergleich zweier Transportinkubatoren nach Normierung der Daten

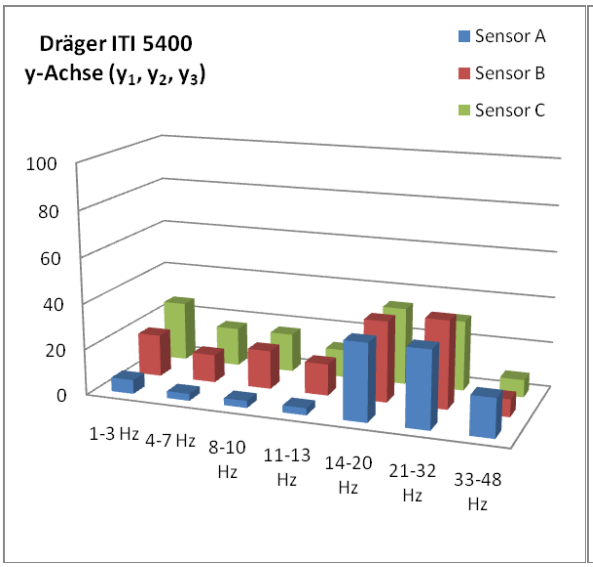
Dräger ITI 5400								
[$g^2 10^{-4}$]	**1-3 Hz**	**4-7 Hz**	**8-10 Hz**	**11-13 Hz**	**14-20 Hz**	**21-32 Hz**	**33-48 Hz**	**∑**
x_1	13,2	3,6	2,9	3,1	10,8	23,9	19,6	**77,1**
x_2	20,5	5,7	5,2	4,1	14,7	7,1	1,5	58,8
x_3	20,0	6,4	6,0	5,0	16,7	7,0	1,1	62,2
x_1/0,771	17,1	4,7	3,8	4,0	14,0	31,0	25,4	**100,0**
x_2/0,771	26,6	7,4	6,7	5,3	19,1	9,2	1,9	76,3
x_3/0,771	25,9	8,3	7,8	6,5	21,7	9,1	1,4	80,7
y_1	0,4	0,2	0,2	0,2	2,2	2,2	1,1	**6,5**
y_2	1,2	0,8	1,1	0,9	2,3	2,5	0,5	9,3
y_3	1,7	1,1	1,1	0,8	2,2	2,0	0,5	9,4
y_1/0,065	6,2	3,1	3,1	3,1	33,8	33,8	16,9	**100,0**
y_2/0,065	18,5	12,3	16,9	13,8	35,4	38,5	7,7	143,1
y_3/0,065	26,2	16,9	16,9	12,3	33,8	30,8	7,7	144,6
z_1	0,4	0,2	0,2	0,3	1	1,2	0,9	**4,2**
z_2	0,4	0,3	0,4	0,6	2,1	2,2	0,5	6,5
z_3	0,6	0,4	0,5	0,9	2,7	2,5	0,5	8,1
z_1/0,042	9,5	4,8	4,8	7,1	23,8	28,6	21,4	**100,0**
z_2/0,042	9,5	7,1	9,5	14,3	50,0	52,4	11,9	154,8
z_3/0,042	14,3	9,5	11,9	21,4	64,3	59,5	11,9	192,9

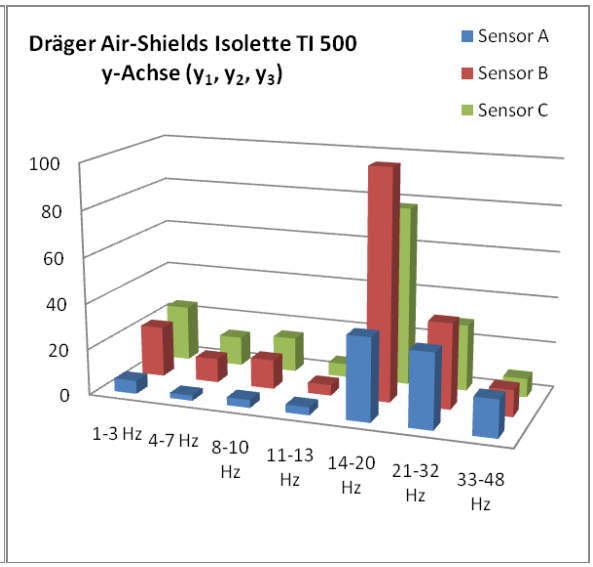
Dräger Air-Shields Isolette TI 500								
[$g^2 10^{-4}$]	**1-3 Hz**	**4-7 Hz**	**8-10 Hz**	**11-13 Hz**	**14-20 Hz**	**21-32 Hz**	**33-48 Hz**	**∑**
x_1	15,0	4,1	4,0	3,7	12,9	26,4	23,7	**89,8**
x_2	29,1	6,6	7,6	19,7	84,8	24,1	1,8	173,7
x_3	27,1	6,5	7,0	19,3	50,9	9,5	0,9	121,2
x_1/0,898	16,7	4,6	4,5	4,1	14,4	29,4	26,4	**100,0**
x_2/0,898	32,4	7,3	8,5	21,9	94,4	26,8	2,0	193,4
x_3/0,898	30,2	7,2	7,8	21,5	56,7	10,6	1,0	135,0
y_1	0,5	0,2	0,3	0,3	3,1	2,8	1,4	**8,6**
y_2	1,9	0,9	1,1	0,4	9,3	3,2	1,0	17,8
y_3	2,1	1,1	1,3	0,5	6,7	2,5	0,7	14,9
y_1/0,086	5,8	2,3	3,5	3,5	36,0	32,6	16,3	**100,0**
y_2/0,086	22,1	10,5	12,8	4,7	108,1	37,2	11,6	207,0
y_3/0,086	24,4	12,8	15,1	5,8	77,9	29,1	8,1	173,3
z_1	0,5	0,3	0,3	0,3	1	1,6	1	**5**
z_2	1,1	1	2,9	1,8	1,5	1	0,7	10
z_3	1,2	1,1	3,8	2,2	2,2	0,9	0,6	12
z_1/0,05	10,0	6,0	6,0	6,0	20,0	32,0	20,0	**100,0**
z_2/0,05	22,0	20,0	58,0	36,0	30,0	20,0	14,0	200,0
z3/0,05	24,0	22,0	76,0	44,0	44,0	18,0	12,0	240,0

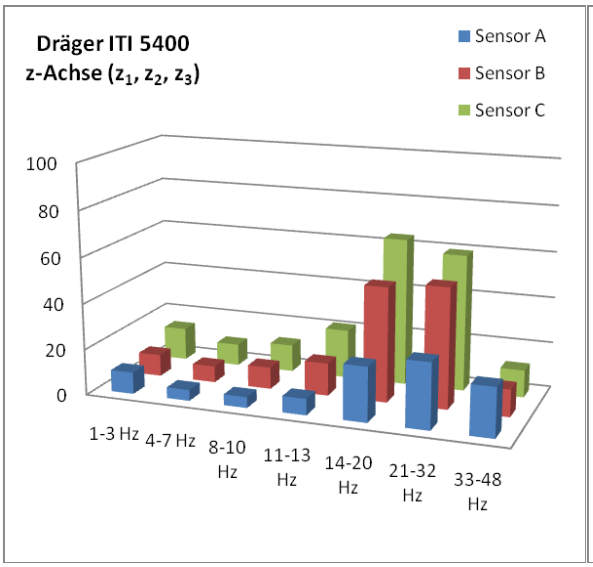
Das Auftreten mechanischer Schwingungen bei simulierten Inkubatortransporten mit dem Neugeborenen-Intensivtransportwagen auf der Schnellstraße – Vergleich zweier Transportinkubatoren nach Normierung der Daten

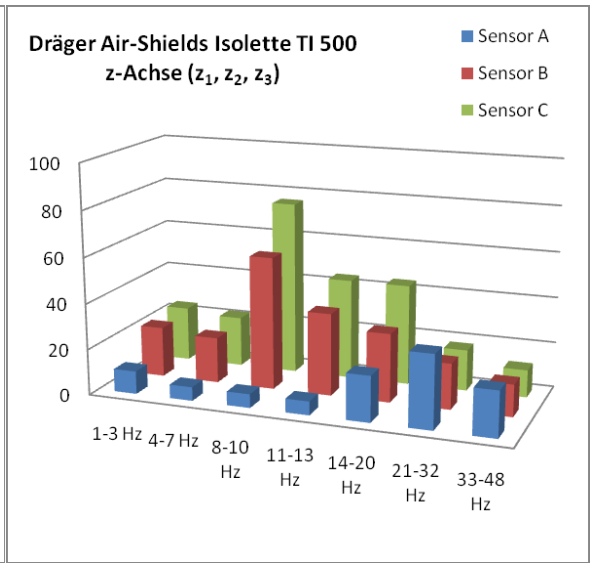










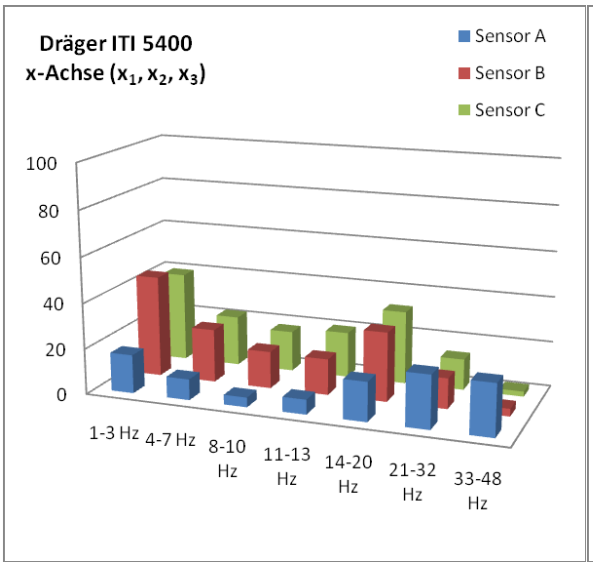


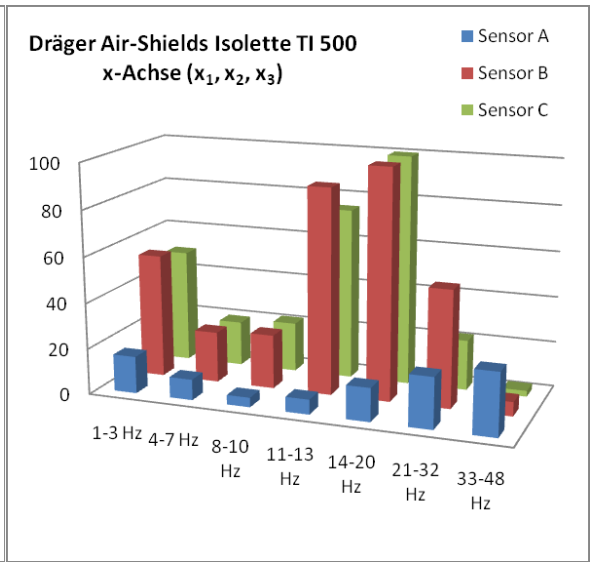
Das Auftreten mechanischer Schwingungen bei simulierten Inkubatortransporten mit dem Neugeborenen-Intensivtransportwagen im Stadtverkehr – Vergleich zweier Transportinkubatoren nach Normierung der Daten

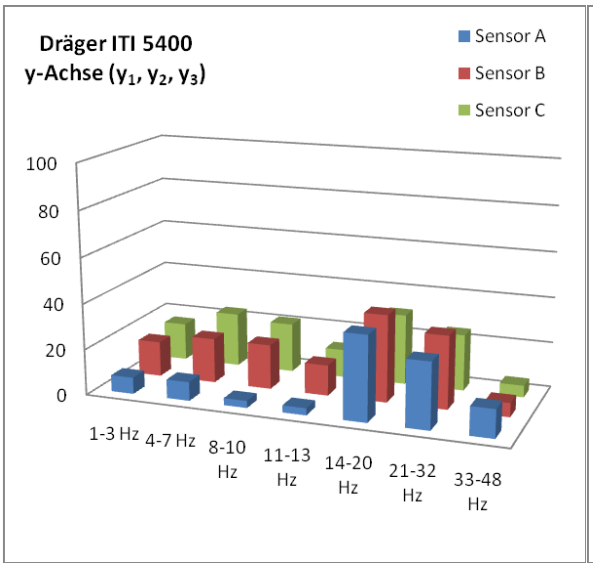
Dräger ITI 5400								
[$g^2 10^{-4}$]	**1-3 Hz**	**4-7 Hz**	**8-10 Hz**	**11-13 Hz**	**14-20 Hz**	**21-32 Hz**	**33-48 Hz**	**∑**
x_1	7,6	4,1	1,9	2,9	7,7	10,4	10,2	**44,8**
x_2	20,0	10,5	7,3	7,1	13,6	6,0	1,5	66,0
x_3	17,7	9,9	8,0	9,0	14,4	6,1	1,0	66,1
x_1/0,448	17,0	9,2	4,2	6,5	17,2	23,2	22,8	**100,0**
x_2/0,448	44,6	23,4	16,3	15,8	30,4	13,4	3,3	147,3
x_3/0,448	39,5	22,1	17,9	20,1	32,1	13,6	2,2	147,5
y_1	0,7	0,8	0,3	0,3	3,6	2,8	1,2	**9,7**
y_2	1,5	1,9	1,9	1,3	3,7	3,1	0,6	14,0
y_3	1,6	2,3	2,1	1,2	3,0	2,4	0,5	13,1
y_1/0,097	7,2	8,2	3,1	3,1	37,1	28,9	12,4	**100,0**
y_2/0,097	15,5	19,6	19,6	13,4	38,1	32,0	6,2	144,3
y_3/0,097	16,5	23,7	21,6	12,4	30,9	24,7	5,2	135,1
z_1	0,7	0,3	0,4	0,4	0,9	0,9	1,2	**4,8**
z_2	0,8	0,5	0,6	0,8	1,6	1,5	0,5	6,3
z_3	1,2	0,7	0,9	1,1	2,1	1,6	0,4	8
z_1/0,048	14,6	6,3	8,3	8,3	18,8	18,8	25,0	**100,0**
z_2/0,048	16,7	10,4	12,5	16,7	33,3	31,3	10,4	131,3
z_3/0,048	25,0	14,6	18,8	22,9	43,8	33,3	8,3	166,7

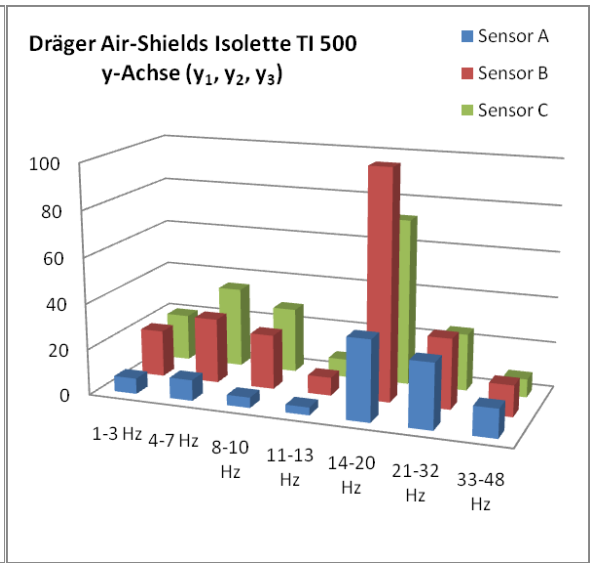
Dräger Air-Shields Isolette TI 500								
[$g^2 10^{-4}$]	**1-3 Hz**	**4-7 Hz**	**8-10 Hz**	**11-13 Hz**	**14-20 Hz**	**21-32 Hz**	**33-48 Hz**	**∑**
x_1	7,0	3,9	1,8	2,8	6,3	9,6	11,8	**43,2**
x_2	23,4	9,6	10,2	38,8	124,0	22,1	2,7	230,8
x_3	21,5	8,5	9,4	32,4	83,3	9,5	1,1	165,7
x_1/0,432	16,2	9,0	4,2	6,5	14,6	22,2	27,3	**100,0**
x_2/0,432	54,2	22,2	23,6	89,8	287,0	51,2	6,3	534,3
x_3/0,432	49,8	19,7	21,8	75,0	192,8	22,0	2,5	383,6
y_1	0,6	0,8	0,4	0,3	3,1	2,5	1,1	**8,8**
y_2	1,8	2,5	2,1	0,7	9,6	2,7	1,2	20,6
y_3	1,8	3,1	2,5	0,7	6,4	2,2	0,7	17,4
y_1/0,088	6,8	9,1	4,5	3,4	35,2	28,4	12,5	**100,0**
y_2/0,088	20,5	28,4	23,9	8,0	109,1	30,7	13,6	234,1
y_3/0,088	20,5	35,2	28,4	8,0	72,7	25,0	8,0	197,7
z_1	0,7	0,3	0,3	0,3	0,9	1	1,1	**4,6**
z_2	2,3	2	3,3	2	1,7	0,8	0,8	12,9
z_3	2,7	2,2	4,1	3	3,1	0,8	0,7	16,6
z_1/0,046	15,2	6,5	6,5	6,5	19,6	21,7	23,9	**100,0**
z_2/0,046	50,0	43,5	71,7	43,5	37,0	17,4	17,4	280,4
z_3/0,046	58,7	47,8	89,1	65,2	67,4	17,4	15,2	360,9

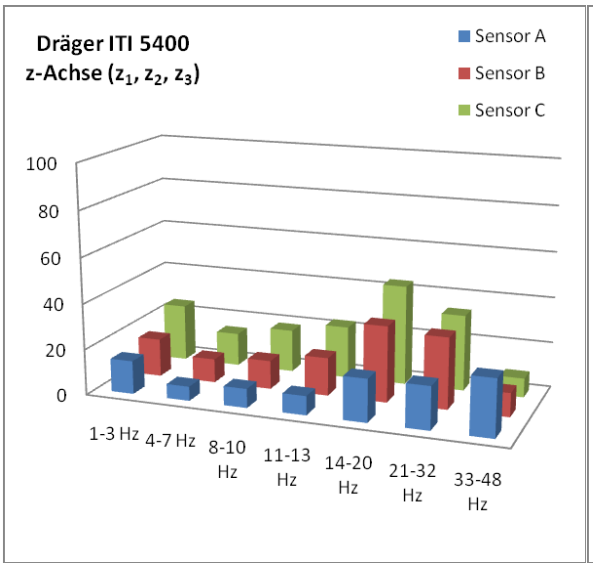
Das Auftreten mechanischer Schwingungen bei simulierten Inkubatortransporten mit dem Neugeborenen-Intensivtransportwagen im Stadtverkehr – Vergleich zweier Transportinkubatoren nach Normierung der Daten

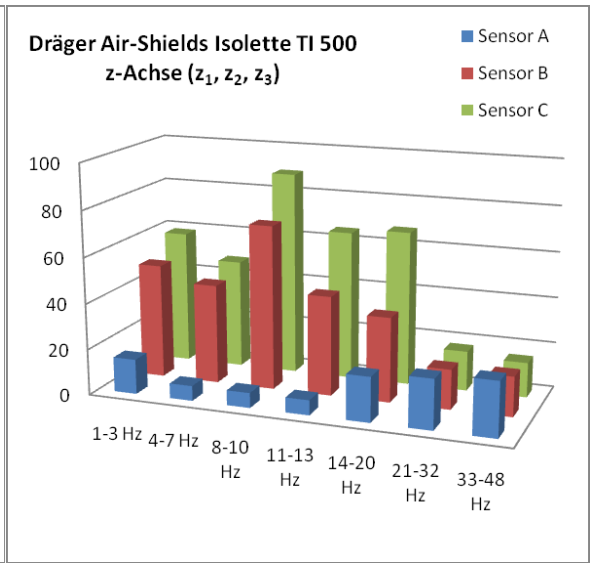










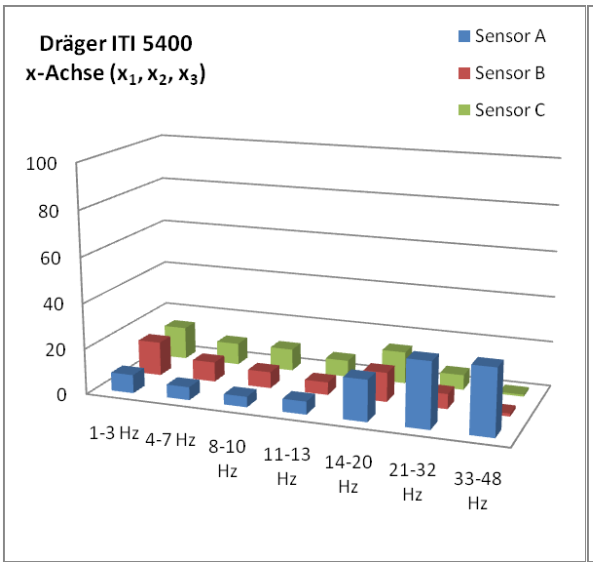


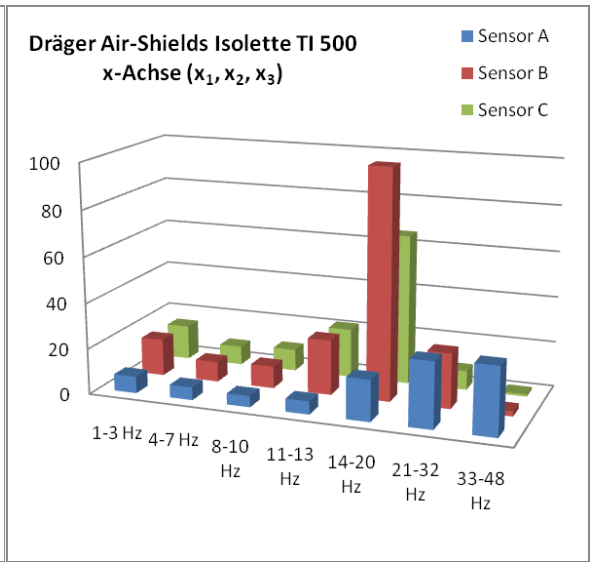
Das Auftreten mechanischer Schwingungen bei simulierten Inkubatortransporten mit dem Neugeborenen-Intensivtransportwagen auf Landstraßen – Vergleich zweier Transportinkubatoren nach Normierung der Daten

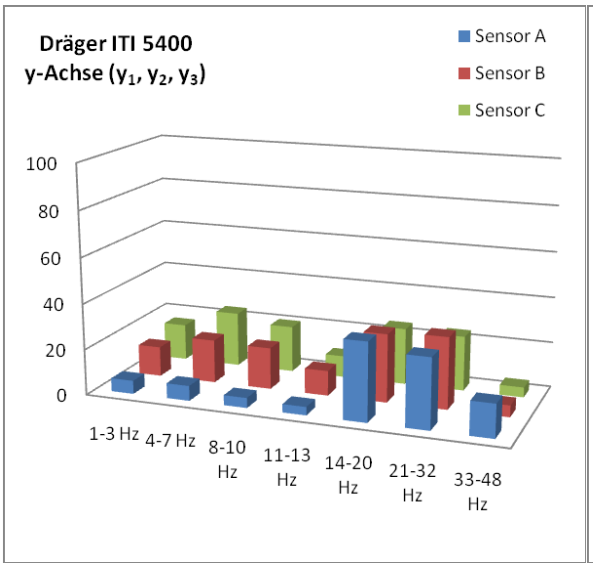
Dräger ITI 5400								
[$g^2 10^{-4}$]	**1-3 Hz**	**4-7 Hz**	**8-10 Hz**	**11-13 Hz**	**14-20 Hz**	**21-32 Hz**	**33-48 Hz**	**∑**
x_1	12,2	8,6	6,9	8,5	27,2	43,3	43,8	**150,5**
x_2	22,6	13,1	10,8	8,4	19,3	9,9	2,0	86,1
x_3	21,7	14,5	14,6	11,0	21,1	9,9	1,3	94,1
x_1/1,505	8,1	5,7	4,6	5,6	18,1	28,8	29,1	**100,0**
x_2/1,505	15,0	8,7	7,2	5,6	12,8	6,6	1,3	57,2
x_3/1,505	14,4	9,6	9,7	7,3	14,0	6,6	0,9	62,5
y_1	0,8	0,9	0,6	0,5	4,7	4,2	2,0	**13,7**
y_2	1,8	2,6	2,5	1,5	4,1	4,3	0,7	17,5
y_3	2,2	3,3	2,8	1,3	3,4	3,3	0,6	16,9
y_1/0,137	5,8	6,6	4,4	3,6	34,3	30,7	14,6	**100,0**
y_2/0,137	13,1	19,0	18,2	10,9	29,9	31,4	5,1	127,7
y_3/0,137	16,1	24,1	20,4	9,5	24,8	24,1	4,4	123,4
z_1	0,6	0,4	0,5	0,5	1,3	1,6	1,5	**6,4**
z_2	0,6	0,6	0,8	0,7	2,9	2,5	0,6	8,7
z_3	0,9	0,9	1,2	1,1	3,7	2,6	0,5	10,9
z_1/0,064	9,4	6,3	7,8	7,8	20,3	25,0	23,4	**100,0**
z_2/0,064	9,4	9,4	12,5	10,9	45,3	39,1	9,4	135,9
z_3/0,064	14,1	14,1	18,8	17,2	57,8	40,6	7,8	170,3

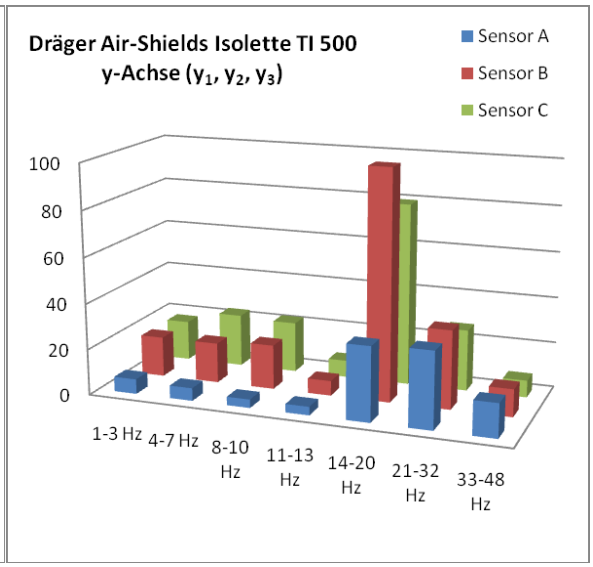
Dräger Air-Shields Isolette TI 500								
[$g^2 10^{-4}$]	**1-3 Hz**	**4-7 Hz**	**8-10 Hz**	**11-13 Hz**	**14-20 Hz**	**21-32 Hz**	**33-48 Hz**	**∑**
x_1	9,6	7,4	6,4	7,5	23,6	37,6	39,0	**131,1**
x_2	21,3	11,6	12,7	31,7	135,0	31,6	3,0	246,9
x_3	19,9	10,8	12,5	28,3	86,1	11,0	1,3	169,9
x_1/1,311	7,3	5,6	4,9	5,7	18,0	28,7	29,7	**100,0**
x_2/1,311	16,2	8,8	9,7	24,2	103,0	24,1	2,3	188,3
x_3/1,311	15,2	8,2	9,5	21,6	65,7	8,4	1,0	129,6
y_1	0,7	0,6	0,4	0,4	3,5	3,6	1,6	**10,8**
y_2	1,9	1,9	2,1	0,7	11,8	3,7	1,3	23,4
y_3	1,9	2,5	2,4	0,8	8,6	2,9	0,8	19,9
y_1/0,108	6,5	5,6	3,7	3,7	32,4	33,3	14,8	**100,0**
y_2/0,108	17,6	17,6	19,4	6,5	109,3	34,3	12,0	216,7
y_3/0,108	17,6	23,1	22,2	7,4	79,6	26,9	7,4	184,3
z_1	0,6	0,4	0,4	0,4	1,1	1,6	1,4	**5,9**
z_2	1,5	1,7	3,9	1,7	1,8	1,2	0,9	12,7
z_3	1,8	2,2	5,3	2,7	3,2	1,1	0,7	17
z_1/0,059	10,2	6,8	6,8	6,8	18,6	27,1	23,7	**100,0**
z_2/0,059	25,4	28,8	66,1	28,8	30,5	20,3	15,3	215,3
z_3/0,059	30,5	37,3	89,8	45,8	54,2	18,6	11,9	288,1

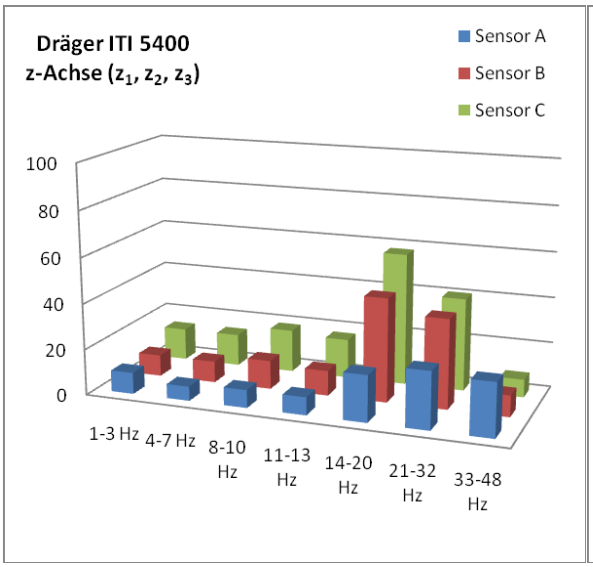
Das Auftreten mechanischer Schwingungen bei simulierten Inkubatortransporten mit dem Neugeborenen-Intensivtransportwagen auf Landstraßen – Vergleich zweier Transportinkubatoren nach Normierung der Daten

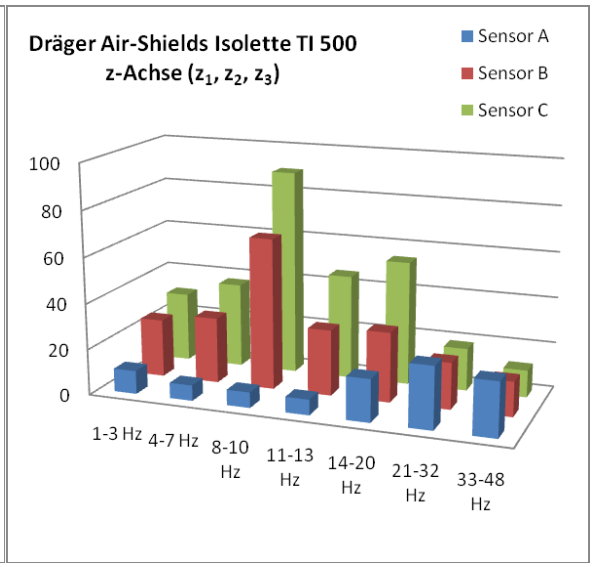






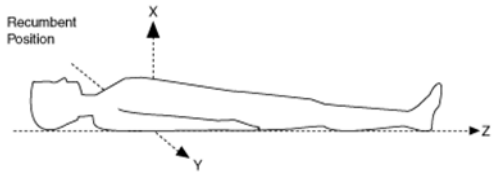






Anhang C: Ergebnisse der 3. Messreihe

***DRÄGER ITI 5400* - Krankenhausinterner Transport am Fahrgestell**

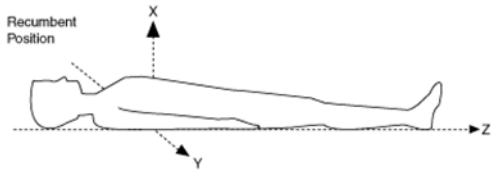
	Sensor A	Am Fahrgestell in Bodennähe	x_1, y_1, z_1
	Sensor B	Im Inkubator unter der Schaumstoffmatte	x_2, y_2, z_2
	Sensor C	Im Inkubator auf der Schaumstoffmatte	x_3, y_3, z_3

[$g^2 10^{-4}$]	**1-3 Hz**	**4-7 Hz**	**8-10 Hz**	**11-13 Hz**	**14-20 Hz**	**21-32 Hz**	**33-48 Hz**	**Σ**
	1-10 Hz			**11-20 Hz**		**21-48 Hz**		
x_1	0,2	0,6	1,1	5,3	2	1,3	1	**11,5**
	1,9			7,3		2,3		
x_2	0,1	0,7	2	3,5	2,7	0,6	0,4	**10**
	2,8			6,2		1		
$(x_2-x_1)/x_1$	*-50,00%*	*16,67%*	*81,82%*	*-33,96%*	*35,00%*	*-53,85%*	*-60,00%*	***-13,04%***
	47,37%			*-15,07%*		*-56,52%*		
x_3	0,1	0,5	1,5	2,2	1,8	0,7	0,5	**7,3**
	2,1			4		1,2		
$(x_3-x_2)/x_2$	*0,00%*	*-28,57%*	*-25,00%*	*-37,14%*	*-33,33%*	*16,67%*	*25,00%*	***-27,00%***
	-25,00%			*-35,48%*		*20,00%*		

[$g^2 10^{-4}$]	**1-3 Hz**	**4-7 Hz**	**8-10 Hz**	**11-13 Hz**	**14-20 Hz**	**21-32 Hz**	**33-48 Hz**	**Σ**
	1-10 Hz			**11-20 Hz**		**21-48 Hz**		
y_1	0,2	0,6	1,5	1,5	1,4	1,2	0,8	**7,2**
	2,3			2,9		2		
y_2	0,1	0,8	0,7	0,4	0,4	0,3	0,2	**2,9**
	1,6			0,8		0,5		
$(y_2-y_1)/y_1$	*-50,00%*	*33,33%*	*-53,33%*	*-73,33%*	*-71,43%*	*-75,00%*	*-75,00%*	***-59,72%***
	-30,43%			*-72,41%*		*-75,00%*		
y_3	0,1	0,6	0,5	0,3	0,4	0,3	0,3	**2,5**
	1,2			0,7		0,6		
$(y_3-y_2)/y_2$	*0,00%*	*-25,00%*	*-28,57%*	*-25,00%*	*0,00%*	*0,00%*	*50,00%*	***-13,79%***
	-25,00%			*-12,50%*		*20,00%*		

[$g^2 10^{-4}$]	**1-3 Hz**	**4-7 Hz**	**8-10 Hz**	**11-13 Hz**	**14-20 Hz**	**21-32 Hz**	**33-48 Hz**	**Σ**
	1-10 Hz			**11-20 Hz**		**21-48 Hz**		
z_1	0,2	0,7	0,8	1,1	1,6	2,5	1,5	**8,4**
	1,7			2,7		4		
z_2	0,2	0,5	0,9	0,8	1	0,5	0,4	**4,3**
	1,6			1,8		0,9		
$(z_2-z_1)/z_1$	*0,00%*	*-28,57%*	*12,50%*	*-27,27%*	*-37,50%*	*-80,00%*	*-73,33%*	***-48,81%***
	-5,88%			*-33,33%*		*-77,50%*		
z_3	0,1	0,2	0,3	0,3	0,6	0,3	0,2	**2**
	0,6			0,9		0,5		
$(z_3-z_2)/z_2$	*-50,00%*	*-60,00%*	*-66,67%*	*-62,50%*	*-40,00%*	*-40,00%*	*-50,00%*	***-53,49%***
	-62,50%			*-50,00%*		*-44,44%*		

***DRÄGER Air-Shields Isolette TI 500* - Krankenhausinterner Transport am Fahrgestell**

	Sensor A	Am Fahrgestell in Bodennähe	x_1, y_1, z_1
	Sensor B	Im Inkubator unter der Schaumstoffmatte	x_2, y_2, z_2
	Sensor C	Im Inkubator auf der Schaumstoffmatte	x_3, y_3, z_3

[$g^2 10^{-4}$]	1-3 Hz	4-7 Hz	8-10 Hz	11-13 Hz	14-20 Hz	21-32 Hz	33-48 Hz	Σ
	1-10 Hz			11-20 Hz		21-48 Hz		
x_1	0,7	51,4	9,8	2,3	3	6,3	3	**76,5**
	61,9			5,3		9,3		
x_2	0,3	64,4	13,8	3,5	6,4	6,1	1,1	**95,6**
	78,5			9,9		7,2		
$(x_2-x_1)/x_1$	*-57,14%*	*25,29%*	*40,82%*	*52,17%*	*113,33%*	*-3,17%*	*-63,33%*	***24,97%***
	26,82%			*86,79%*		*-22,58%*		
x_3	0,4	56,1	12,5	2,8	3,1	1,7	0,5	**77,1**
	69			5,9		2,2		
$(x_3-x_2)/x_2$	*33,33%*	*-12,89%*	*-9,42%*	*-20,00%*	*-51,56%*	*-72,13%*	*-54,55%*	***-19,35%***
	-12,10%			*-40,40%*		*-69,44%*		

[$g^2 10^{-4}$]	1-3 Hz	4-7 Hz	8-10 Hz	11-13 Hz	14-20 Hz	21-32 Hz	33-48 Hz	Σ
	1-10 Hz			11-20 Hz		21-48 Hz		
y_1	0,4	0,3	0,3	0,3	0,5	0,6	0,6	**3**
	1			0,8		1,2		
y_2	0,6	1,3	1	0,3	0,7	1,2	0,6	**5,7**
	2,9			1		1,8		
$(y_2-y_1)/y_1$	*50,00%*	*333,33%*	*233,33%*	*0,00%*	*40,00%*	*100,00%*	*0,00%*	***90,00%***
	190,00%			*25,00%*		*50,00%*		
y_3	0,6	1,6	1,1	0,3	0,6	1,1	0,4	**5,7**
	3,3			0,9		1,5		
$(y_3-y_2)/y_2$	*0,00%*	*23,08%*	*10,00%*	*0,00%*	*-14,29%*	*-8,33%*	*-33,33%*	***0,00%***
	13,79%			*-10,00%*		*-16,67%*		

[$g^2 10^{-4}$]	1-3 Hz	4-7 Hz	8-10 Hz	11-13 Hz	14-20 Hz	21-32 Hz	33-48 Hz	Σ
	1-10 Hz			11-20 Hz		21-48 Hz		
z_1	0,5	1	1	0,7	1,1	2,3	0,9	**7,5**
	2,5			1,8		3,2		
z_2	0,3	1	1,6	1	0,4	2,5	1,1	**7,9**
	2,9			1,4		3,6		
$(z_2-z_1)/z_1$	*-40,00%*	*0,00%*	*60,00%*	*42,86%*	*-63,64%*	*8,70%*	*22,22%*	***5,33%***
	16,00%			*-22,22%*		*12,50%*		
z_3	0,2	2	2,3	1,2	0,5	1,8	0,7	**8,7**
	4,5			1,7		2,5		
$(z_3-z_2)/z_2$	*-33,33%*	*100,00%*	*43,75%*	*20,00%*	*25,00%*	*-28,00%*	*-36,36%*	***10,13%***
	55,17%			*21,43%*		*-30,56%*		

Anhang D: Curriculum vitae

Persönliche Daten

Name	Bernhard Schwaberger
Geburtsdatum	13.02.1984
Geburtsort	Graz
Staatsangehörigkeit	Österreich
Familienstand	ledig

Schullaufbahn

1994 – 2002	*BRG Körösistraße*, Graz Ausgezeichneter Erfolg bei der Matura 2002
1990 – 1994	*Volksschule Viktor Kaplan*, Graz

Zivildienst

2002 – 2003	*Arche 38* – Notschlafstelle für Männer, *Caritas Diözese Graz-Seckau*

Universitäre Ausbildung

Seit Okt. 2003	Diplomstudium der Humanmedizin, Medizinische Universität Graz Erste Diplomprüfung (Juli 2004) Zweite Diplomprüfung (Februar 2009)
Juli 2008	Forschungsaufenthalt am Departamento de Anatomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Mexiko (2 Wochen)
Feb. – Jun. 2008	ERASMUS-Studienaufenthalt an der Universidad de La Laguna, Facultad de Medicína, San Cristóbal De La Laguna, Spanien (1 Semester)

Famulaturen im Ausland

Okt. 2011 (geplant)	Bayalpata Hospital, Achham, Nepal (2-3 Wochen)
Okt. – Dez. 2010	St. Gabriel's Hospital, Namitete, Malawi (9 Wochen)
Sep. 2009	Maternal Ward (Abteilung für Geburtshilfe), Tu Du Hospital, University of medicine and pharmacy, Ho Chi Minh City, Vietnam (4 Wochen)
März 2009	Labor Ward (Kreißsaal), Sekou Toure Regional Hospital, Mwanza, Tanzania (1 Woche)
Feb. – März 2009	Nyakato Health Center, International Health Partners, Nyakato, Tanzania (4 Wochen)

Juli 2008	Departamento de Urgencias (Notaufnahme), Hospital Universitario Dr. José Eleuterio González, Monterrey, Mexiko (1 Woche)
Mai – Juni 2008	Departamento de Anestesiologia y Reanimación, Hospital Universitario de Tenerife, San Cristóbal De La Laguna, Spanien (2 Wochen)
Feb. – Apr. 2008	Departamento de Pediatría, Hospital Universitario Ntra. Sra. De Candelaria, Santa Cruz de Tenerife, Spanien (8 Wochen)

Famulaturen im Inland

Nov. – Dez. 2009	Abteilung für Kinder- und Jugendheilkunde, LKH Leoben (3 Wochen)
Okt. – Nov. 2009	Fachbereich Kinderchirurgische Anästhesie, Universitätsklinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin, LKH Graz (3 Wochen)
Apr. 2009	Abteilung für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie, Krankenhaus der Elisabethinen Graz (2 Wochen)
Juni – Juli 2008	Universitätsklinik für Kinder- und Jugendheilkunde, LKH Graz (2 Wochen)
Sep. 2007	Universitätsklinik für Neurologie, LKH Graz (2 Wochen)
Aug. 2007	Universitätsklinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin, LKH Graz (4 Wochen)
Juli 2007	Universitätsklinik für Radiologie, LKH Graz (2 Wochen)
Sep. 2005	Universitätsklinik für Kinderchirurgie, LKH Graz (4 Wochen)

Praktika im 6. Studienjahr

Apr. –Mai 2010	Dr. Zechner Peter, Facharzt für Allgemeinmedizin (200 Stunden)
Dez. ‘09 – Apr. ‘10	Akut- und Notfallmedizin am Notfallwagen des Roten Kreuzes, Universitätsklinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin, LKH Graz (240 Stunden)
Okt. 2009	Abteilung für Kinder- und Jugendheilkunde, LKH Leoben (120 Stunden)
Apr.–Juni 2009	Abteilung für Innere Medizin, LKH Fürstenfeld (240 Stunden)

Vertiefte Ausbildungen (Spezielle Studienmodule)

März – Juni 2008	Practices of Paediatrics (im Rahmen des Erasmus-Aufenthaltes in San Cristobal de La Laguna, Spanien)
Mai – Juli 2008	Politraumatic Patients and Emergency Care (im Rahmen des Erasmus-Aufenthaltes in San Cristobal de La Laguna, Spanien)
Mai – Juli 2007	Notfallmedizin
März – Apr. 2007	Grundlagen der Ernährung, oxidativer Stress und Sport
Dez. ‘05 – Feb. ‘06	Angewandte Physiologie
Dez. ‘04 – Feb. ‘05	Klinisch-topografische Anatomie der Eingeweide

Zusätzliche extrauniversitäre Ausbildungen

Jan. - Juni 2011	*Kriseninterventions*-Ausbildung beim *Österreichischen Roten Kreuz* zur Berechtigung der Arbeit in Kriseninterventionsteams
Juli 2010	Abschluss der Ausbildung zum *NKI-Rettungsmediziner* beim *Medizinercorps Graz* des *Österreichischen Roten Kreuzes*
März 2010	Abschluss der Ausbildung zum *Notfallsanitäter mit besonderer Notfallkompetenz Beatmung und Intubation (NKI)* beim *Österreichischen Roten Kreuz*, Graz
Okt. 2009	Abschluss der Ausbildung zum *Notfallsanitäter mit allgemeiner Notfallkompetenz Venenzugang und Infusion (NKV)* beim *Österreichischen Roten Kreuz*, Graz
Okt. 2009	Abschluss der Ausbildung zum *Notfallsanitäter mit allgemeiner Notfallkompetenz Arzneimittellehre (NKA)* beim *Österreichischen Roten Kreuz*, Graz
Juni 2009	Abschluss der Ausbildung zum *Notfallsanitäter* durch beim *Österreichischen Roten Kreuz*, Laubegg
Mai 2006	Abschluss der Ausbildung zum *Rettungssanitäter* beim *Österreichischen Roten Kreuz*, Graz
Dez. 2005	Abschluss der Ausbildung zum *Kinderschilehrer* beim *Steirischen Schilehrerverband*, Haus im Ennstal

Ehrenamtliche Tätigkeiten

Seit Sept. 2010	Mitglied des Schulungsteams des *Medizinercorps Graz* des *Österreichischen Roten Kreuzes*
Seit Juli 2010	NKI-Rettungsmediziner am Notfallwagen, *Österreichisches Rotes Kreuz*, Bezirksstellen Graz-Stadt
Seit Sept. 2005	Rettungsdienst beim *Österreichischen Roten Kreuz*, Bezirksstelle Graz-Stadt (5000 geleistete Stunden, 500 Krankentransporte, 200 Rettungseinsätze, 850 Notfalleinsätze, Stand: 10.9.2011)
Seit 2000	Ferialbetreuer bei bzw. Leitung (seit 2006) und Organisation (seit 2008) von insgesamt zwölf, jeweils ein- bis dreiwöchigen Kindersommer- und -winterferienlagern im In- und Ausland, Aktion *Ferien mit Freunden* der *Caritas Diözese Graz-Seckau*
2003 – 2006	Betreuung und Beratung von Hilfesuchenden, *Arche 38* – Notschlafstelle für Männer, *Caritas Diözese Graz-Seckau*
2003 – 2004	Kinderfußballtrainer beim *ASV Gösting* (U10), Graz

Haupt- und nebenberufliche Tätigkeiten

März – Aug. 2011	NKI-Rettungsmediziner am Notfallwagen, *Österreichisches Rotes Kreuz*, Bezirksstellen Graz-Stadt
Seit Juli 2010	Durchführung von Intensivtransporten, indikationsabhängig mit oder ohne Intensivmediziner, *Österreichisches Rotes Kreuz*, Bezirksstellen Graz-Stadt (100 Intensivtransporte, Stand: 10.9.2011)
Okt. – Dez. 2008	Angestellter im Service beim *Gasthof Stoffbauer*, Graz

Dez. ‘06 – März ‘07	Kinderschilehrer in der *Schischule Tritscher*, Rohrmoos
Dez. ‘05 – Jan ‘06	Kinderschilehrer in der *Schischule Ramsau-West*, Ramsau
Feb. 2004	Aushilfsschilehrer in *Edith´s Schischule*, Katschberg
2002 – 2003	Besuchsdienst im *Johannes von Gott-Pflegezentrum* der *Barmherzigen Brüder*, Kainbach bei Graz

Sprachkenntnisse

Englisch	sehr gut in Wort und Schrift Teilnahme am Proseminar *Medical English* über 120 Stunden
Spanisch	gut in Wort und Schrift Teilnahme am Proseminar *Spanisch für Mediziner* über 60 Stunden
Italienisch	Grundkenntnisse
Chichewa	Grundkenntnisse

Stand: 14.9.2011