

Aus der Klinik für Nephrologie und internistische Intensivmedizin
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Reduzierung negativer physikalischer Einflüsse
beim Transport von Notfallpatienten

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor rerum medicarum (Dr. rer. medic.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Dipl.-Ing. (FH) Rolf-Dieter Erbe

aus Berlin

Gutachter: 1. Priv.-Doz. Dr. med. F. Martens
 2. Priv.-Doz. Dr. med. H.-H. Schauwecker
 3. Prof. Dr. med. T. Volk
 4. Priv.-Doz. Dr. med. K.-D. Schaser

Datum der Promotion: 24.02.2012

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Grundlagen	
2.1	Die Geschichte des „Rettungstransportes“	6
2.2	Vorgaben für Rettungsdienstfahrzeuge und deren Ausrüstung	7
2.3	Transporttrauma	8
2.4	Auswirkungen von Schwingungen auf den Menschen	9
2.5	Der K-Wert	17
2.6	Lärm	18
2.7	Temperatur	20
3	Fragestellung	22
4	Methode	
4.1	Beschleunigungsmessungen	23
4.2	Lärmmessungen	31
4.3	Temperaturmessungen	32
4.4	Befragungen	33
5	Ergebnisse	
5.1	Beschleunigungsmessungen	34
5.2	Lärmmessungen	51
5.3	Temperaturmessungen	52
5.4	Befragungen	53
6	Diskussion	
6.1	Schwingungsbelastungen	55
6.2	Lärmbelastung	65
6.3	Temperatureinflüsse	72
6.4	Bewertung der Befragungen	74
6.5	Vorgaben für Rettungsdienstfahrzeuge und deren Ausrüstung	76
6.6	Fahrweise	77

7	Verbesserungsansätze	79
8	Zusammenfassung	82
9	Darstellungsverzeichnis	86
10	Literaturverzeichnis	89
	Anlage	93
	Lebenslauf	94
	Publikationsliste	95
	Selbständigkeitserklärung	98
	Danksagung	99

1 Einleitung

Die Versorgung von Notfallpatienten durch den Rettungsdienst beginnt am Einsatzort und erfolgt nach einem anerkannten Standard der Notfallmedizin sowie nach internationalen Richtlinien. Notfallpatienten werden bei deren Versorgung und vor einem Transport immobilisiert. Besonders beim Trauma erfolgen zum schonenden Transport umfangreiche Maßnahmen, um weitere Schädigungen während des Transportes möglichst auszuschließen (Enke 2009).

Zum Patiententransport in ein Krankenhaus werden besonders ausgerüstete Kraftfahrzeuge eingesetzt. Während der Fahrt ist ein Patient vielfältigen Belastungen ausgesetzt. Sie wirken sich physisch und psychisch auf seinen Zustand aus. Zu diesen Belastungsfaktoren gehören unterschiedliche Einwirkungen: Bewegungen durch auftretende Beschleunigungen aufgrund von Vibrationen und Schwingungen, Temperatur im Fahrzeug sowie eine Schallexposition durch Fahrgeräusche und durch den Gebrauch von Sondersignalen (Pabsch 1992, Witzel 1998, Pietschmann 2000).

Mögliche gesundheitliche Schäden durch Transporteinflüsse werden als Transporttrauma bezeichnet (Poloczek 2000, Ellinger 2005). Dazu sind bis auf einzelne Arbeiten zum Transport von Neugeborenen bisher keine weiteren Untersuchungen bekannt (Röhlke 1993, Siegel 2000, Speidel 2008).

Der Bereich der Patientenbelastung durch physikalische Einflüsse wurde bis heute nicht ausreichend untersucht. Die Einflüsse wurden in ihrer Gesamtheit bis heute nicht zusammengetragen und bewertet. Bisherige Untersuchungen (Sandow 1968, Snook 1977, Poloczek 2000, Hans 2009) einzelner Einflüsse und Erkenntnisse sind erstaunlicherweise auch nicht bei der Planung von Rettungswagen berücksichtigt worden. Zum Großteil sind sie nicht einmal im Rettungsdienst allgemein bekannt.

Diese Arbeit untersucht die physikalischen Belastungen und diskutiert die Möglichkeiten der Reduzierung durch Optimierung der Transportbedingungen. Erstmals wird die Summe der möglichen physikalischen Faktoren zusammengetragen, die einen Transport kritisch-kranker und verletzter Patienten beeinflussen können. Daraus werden Lösungsansätze für die Reduzierung negativer Belastungen erarbeitet, um ein Transporttrauma zu minimieren.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden die Grundlagen dargestellt, die zum Verständnis der Arbeit nötig sind. Dabei wird die Entwicklung von Fahrzeugen für den Patiententransport einleitend beschrieben, um die Problematik der Vielzahl der Fahrzeugvarianten aufzuzeigen, und gegebene Vorgaben dargestellt. Der Absatz Transporttrauma unter dem Aspekt physikalischer Einflüsse beschreibt die bisher nicht ausreichend untersuchten möglichen Patientenschädigungen. Es werden nur die Grundlagen dargestellt, die für die Arbeit relevant sind und dem Verständnis für die weiteren Untersuchungen dienen. Das Kapitel erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit.

2.1 Die Geschichte des „Rettungstransportes“

Wie viele Kriege haben auch der 1. und 2. Weltkrieg mit Lazarettomnibussen, OP-Bussen und Lazarettzügen die Weiterentwicklung von Transportgefährten vorangebracht. Erste Erwähnung finden Krankenwagen im Jahr 1907 für die Festung Metz und ein Jahr später auch bei einem Einsatz für das Garnisonslazarett Berlin-Tempelhof. Italien war die erste Militärmacht, die Krankenkraftwagen in großen Stückzahlen im 1. Weltkrieg einsetzte. Die ersten zivilen Fahrzeuge wurden nach dem 1. Weltkrieg in München eingesetzt, wegen geringer Reichweite aber nur im Stadtgebiet (Hörber 1976).

Die Motorisierung führte im Krankentransportwesen zu erheblichen Fortschritten. Mangels gesetzlicher Regelungen, blieb der Rettungsdienst aber noch bis in die 70er Jahre des 20. Jahrhunderts von reiner Transporttätigkeit geprägt. Lange Zeit wurde auch bei Hilfsorganisationen vom „Fahrdienst“ gesprochen. Die medizinischen Belange und technische Verbesserungen zum Transportkomfort fanden kaum Beachtung. Ganz im Gegenteil: Fehlende Erkenntnisse, mangelhafte Ausbildung und die potenzielle Verschlechterung des Patientenzustandes führten regelmäßig zu einer Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit und damit auch zur Zunahme der Belastungen beim Transport (Witzel 1998, Witzel 2006). Die Versuche, die Krankenkraftfahrzeuge und ihre Ausrüstung zu verbessern, stießen zunächst vielerorts auf Unverständnis und wurden aus Kostengründen nicht weiter verfolgt. Krankenkraftfahrzeuge werden, gemessen am Fahrzeugmarkt insgesamt, in geringen Stückzahlen auf Basis von Lieferwagen gebaut. Daher wird seitens der Fahrzeugindustrie dieser Nischenmarkt nur nebenbei bedient. Andererseits sind diese Fahrzeuge immer Sonderausbauten.

Die Forderung nach einer verbesserten Ausrüstung von Rettungswagen führte zum Einsatz größerer Fahrzeuge. Die Entwicklung der heutigen Rettungswagen lässt dennoch eine patientengerechte Konstruktion nicht im erforderlichen Umfang erkennen. Ein etwas paradox erscheinender Grund ist, dass mit dieser Weiterentwicklung die in den 60er- und 70er-Jahren benutzten Pkw-Fahrgestelle mit gutem Fahrkomfort durch größere Kasten-Lkw ersetzt werden mussten und damit zwar das Platzangebot verbessert, der Fahr- und Transportkomfort jedoch geringer wurde. Eine Verbesserung der Transportsituation forderte bereits Sandow (1968), Snook (1977), Röhlke (1992) und Pietschmann (2000).

In Deutschland ist der Rettungsdienst – nach dem Föderalismusprinzip des Grundgesetzes – Ländersache und wird daher durch Landesgesetze geregelt. Diese sind sehr unterschiedlich und von einer Einheitlichkeit weit entfernt. Hinzu kommt, dass neben den Rettungsdiensten der Kommunen diese Aufgabe auch an private Rettungsdienstunternehmen, Berufsfeuerwehren und an Hilfsorganisationen übertragen wird. Diese verschiedenen Einrichtungen entwickelten alle einen „eigenen Rettungswagen“, der sich in vielerlei Hinsicht von anderen Modellen unterscheidet. Inzwischen erzielte Erkenntnisse und Verbesserungen setzen sich daher nur langsam überall durch.

2.2 Vorgaben für Rettungsdienstfahrzeuge und deren Ausrüstung

Der Normenausschuss Rettungsdienst und Krankenhaus (NARK) im DIN, Deutsches Institut für Normung e.V., ist zuständig für die nationale Normung auf den Gebieten rettungsdienstliche Systeme, Krankenhaus und Medizintechnik und vertritt die deutschen Normungsinteressen auf europäischer (CEN) und internationaler (ISO) Ebene. Dieses Mandat umfasst die Erarbeitung von Normen, die zum reibungslosen Ablauf der medizinischen Versorgung im organisierten Rettungsdienst benötigt werden, einschließlich der dafür erforderlichen Ausrüstung von Land-, Wasser- und Luftfahrzeugen und deren medizinischer Ausstattung. Durch Normung für diese Aufgabenbereiche soll eine sichere Beförderung von Patienten gewährleistet werden. Darin ist der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik in der Notfallmedizin, der medizinisch-technischen Ausrüstung sowie der Fahrzeugtechnik für eine entsprechende medizinische Versorgung beschrieben.

Dieser Normenausschuss erarbeitet stets die aktuelle Fassung einer Norm DIN EN 1789 (2007), „Rettungsdienstfahrzeuge und deren Ausrüstung – Krankenkraftwagen“. Die Norm unterscheidet verschiedene Fahrzeugtypen und gibt Richtlinien für deren technische und medizinische Ausstat-

tung. Eine weitere Richtlinie zum Bau und zur Ausführung von Rettungsfahrzeugen gibt es nicht. Obwohl in unserer technisierten Welt so vieles geregelt ist, wird die Konzeption von Rettungsmitteln dem Anwender selbst überlassen. Es bleibt immer der Planung von Aufbau und Besteller überlassen, welche Fahrzeugbasis, welcher Aufbau und welche Ausstattung gewählt wird.

2.3 Transporttrauma

In der Notfallmedizin wird der Begriff Transporttrauma für alle Schädigungen an Patienten genannt, die durch den ortsverändernden Transport vom Einsatzort zur Zielklinik eintreten. Bisher ist auch dieser Vorgang nicht ausreichend untersucht. Zudem finden sich nur wenige Veröffentlichungen zur dieser Thematik. (Ellinger et al. 2005)

Poloczek/Madler (2000) haben dazu ausgeführt, dass als „Transporttrauma“ die Summe aller während des Transportes auf den Patienten einwirkenden, potenziell schädigenden Faktoren, definiert wird. Darüber hinaus gibt es keine weitere Definition in Normen oder einschlägiger Literatur.

Es werden im Wesentlichen vier Faktoren diskutiert, die das Ausmaß des Transporttraumas bestimmen:

- Spontanverlauf der Erkrankung
- inadäquate Transportbedingungen
- Missgeschicke
- Transportstress

Stress- und physikalische Belastungen wie Erschütterungen (Schwingungen), Beschleunigungskräfte, Temperaturwechsel und Lärmexposition sind ursächlich für Stressreaktionen und auch aufgrund direkter Einwirkungen schädigend. Stressfaktoren lösen zusätzliche Belastungsreaktionen aus (Weber et al. 2009).

Die Qualität der Belastungen und damit des Stresses lässt sich nach Schönpflug (1987) grob in biologische, physikalisch-geographische, technische und (psycho-)soziale Gesichtspunkte unterteilen.

Witzel et al. (1998) haben belastende Einflüsse in Abhängigkeit zu der Transportart an Freiwilligen nachgewiesen, indem sie bei verschiedenen Transportmethoden von der Einsatzstelle zum Fahrzeug jeweils die Puls- und Blutdruckwerte im Vergleich zu den Referenzwerten im Ruhezustand aufgenommen haben. In einem weiteren Versuch wurden durch Transportfahrten veränderte Puls-, Blutdruck- und Cortisol-Werte bei gesunden Probanden festgestellt.

Bisher werden Notfallpatienten schnell und mit Sondersignal, ggf. unter Einsatz eines schwingenden Krankentragentisches im Rettungswagen transportiert. Eine Einweisung oder ein besonderes Training für Fahrer von Rettungswagen ist dabei bis heute nicht vorgesehen.

Für den Transport von Notfallpatienten gibt es daher und auch aufgrund fehlender Untersuchungen dieses speziellen Problems keine genauen Richtlinien und Fehlerbetrachtungen. Einzig zu den Interhospitaltransporten gibt es Veröffentlichungen, insbesondere zu Empfehlungen als Grundlage für einen gefahrlosen Transport von Intensivpatienten (vgl. Poloczec/Madler 2000):

- optimale Transportvorbereitung
- konsequente Fortführung von Therapie und Monitoring
- kompetente personelle Begleitung
- organisatorisches Gesamtkonzept

2.4 Auswirkungen von Schwingungen auf den Menschen

Begriffsbestimmung

In dieser Arbeit werden die Begriffe Beschleunigung und Schwingung benutzt. Dabei bedeutet Beschleunigung die Änderung der Geschwindigkeit eines Körpers durch äußere Krafteinwirkung, was durch die einwirkende Bewegungsenergie zu möglichen Schäden führen kann.

Eine Schwingung bezeichnet den Verlauf einer Zustandsänderung grundsätzlich durch periodische Energieumwandlung zwischen zwei Zustandsformen. Dabei durchläuft das betroffene System wiederholt nach einem festen Zeitintervall den Ausgangszustand. Hier wird damit die Krafteinwirkung in der Vertikalebene verbunden, die als Ursache für die Bewegungen und Einwirkungen auf die Schwingungssysteme gilt. Beide Begriffe bedeuten immer die Verknüpfung eines Bewegungsablaufes mit auftretenden und resultierend wirkenden Kräften.

Grundsätze

Das Schwingungsverhalten moderner Rettungsmittel und die Abhängigkeit der verschiedenen Schwingungssysteme, wurden von Pabsch (1992) beschrieben. Bei der Feuerwehr Hamburg hat Pietschmann (2000) die Beschleunigungen am Patienten beim Einsatz verschiedener Fahrzeugtypen und Schwingtische gemessen. Diese Ergebnisse lagen noch innerhalb der damals in der alten DIN 75080 zulässigen (theoretisch festgesetzten) Werte (K-Wert nach VDI 2057, siehe Abschnitt 2.5). Dieser Komfortwert war jedoch recht willkürlich gewählt und eine bewertete Schwingungsgröße, die aus arbeitsmedizinischen Erfahrungen an schwingungsexponierten Arbeitsplätzen in der Industrie hervorging. In der neuen DIN EN 1789 für Rettungsfahrzeuge findet dieser Wert keine Erwähnung mehr. Obwohl so vieles in Deutschland geregelt und genormt ist, finden sich zum Schwingungsverhalten von Rettungswagen keine weiteren Normen oder technischen Regeln. Auch die Quer- und Längsachsenschwingungen und Wankneigungen bleiben unberücksichtigt. Es handelt sich bei dem Rettungsfahrzeug nicht um eine einzelne Schwingungsmasse, sondern um ein recht kompliziertes Schwingungssystem mit ganz eigenem Schwingungsverhalten.

Die Besonderheit „Inkubatortransport“ und die wesentlich höhere Empfindlichkeit von Neonaten beim Transport werden in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet. Sie war Gegenstand einiger anderer Arbeiten.

Vertikalschwingungen

Bei der Suche nach Literaturhinweisen fanden sich vor allem ältere Ergebnisse. So hat Dieckmann 1957 den Einfluss von vertikalen harmonischen mechanischen Schwingungen bei Frequenzen von 0,8-70 Hz auf den Menschen untersucht und dabei auch das unterschiedliche Schwingungsverhalten verschiedener Körperteile bestimmt. Es wurden Teilfederungen und unterschiedliches Schwingungsverhalten festgestellt. Subjektiv und objektiv messbar stellte Dieckmann die physikalischen Bedingungen für eine physiologische Wirkung dar. Daraus ergeben sich verschiedene Resonanzstellen oberhalb einer Hauptresonanzfrequenz zwischen 4,0 und 5,5 Hertz, bei der der Hauptteil der Körpermasse in Resonanz gerät. Die kritischen Eigenfrequenzen anderer Teile des Organismus tragen zu einer Gesamtbelastung des Menschen unter Schwingungseinfluss bei. Ausschlaggebend sind in Abhängigkeit von der Frequenz die einzelnen Schwingbeschleunigungen, Schwingungsgeschwindigkeit und der Schwingweg. Der Mensch ist schwingungsmechanisch nicht als reine Masse, sondern als ein gedämpftes Masse-Feder-System

zu betrachten. Die geringste Toleranz des Menschen gegenüber vertikalen Schwingungen liegt bei Frequenzen von 4 bis 8 Hz. Hier befindet sich die Hauptresonanz (Dieckmann 1957).

Horizontalschwingungen

Dieckmann hat daraufhin 1958 den Einfluss horizontaler Schwingungen auf den Menschen betrachtet und stellte kritische transversale Eigenschwingungen des Körpers in einem Frequenzbereich von 1 bis 3 Hz fest. Dabei erkannte er ellipsenförmige Schwingungserscheinungen am Kopf und folgerte daraus einen Zusammenhang mit der Entstehung von Kinetosen. Die aus horizontalen Schwingungen folgenden belastenden Eigenschwingungen liegen zwischen 1 und 3 Hz (Dieckmann 1958).

Biologische Wirkung

1968 hat Sandow die biologische Wirkung mechanischer Schwingungen an Probanden in Krankenwagen untersucht. Sie kam zu dem Ergebnis, dass ganz allgemein eine Belastung beim Transport vorhanden ist. Auch hier wurde als besonders belastend die Wagenaufbaueigenfrequenz von 1 bis 1,5 Hz und die der weiteren ungefederten Massen von 10 bis 20 Hz mit Auswirkungen auf Kopf und Brust festgestellt. Subjektiv äußerten die Probanden den liegenden Transport als unangenehmer, objektiv war die Kreislaufbeanspruchung im Sitzen höher als im Liegen. Jedoch war die Beschleunigung von Kopf und Brust im Liegen höher, da die dämpfende Wirkung der Wirbelsäule fehlte (Sandow 1968).

Erwähnt wurde bereits Witzel 1998 mit der Untersuchung der biologischen Wirkung des Transportes mit 54 Freiwilligen. Die Grafik zeigt den Verlauf der Pulsfrequenz auf einer Transportfahrt mit 40 und 70 km/h. Dabei wurde bei schnellerer Fahrt mit Sondersignal eine Pulserhöhung bis zu 30% und ein Blutdruckanstieg auf bis zu 180 mm/Hg bei den gesunden Probanden festgestellt. Der Cortisol-Wert stieg um 100%.

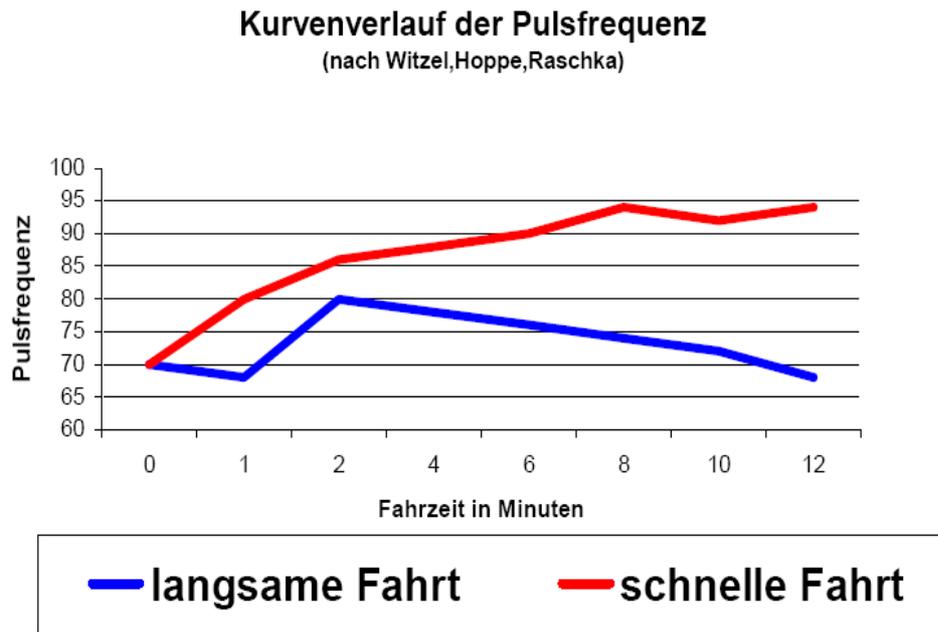


Abb. 2.4-1: Verlauf der Pulsfrequenz bei Probanden in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit nach Witzel (1998).

Andere Auswirkungen der mechanischen Schwingungen sind in der neueren Literatur beschrieben worden. Sie wirken auf das kardiovaskuläre, respiratorische und auf das periphere Nervensystem. Diese Erkenntnisse aus der Arbeitsmedizin sind nicht unmittelbar auf kurzzeitige Einwirkungen zu übertragen, zeigen aber den nicht zu unterschätzenden Einfluss der Schwingungen auf den Menschen (Dupuis 1976).

Das alles zeigt die Komplexität des Gesamtsystems Kraftfahrzeug-Mensch.

Grundsätzlich kann dieses schwingende System in folgende Elemente eingeteilt werden:

- Räder
- Achse
- Fahrzeugaufbau (Chassis)
- Schwingtisch
- Tragegestell
- Mensch

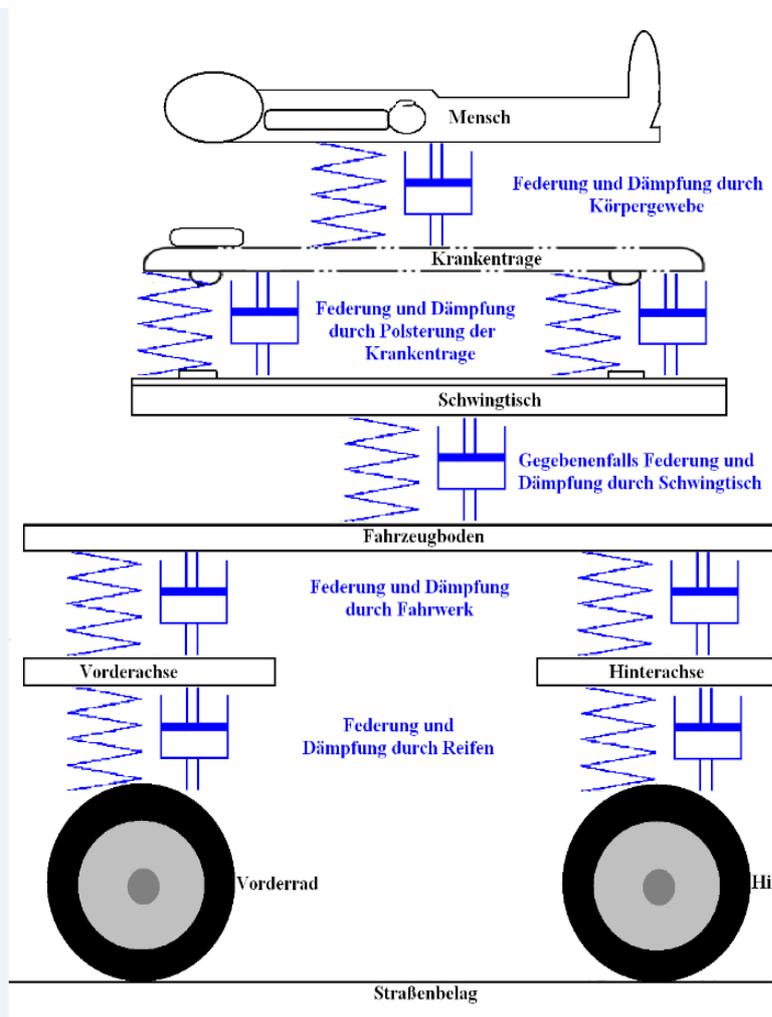


Abb. 2.4-2: Darstellung des komplexen Schwingungssystems im Rettungswagen.

Auch der Mensch besteht nicht aus einer einzigen schwingenden Masse, sondern hat durch seine Formen und Organsysteme unterschiedliche Resonanzen.

Daraus können sich unterschiedliche Interaktionen ergeben. Abhängig vom beeinflussenden Frequenzbereich können bestimmte Körperregionen reagieren. Es sind Auswirkungen der mechanischen Schwingungen beschrieben worden, so z.B. auf das kardiovaskuläre System, auf das respiratorische System und auf das periphere Nervensystem (Dupuis 1984)

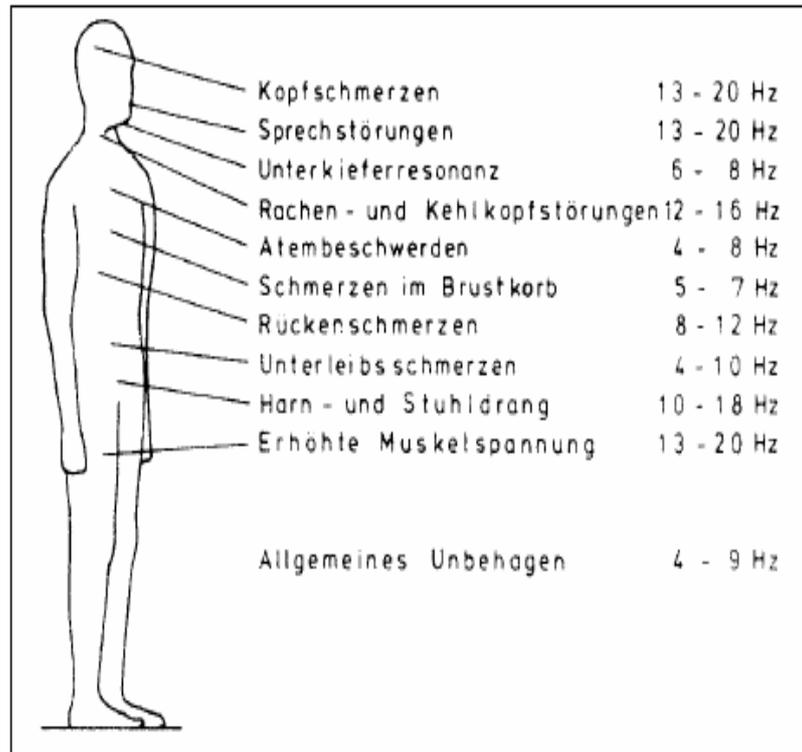


Abb. 2.4-3: Frequenzabhängige Schwingungseinflüsse auf den Menschen nach Dupuis (1984).

Die Erfahrungen und in der Arbeitsmedizin gesetzte Belastungsgrenzen (K-Werte) beziehen sich immer auf eine achtstündige regelmäßige Tätigkeit. Kurzzeitbeeinflussungen, insbesondere an Notfallpatienten, wurden bisher nicht untersucht. Eine Skalierung einer subjektiven Empfindung könnte auch nicht exakt und allgemeingültig festgelegt werden. Die Grenzen und Empfindungen sind immer individuell vorhanden. Dabei sind weitere folgende Faktoren ausschlaggebend:

- Fahrzeug
- Unebenheit der Straße
- Fahrzeuggeschwindigkeit
- Wellenlänge der Unebenheiten

Fahrzeugtechnisch kommt es dabei zu einer Haupteigenfrequenz, angeregt durch die Aufbaueigenfrequenz von 1 bis 2 Hz und die höherfrequente Rad-/Achsenfrequenz von 8 bis 15 Hz. Ggf. kommt noch die Störgröße vom Motor/Getriebe mit 12 bis 15 Hz hinzu.

Der Mensch hat Eigenfrequenzen im Bereich von 0,5 bis 80 Hz. Damit kann der Mensch mit allen Eigenfrequenzen des Fahrzeuges in Resonanz treten!

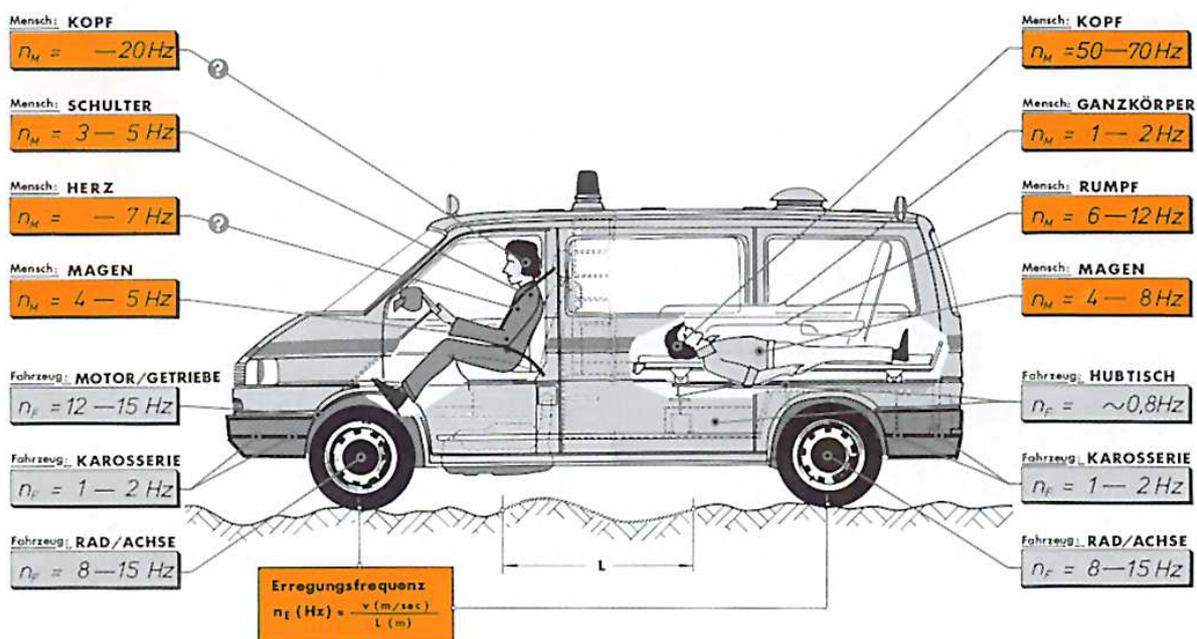


Abb. 2.4-4: Darstellung der Eigenfrequenzen Fahrzeug/Mensch nach Pabsch (1992).

Alle Arbeiten kommen zum gleichen Ergebnis: Der Fahrkomfort hat einen wesentlichen Einfluss auf Patienten. Besonders Unfallverletzte werden durch Beschleunigungskräfte erheblich belastet. Es besteht übereinstimmend die Meinung, dass die Belastungen für Patienten soweit wie möglich reduziert werden sollten.

Bei Fahrten mit einem Rettungswagen treten je nach Fahrbahnbeschaffenheit, Geschwindigkeit sowie Streckenverlauf unterschiedlich starke Schwingungen auf. Selbst mit einem defensiven Fahrstil ist ein extremes Schwingungsverhalten eines bis zu 3 m hohen Rettungswagens nie ganz auszuschließen. Die Übertragung auf den Patienten ist nicht zu vermeiden und wird ausgelöst

durch Straßenunebenheiten sowie das Schwingungsverhalten der Übertragungssysteme. Belastungen in horizontaler Ebene werden hauptsächlich durch Bremsen und Beschleunigen sowie Kurvenfahrten verursacht und beeinflussen weniger.

Zur Verringerung von mechanischen Schwingungen und deren Wirkung auf Patienten sind Schwingtische eingeführt worden, die durch einen Federweg und Dämpfung die auftretenden Belastungen verringern sollen. Diese Technik gibt es seit rund 30 Jahren und wird von Anwendern als hilfreich, jedoch nicht als optimal bezeichnet. Es ist hier erforderlich, die tatsächliche Belastung und auftretende Kräfte zu bestimmen und Verbesserungsbedarf festzustellen.

Eine weitere, typische potenziell schädigende Situation ist der Prozess des Einladens eines Patienten in einen Rettungswagen mittels eines herausgezogenen Tragetisches. Der Patient wird beim Beginn des Vorganges zuerst in eine Fuß-Tief-Lagerung gebracht. Nach dem Anheben erfolgt das Hineinschieben und Einrasten der Krankentrage in die Endlagenhalterung mit einer heftigen Stoßbewegung.

2.5 K-Wert

Der K-Wert ist eine Maßzahl, die den Zusammenhang zwischen objektiver, d.h. messbarer Schwingungsbelastung, und subjektiver Wahrnehmung wiedergibt. Er ist in der VDI-Richtlinie 2057 bereits seit 1963 veröffentlicht, die die bewertete Schwingungsstärke (K-Wert) als eine Funktion der Beschleunigung und der Frequenz der auf den Patienten einwirkenden monotonen Sinusschwingung angibt. Für die K-Wert-Ermittlung wird der Bereich von 1-80 Hz erfasst. Da für die Schwingungen unter 1 Hz der Wissensstand noch zu gering ist – der Mensch reagiert hier sehr unterschiedlich (Kinetosen) –, ist dieser Frequenzbereich ausgeklammert. Der K-Wert ist also abhängig von vertikal einwirkenden Schwingungen, deren Frequenz und Amplitude. Hierbei gibt es große Unterschiede beim liegenden und sitzenden Menschen, da die Hauptresonanz des sitzenden Menschen bei etwa 4 bis 8 Hz (Mageneigenfrequenz) und des liegenden bei 50 bis 70 Hz (Schädel) zu finden ist. Der Zusammenhang von bewerteter Schwingstärke und subjektiver Wahrnehmung nach VDI 2057 wird wie folgt angegeben:

Bewertete Schwingstärke	Beschreibung der Wahrnehmung
< 0,1	nicht spürbar
0,1-0,4	Fühlschwelle, gerade spürbar
0,4-1,6	gut spürbar
1,6-6,6	stark spürbar
> 6,6	sehr stark spürbar
100	maximaler nicht tolerierbarer Wert

Tab. 2.5-1: Schwingungsstärke (K-Wert) und deren Wahrnehmung nach VDI 2057.

Als Richtwert für Transportkomfort galt bisher die ehemalige DIN 75080 (Krankenkraftwagen), die einen K-Wert von 25 (!) als maximale Obergrenze bei einer Geschwindigkeit bis 80 km/h definierte. Es fehlte dazu jedoch die Definition einer Normstraße. In der aktuellen DIN EN 1789, die die DIN 75080 ablöste, fehlt die Definition des Fahrkomforts. Der K-Wert erscheint nicht mehr. Andere Referenz- oder Grenzwerte werden nicht angegeben.

2.6 Lärm als Stressor im Notfalltransport

Lärm ist ein Geräusch, das uns stört, belästigt und gesundheitlich schädigt. Geräusch ist Schall, der als Luftschall durch Schwingungen mit dem Ohr gehört werden kann.

Bei der Suche nach physikalischen Einflüssen auf Patienten stößt man zwangsläufig auch auf Schallexposition und damit „Lärm“. Während der Fahrt in einem Rettungsfahrzeug sind die Insassen und Patienten grundsätzlich Lärm ausgesetzt. Die Besatzungen der Rettungs- und Notarztwagen beklagen sich häufig über die große Lautstärke der Sondersignalanlagen im Innenraum. Dieses Problem übermäßiger Einflüsse ist im Rettungsdienst durch die immer weiter verbesserten Sondersignalanlagen, leichtere Karosseriebauweisen und größeren Scheiben bekannt. In allen Bereichen der Nutzer von Sonderrechtsanlagen gibt es voneinander unabhängige Beurteilungen aus Sicht der Arbeitssicherheit. Das Einsatzpersonal ist einem hohen Lärmpegel ausgesetzt. Lautere Signalanlagen und der zunehmende Straßenverkehr, mit daraus folgenden längeren Sequenzen von Signalfahrten, erhöhen die Belastung. Seit Jahren werden Lösungen für dieses Problem gesucht (Hans 2009). Eine Betrachtung im Hinblick auf eine Beeinträchtigung eines Patienten fand bisher aber nicht statt.

Während bei der Betrachtung von Lärmarbeitsplätzen genau beschriebene Messverfahren und Bewertungen zum Tragen kommen, sind beim Thema Patientenbelastungen weder Richtlinien noch Erfahrungen vorhanden. Daher dürfen auch nicht die festgelegten Bewertungen über acht Stunden regelmäßiger Arbeitszeit und Exposition Berücksichtigung finden. Der Tages-Lärmexpositionspegel darf laut Richtlinie „Lärm“ 2003/10/EG 80 dB(A) betragen. Der persönliche Schallschutz kommt erst dann in Betracht, wenn der Beurteilungspegel trotz Lärmminierungsmaßnahmen nicht unter 85 dB(A) gesenkt werden kann. Die Tragepflicht für persönlichen Schallschutz ist erst mit einem Pegel von 90 dB(A) vorgeschrieben. Dabei wird immer von gesunden Menschen ausgegangen, die sich nicht in Ausnahmesituationen befinden.

Arbeitsmedizinische Untersuchungen ergeben bei längerer Lärmexposition, dass es neben Gehörschäden auch zu einer Erregung des vegetativen und zentralen Nervensystems kommt. Es werden Stresshormone ausgeschüttet, es kommt zu Konzentrationsmängeln, und das Wohlbefinden wird negativ beeinflusst. Hinzu kommen die Erhöhung von Puls und Atmung sowie ein Blutdruckanstieg. Eine Studie zeigt, dass sich Bluthochdruck und ein höheres Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen bei stärker mit Lärm belasteten Menschen zeigte (UBA 2003).

Quaas et al. (1971) haben festgestellt, dass individuelle Lärmschutzmittel nicht in der Lage sind, die vegetativ-nervös gesteuerten Veränderungen der Herzfrequenz infolge auch kurzfristiger Lärmeinwirkung zu verhüten. Die Reaktionen des Organismus gegen Lärm treten schon bei niedrigerer Intensität auf und rufen vegetative Reaktionen hervor. Es wird angenommen, dass es außer dem akustischen Rezeptor noch andere gibt, die den Schall aufnehmen und weiterleiten. Es wurde schon 1971 gefordert, den Lärmschutz stärker als bisher zu berücksichtigen. In weiteren Arbeiten wird über periphere Durchblutungsstörungen und Abschwächung beim Gasaustausch bei Lärmeinwirkung berichtet. Über die direkten Einflüsse von Lärm auf Patienten während der Transportzeit sind keine Untersuchungen bekannt.

Aus den Grundlagen der Arbeitsmedizin sind Lärmauswirkungen auf vorher gesunde Menschen nachgewiesen. Daher muss davon ausgegangen werden, dass Patienten in krankheits- oder verletzungsbedingten Zuständen wesentlich anfälliger für äußere Einflüsse und damit auch Lärm sind.

Lärm führt zu:

- Erregung des vegetativen und zentralen Nervensystems,
- Blutdruckanstieg,
- Erhöhung der Puls- und Atemfrequenz,
- Pupillenerweiterung,
- Ausschüttung von Stresshormonen,
- Verringerung der Magensaft- und Speichelproduktion,
- Veränderung des Hirnstrombildes,
- Veränderung der Muskelaktivität und des elektrischen Hautwiderstandes,
- Beeinflussung des psychischen Wohlbefindens,
- Herabsetzung der Konzentrationsfähigkeit,
- Gehörschäden.

2.7 Temperatur in Rettungsfahrzeugen

Mit dem Wort Klima verbinden wir sofort eine Beziehung zu Wohlbehagen oder aber auch zu uns störenden Einflüssen. Seit Jahren sind Klimaanlage in Personentransportmitteln zu finden. Es wurde festgestellt, dass Klimatisierung nicht nur das Wohlbefinden positiv beeinflusst, sondern auch die Konzentration und Sicherheit eines Fahrzeuglenkers gesteigert werden. Arbeitsräume und Behandlungsräume werden heute selbstverständlich klimatisiert. Die Klimatisierung von Rettungsfahrzeugen ist dagegen heute noch nicht gängige Praxis.

Als Folge negativer Temperatureinflüsse können kurzzeitige gesundheitliche Störungen wie z.B. Kreislaufstörungen, Unwohlsein oder bei länger andauernder Belastung sogar Erkrankungen auftreten (Schmidtke 1981). Temperatur hat Einfluss auf die Konzentrationsfähigkeit und das Behaglichkeitsempfinden aller Fahrzeuginsassen und ist ein wesentlicher Aspekt der Fahrsicherheit sowie auch der Konzentrations- und Leistungsfähigkeit der Rettungsdienstmitarbeiter. Staub, Pollen, Sporen, Abgase und Gerüche sind weitere Verunreinigungen, die die Qualität der Atemluft mindern und ihre Reinigung mit entsprechenden Filtern erforderlich machen (Deh 1999, Braess/Seiffert 2000).

Erreicht die Körpertemperatur aufgrund der gestörten Wärmebilanz einen kritischen Wert, können sich zusätzlich Hitzschlagsymptome bei den Einsatzkräften einstellen. Nach Schmidtke können bereits Umgebungstemperaturen im Bereich von etwa 39 °C kritisch sein. Erschwerend kommt hinzu, dass die körperliche Leistungsfähigkeit mit zunehmender Umgebungstemperatur abnimmt.

Besonders bei alten oder erkrankten Personen und insbesondere bei Vorliegen einer Dehydration sind thermische Belastungen fatal. Unter extremen Hitzebelastungen kommt es zur Vasodilatation der Hautgefäße. Kann das Herzzeitvolumen nicht in dem erforderlichen Maß gesteigert werden, stellen sich Symptome von Organminderperfusion ein.

Beim Vorliegen bestimmter Risikofaktoren, wie Alter und Diabetes, kann die Adaptationsfähigkeit unter Hyperthermie eingeschränkt sein.

Unter Ruhebedingungen beträgt das Herzzeitvolumen des erwachsenen Menschen ca. 5 l/min (70 ml/min pro kg Körpergewicht). Die Haut erhält hiervon lediglich einen kleinen Teil, ca. 5-10%. Bei Wärmeexposition, z.B. in einer Umgebungstemperatur von 35 °C, steigt die

Hautdurchblutung auf 7-8 l/min und führt so zu mehr als einer Verdopplung des Herzzeitvolumens. Dies hat entscheidende Konsequenzen für die Kreislauffunktion: Nur ein ausreichend leistungsfähiges Herz ist dieser Belastung über längere Zeit gewachsen. Dies erklärt u.a. die hohe Morbidität und Mortalitätsrate von älteren Patienten bei klimatischen Hitzewellen. Infolge der Weitstellung der venösen Gefäßsegmente in den Extremitäten ist der Füllungsdruck am Herzen reduziert. Dabei kommt es zur Regulation des Herzzeitvolumens durch Steigerung der Herzfrequenz. Der Hautdurchblutung kommt damit eine signifikante Bedeutung in Bezug auf die Umverteilung des Blutvolumens zu. Alle Angaben beziehen sich jedoch auf Einzeluntersuchungen. In der Literatur sind auch keine genauen Angaben zu finden, da die Mechanismen bislang nicht geklärt sind. Alternativ kann nur eine tiefe Narkose diese Regulationsmechanismen ausschalten (Deussen 2007).

Eine Hyperthermie nach Schädel-Hirn-Trauma ist in der Notfallmedizin ebenfalls zu vermeiden. Die aktuellen Empfehlungen bei polytraumatisierten Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma sprechen sogar von einer anzustrebenden milden präklinischen Hypothermie (Himmelseher 2006).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine vorwiegende Inanspruchnahme der physikalischen Wärmeregulation durch Steigerung der Hautdurchblutung und der Peripherie zustande kommt, den Patienten belastet und dabei u.a. die Nierendurchblutung sinkt. Außerdem beeinflusst das Klima wesentlich die Leistungsfähigkeit des Rettungspersonals.

3 Fragestellung

Ziel dieser Dissertation ist die Ermittlung und Darstellung der physikalischen Einflüsse beim Transport von Patienten in Rettungsfahrzeugen, um daraus eine Optimierung des Transportes von Notfallpatienten durch Minimierung der erkannten physikalischen Einflüsse abzuleiten.

Dazu werden folgende Fragen gestellt und in der Arbeit beantwortet:

- Gibt es eine mögliche Schädigung von Patienten durch physikalische Einflüsse beim Transport mit Fahrzeugen?
 - Wie empfinden Personen den Transport?
 - Welche physikalischen Belastungen sind relevant?
- Welche körperlich-seelischen Auswirkungen haben physikalische Einflüsse?
- Gibt es Vorgaben, Vorschriften und Untersuchungen zum Thema?
- Welche technischen und organisatorischen Maßnahmen sind zur Reduzierung physikalischer Einflüsse bekannt, herzuleiten, umsetzbar?
- Was kann für weitere Untersuchungen festgestellt und vorgeschlagen werden?

4 Methode

4.1 Beschleunigungsmessungen

Bei den Überlegungen zu sinnvollen Messreihen stand anfangs die Nutzung eines Hydropulsstandes in Diskussion. Dabei wären zumindest in der eigenen Versuchsreihe vergleichbare Anregungen reproduzierbar und eindeutige Messergebnisse im Vergleich zu erwarten. Allerdings kann die Hydropulsanlage ausschließlich in vertikaler Richtung das Fahrzeug anregen. Um realistische Vergleiche zu erhalten und nachdem mehrere Messwerte von Hydropulsanlagen von der Industrie und Doktoranden (Siegel 2000, Speidel 2008, Röhlke 1993) vorliegen, fiel die Entscheidung, auf selbst festgelegten Teststrecken und realen Straßen die Messungen mit unterschiedlichen Fahrzeugen und variierten Einstellungen der Schwingtische durchzuführen.

Nr.	Fahrzeugtyp	Aufbauart	Federungsart	Baujahr
1	Mercedes Benz Sprinter 413 CDI	Alukoffer	Stahl	2005
2	Mercedes Benz Sprinter 413 CDI	Alukoffer	Luft	2006

Tab. 4.1-1: Unterschiedliche Fahrzeuge der Versuchsreihen.

Die Versuchsreihen hatten das Ziel des Vergleiches und der Ermittlung von Beschleunigungseinwirkungen auf Patienten. Dazu wurden folgende Messreihen durchgeführt:

1. Baugleiche Fahrzeuge mit unterschiedlichen Fahrzeugfederungen (Nr. 1+2)
2. Baugleiche Fahrzeuge und zusätzliche Dämpfung durch Schwingtische (Nr. 1+2)
3. Baugleiche Fahrzeuge bei unterschiedlichen Straßenbeschaffenheiten (Nr. 1+2)
4. Einladevorgang mit Aufsetzen und Einrasten der Krankentrage (Nr. 2).

Die Fahrten der Reihen 1 bis 3 wurden auf festgelegten Fahrstrecken mit vorgegebener Geschwindigkeit vom selben Fahrer durchgeführt. Es wurden je Fahrzeug und Schwingtischposition (hoch/tief) eine Stadtfahrt mit verschiedenen Bodenbelägen im laufenden Verkehrsfluss, eine Kopfsteinpflasterstraße und eine weitere Kopfsteinpflasterstraße mit Bodenwellen durch Aufpflasterungen (so genannten „schlafenden Polizisten“) in zwei Geschwindigkeiten befahren. Dabei befand sich eine freiwillige Testperson (weiblich, 65 kg) liegend auf der Krankentrage. Die Messsensoren wurden bei den Rettungswagen an den gleichen Stellen mit dem gleichen System angebracht. Alle Fahrzeuge verfügten über einen baugleichen hydropneumatischen Tragetisch, der in Grundposition eine starre und angehoben eine Schwingungslage ermöglichte.

Strecken der Messfahrten

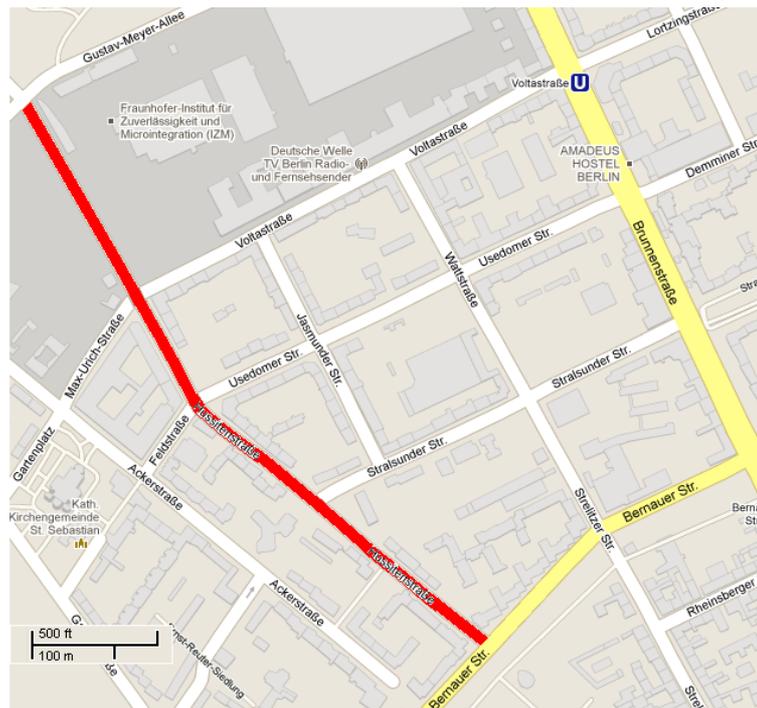


Abb. 4.1-1: Im rotmarkierten Bereich der Hussitenstraße, Wiesenstraße, Hochstraße und Böttgerstraße in Berlin Wedding wurden die Messungen für den Bereich Kopfsteinpflaster durchgeführt. Quelle: Google maps 2011

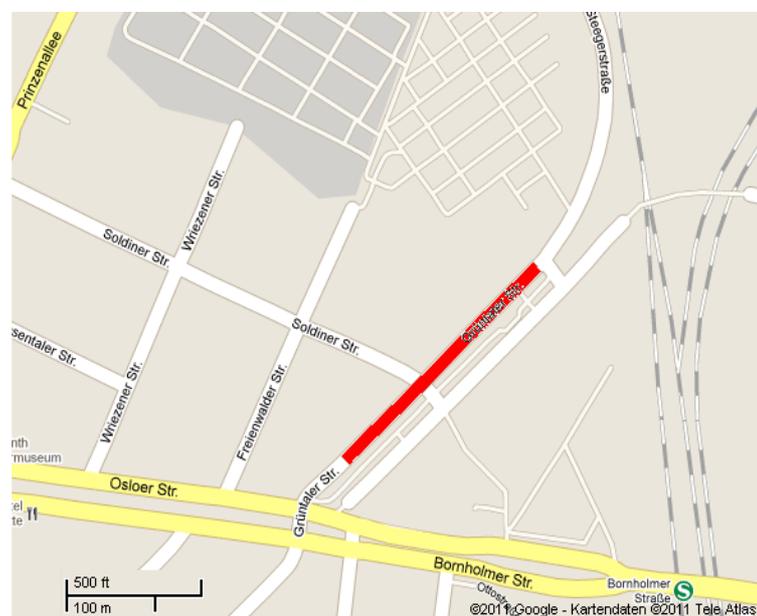


Abb. 4.1-2: Im rotmarkierten Bereich der Grüntaler Straße in Berlin wurden die Messfahrten mit den Bodenwellen durchgeführt („schlafende Polizisten“). An dieser Stelle besteht der Straßenbelag aus Kopfsteinpflaster. Quelle: Google Maps 2011

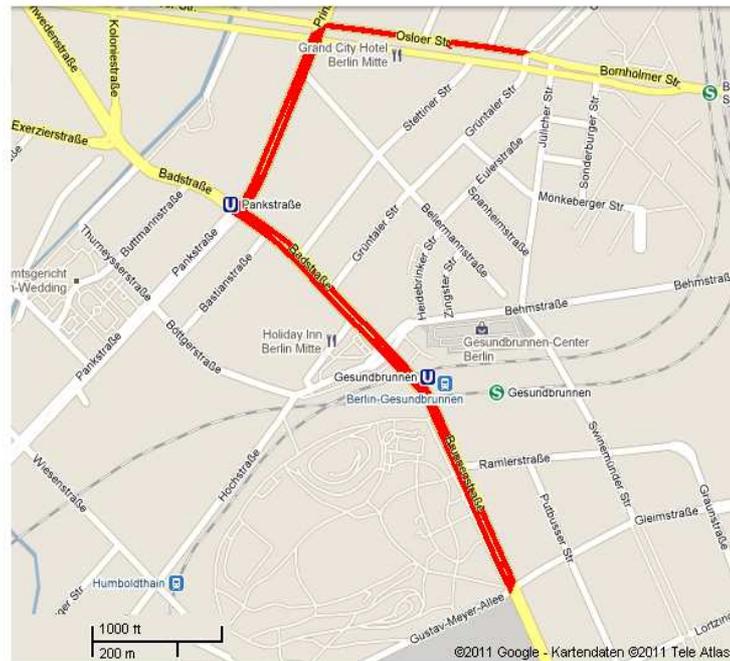


Abb. 4.1-3: Der rotmarkierte Bereich auf dieser Karte zeigt den Teil der Stadtfahrt. Diese führte von der Brunnenstraße über die Badstraße, Prinzenallee zur Osloer Straße. Quelle: Google Maps 2011

Einsatz der Sensoren

Gemessen wurde mit Beschleunigungsaufnehmern Kistler 20 G. Als Messverstärker und Wandler wurde ein Gerät der Fa. National Instruments mit 8 Kanälen und simultaner Abtastung genutzt. An der Hinterachse rechts und links wurden je ein einaxialer Sensor befestigt. Ein weiterer einaxialer Sensor wurde auf dem Boden des Modulkoffers des Rettungswagens auf Höhe der Krankentrage (über der Hinterachse) befestigt.

Auf der Unterseite der Krankentrage (etwa in der gleichen Höhe wie der Sensor auf dem Boden) wurde ein weiterer einaxialer Sensor verbaut. Bei diesem sind die ermittelten Ergebnisse alle mit einem negativen Vorzeichen versehen, da dieser Sensor von unten angebracht wurde. Dies ist nicht weiter problematisch, da durch Invertieren der Messergebnisse eine Vergleichbarkeit der Daten hergestellt werden konnte.

Nach VDI-Richtlinie 2057 (1987) werden die auf den Menschen gerichteten Schwingungseinwirkungen in drei Achsen (x , y , z) aufgeteilt und gemessen. An der Testperson wurde ein dreiaxialer Sensor auf der Stirn angebracht. Die Testperson sollte während der Fahrt einen festgelegten Punkt an der Decke fixieren, um unnötige Bewegungen des Kopfes zu vermeiden.

Ein dreiaxialer Sensor ermittelt immer die Beschleunigungswerte für die einzelnen Achsen. Diese Einzelangaben sind nicht für die Beurteilung der Gesamtbelastung aussagekräftig, da auf den Körper immer eine Summe aus den einzelnen Kräften wirkt. Die Daten der dreiaxialen Sensoren wurden aus diesem Grund gleich zu einer resultierenden Größe umgerechnet. Die einaxialen Sensoren haben Werte der x-Achse gemessen.

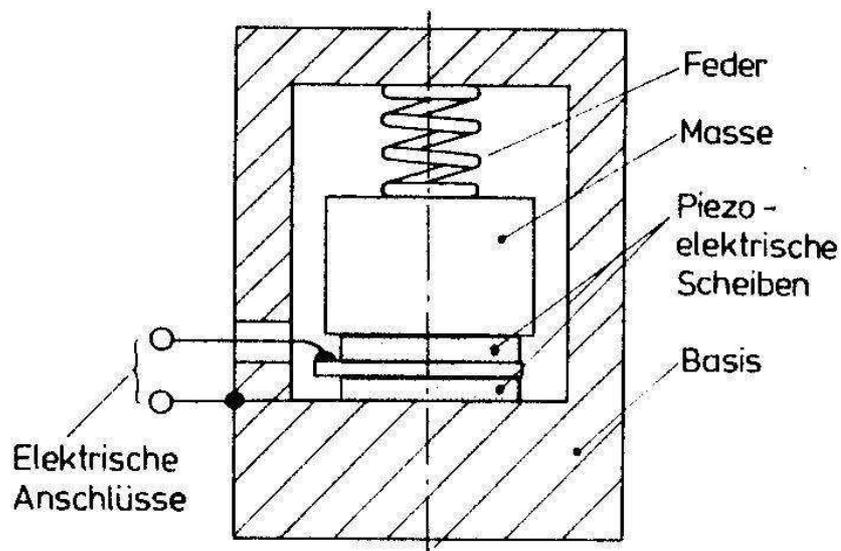


Abb. 4.1-4:: Prinzipskizze des piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmers.

Befestigungsort der Sensoren bei Messfahrten

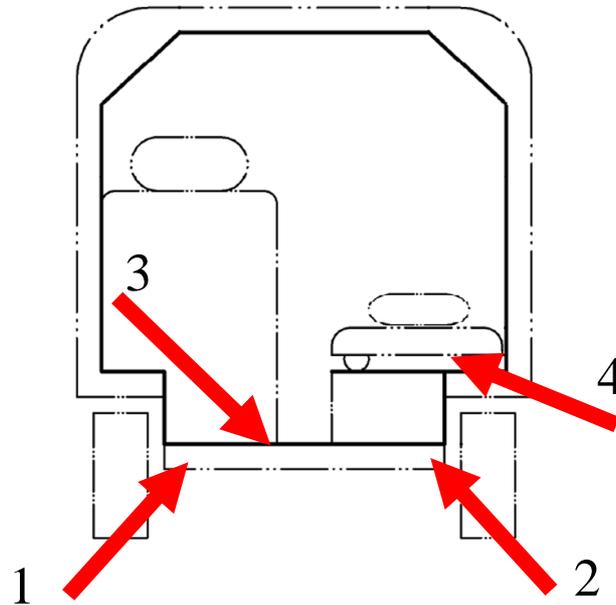


Abb. 4.1-5: Schema Rettungswagen in der Heckansicht: Sensor 1+2 an Hinterachse befestigt, Sensor 3 auf Boden des RTW, Sensor 4 an Unterseite der Krankentrage (Quelle: DIN EN 1789, nachbearbeitet).

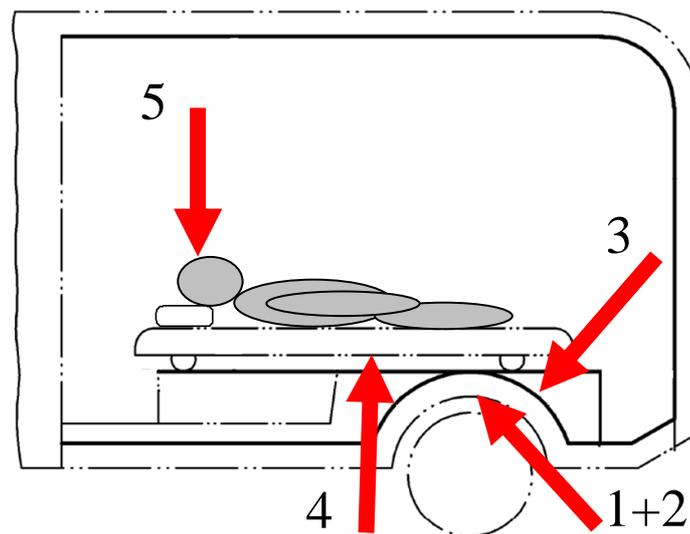


Abb. 4.1-6: Schema Innenraum in der Seitenansicht, Sensor 1+2 an der Hinterachse, Sensor 3 auf Boden des RTW Höhe Hinterachse, Sensor 4 an Unterseite von Krankentrage, Sensor 5 am Kopf der Probandin (Quelle: DIN EN 1789 nachbearbeitet).

Messungen beim Einladevorgang

Zusätzlich wurde eine Messung der Beschleunigungswerte beim Einladen einer auf der Krankentrage liegenden Probandin (65 kg) durchgeführt. Diese Messung wurde mit dem Fahrzeug Nr. 2, Mercedes Benz Sprinter 413 CDI, Baujahr 2006, durchgeführt.

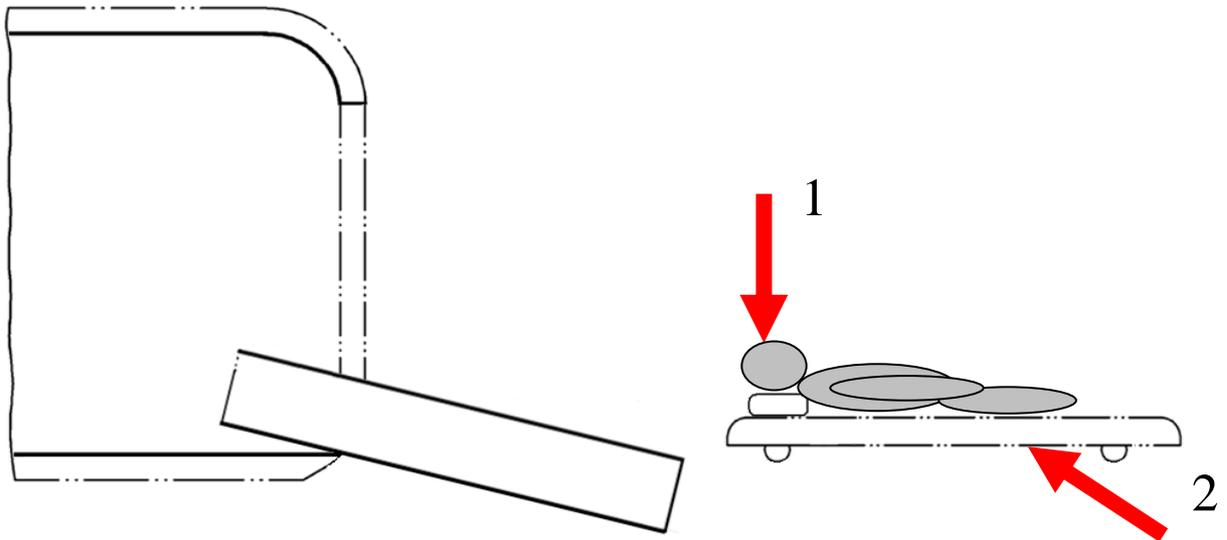


Abb. 4.1-7: Darstellung des Einladevorganges: Position der Sensoren Kopf (1) und Trage (2) – Ausgangsposition (Quelle: DIN EN 1789, nachbearbeitet).

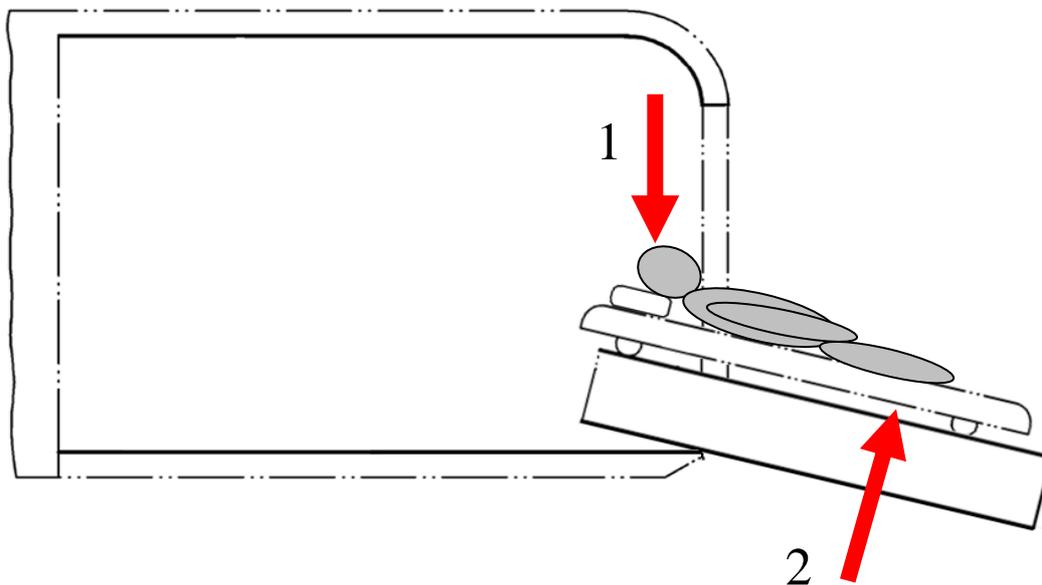


Abb. 4.1-8: Darstellung des Einladevorganges: Position der Sensoren Kopf (1) und Trage (2) – Aufsetzen, Einschieben und Einrasten der Trage (Quelle: DIN EN 1789, nachbearbeitet).

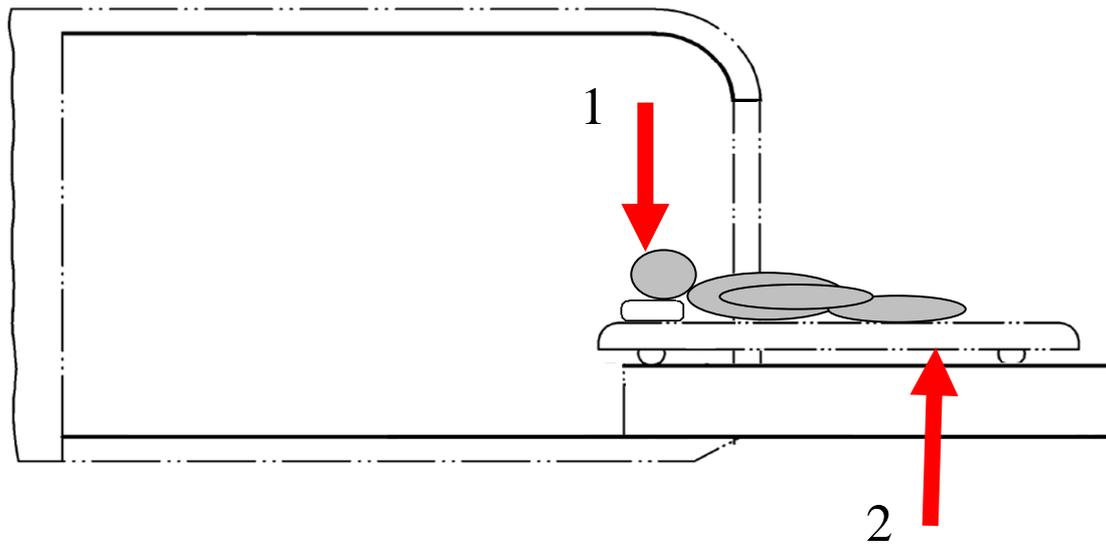


Abb. 4.1.9: Darstellung des Einladevorganges: Position der Sensoren Kopf (1) und Trage (2) – Einstellen auf Fahrzeugniveau (Quelle: DIN EN 1789, nachbearbeitet).

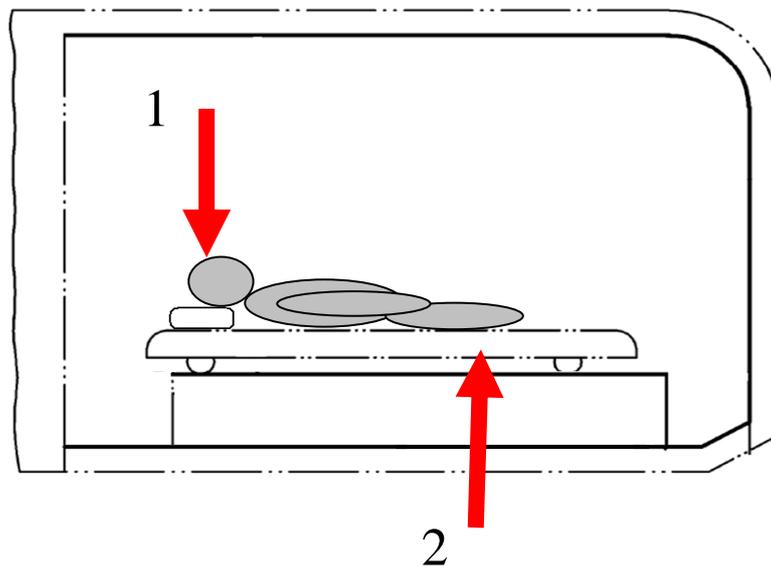


Abb. 4.1-10: Darstellung des Einladevorganges: Position der Sensoren Kopf (1) und Trage (2) – in Endlage Einschieben und Einrasten des Tragetisches (Quelle: DIN EN 1789 nachbearbeitet).

Beschreibung der Datenerfassung bei den Messungen

Bei den Messungen wurden ausschließlich Beschleunigungskräfte ermittelt. Die unterschiedlichen Frequenzen wurden nicht betrachtet. Die Beschleunigungssensoren lieferten ein analoges Signal, das in Abhängigkeit zur Beschleunigung stand. Das analoge Signal wurde an einen Messverstärker und Analog-Digital-Umsetzer geleitet. Dieser bildete durch regelmäßige Abtastung (100 Hz bzw. 1000 Hz beim Einladevorgang) der analogen Spannungskurven digitale Werte, die direkt auf einem Notebook in einer Excel-Tabelle gespeichert wurden. Diese Daten wurden für eine bessere Auswertung in MATLAB übertragen. Bei MATLAB handelt es sich um eine PC-Software, die hauptsächlich für Ingenieurwissenschaften entwickelt wurde. Mit Hilfe der graphischen Benutzeroberfläche lassen sich Probleme der linearen Algebra, der numerischen Analysis oder der Simulation darstellen.

4.2 Lärmmessungen

Die Messungen erfolgten unter Berücksichtigung der VDI-Richtlinie 2563 „Geräuschanteile von Straßenfahrzeugen – Messtechnische Erfassung und Bewertung“ jeweils durch den Verfasser unter Normal- und Einsatzbedingungen, jedoch ohne Patienten im Fahrzeug. Die Messfahrten wurden im Berliner Stadtgebiet bei normaler und Einsatzfahrt in Geschwindigkeitsbereichen um 60 km/h durchgeführt. Bewusst sind keine definierten Teststrecken ausgewählt worden, denn authentische Umgebungsfaktoren und der Gebrauch von Sonderrechten können nicht simuliert werden bzw. Übungsfahrten mit Sondersignal zu Messzwecken sind nicht zulässig. Die Fahrstrecken waren für die Stadtverhältnisse durchschnittlich mit Anteilen an Kopfsteinpflaster, gerader und welliger Strecke verteilt. Insgesamt wurden drei Fahrzeuge verschiedener Generationen (DB Sprinter Baujahre 2003 mit Kastenaufbau, 2006 und 2009 mit Kofferaufbau) an je zwei Tagen bei jeweils fünf Einsatzfahrten messtechnisch begleitet. Beim Fahrzeug Baujahr 2009 war die Besonderheit, dass die Sondersignalanlage nicht auf dem Dach, sondern in Höhe der vorderen Stoßstange eingebaut war. Die Witterung war jeweils warm und trocken. Aufgrund der Orientierungsmessung wurde auf die Betrachtung von Reifendruck und Reifenart verzichtet.

Als Messort wurde der Kopfbereich der Krankentrage gewählt. Zum Einsatz kam ein digitales geeichtes „Sound Level Meter“ der Fa. Rion Co. Ltd. Tokyo. Gemessen wurde als Orientierungsmessung mit der Filtereinstellung „Fast“ und der Bewertung dB(A) ohne zeitliche Mittelung und weiterer Bewertung, um die tatsächlichen Spitzenpegel festzustellen.

4.3 Temperaturmessungen

Die Temperaturmessungen im Innenraum von Rettungswagen wurden bei hohen Außentemperaturen, im Hochsommer an zwei unbewölkten sehr sonnigen Tagen nachmittags in zwei Rettungswagen mit Kofferaufbau durchgeführt:

- Mercedes Benz Sprinter 413 CDI, Baujahr 2006
- Mercedes Benz Sprinter 515 CDI, Baujahr 2009

Die Messwerte wurden mittels eines handelsüblichen Digitalthermometers ermittelt.

4.4 Befragungen

Um einen Eindruck von den subjektiv empfundenen Belastungen beim Transport mit Rettungsmitteln zu erlangen, wurden Patientenbefragungen durchgeführt.

Als Probelauf wurden acht Patienten ohne Auswertung befragt. Anschließend wurde ein Fragebogen entworfen, nach dem ein strukturiertes Interview durchgeführt wurde. Der Fragebogen bestand aus drei Teilen. Im ersten Teil wurden, mit Einverständnis des Patienten, die Rahmenbedingungen zum Notfallgeschehen, zur präklinischen Versorgung (Immobilisierung) und zum Transport durch ein Rettungsmittel sowie Angaben zur Fahrt beim Rettungsdienstpersonal erfragt. Im zweiten Teil folgte die strukturierte Abfrage nach der Bewertung der physikalischen Einflüsse beim Transport, beurteilt nach Schulnoten 1-6. Der dritte Teil gab mit offenen Fragen die Möglichkeit, individuelle Schilderungen von Empfindungen und Bemerkungen aufzunehmen.

Für die Patientenbefragung wurden zwei Kliniken der Maximalversorgung, Unfallkrankenhaus Berlin und Krankenhaus im Friedrichshain, sowie als Unfallkrankenhaus das Krankenhaus Am Urban ausgesucht. Persönlichkeitsrechte der Befragten, Anonymität sowie der Datenschutz wurden berücksichtigt. Alle Befragungen wurden durch einen Interviewer durchgeführt.

Die Patienten wurden nach ihren Empfindungen und dem bewussten Erleben von Belastungen befragt. Dazu gehörten Angaben zu Beschleunigungen (Fahrtrichtung), Schwingungen, (Auf- und Abwärtsbewegung des Tragentisches), Erschütterungen (Stöße und Vibrationen), Kurvenfahrten, Geräusche, Geruch, Temperatur, Sondersignal, Beleuchtung im Rettungswagen (Fragebogen siehe Anhang).

Innerhalb einer Woche (14. bis 19. August 2008) wurden in der Zeit hoher Auslastungen der Rettungsstellen (10-16 Uhr) insgesamt 50 Patienten befragt. Eine Unterscheidung in Männer/Frauen wurde bei der Auswertung nicht gemacht. Eine besondere Auswahl fand nicht statt, es wurden alle mit Rettungsmittel ankommenden Patienten befragt, die ansprechbar und nicht sediert waren.

5 Ergebnisse

5.1 Beschleunigungsmessungen

Mit MATLAB konnte der Einfluss der Erdbeschleunigung herausgerechnet und nachfolgend durch Einsatz eines Butterworth-Filters (Mittelwertbildung aus je 10 Messwerten) eine Mittelung der gemessenen Beschleunigungen über 0,1 s (0,01 s beim Einladevorgang) berechnet werden. Diese Messwerte dienten auch zur Erzeugung der Grafiken. Die Darstellung aller Messdaten in Tabellen oder Grafiken würde die Lesbarkeit dieser Arbeit deutlich verschlechtern. Jede Messfahrt dauerte zwischen 5 und 20 Minuten. Pro Minute wurden dem zu Folge 600 Einzeldaten aufgenommen. Durch die Abtastfrequenzen von 100 Hz entstanden sehr große Datenmengen (bis über 12.000 Messwerte für eine Messfahrt), die in ausgedruckter Form nicht wiedergegeben werden. Um die Ergebnisse dennoch nachvollziehbar zu machen, wird ein Tabellenauszug unter dem Ergebnis der Messung beim Einladevorgang beispielhaft gezeigt. Alle Daten der Messfahrten sowie die zur Auswertung und Diskussion genutzten Grafiken sind als Anhang in einer CD beigelegt.

Aus den Messfahrten ergaben sich die in Tabellenform dargestellten Messwertanalysen und Vergleichsmöglichkeiten.

Messwertanalyse	Strecke	Ausgewertete Sensorposition	Luftfeder	Stahlfeder	Tisch hoch	Tisch tief	schnell 20km/h	langsam 10 km/h	Kommentar zur dargestellten Auswertung im Vergleich: Luftfeder/Stahlfeder mit/ohne Tisch aktiv 10 km/h / 20 km/h
1	Bodenwelle	Kopf	●	●		●	●	●	Luftfeder allg. bessere Dämpfung
2	Bodenwelle	Kopf	●	●	●			●	Luftfeder + Tisch deutlich besser
3	Bodenwelle	Kopf	●	●		●	●		Luftfeder bei Bodenwelle höhere Belastung
4	Bodenwelle	Kopf	●	●	●		●		Luftfeder + Tisch = extreme Beschleunigung und anschlagender Tisch!
5	Bodenwelle	Kopf	●	●	●	●		●	Luftfeder ohne Tisch deutlich besser als Stahlfeder mit Tisch
6	Bodenwelle	Kopf	●	●	●		●	●	Trotz verschiedener Bedingungen gleiche Werte! -nicht abgebildet.
7	Bodenwelle	Kopf	●	●	●	●		●	Eindeutiger Vorteil durch Luftfeder + Tisch
8	Bodenwelle	Kopf		●	●		●	●	Mit Tisch höhere Spitzen (Durchschlagen)
9	Bodenwelle	Kopf		●	●		●	●	langsam + Tisch = mittlere Belastung schnell + Tisch = extreme Belastung
10	Bodenwelle	Kopf	●		●		●	●	langsam + Tisch = min. Belastung schnell + Tisch = extreme Belastung
11	Bodenwelle	Kopf	●		●		●		schnelle Fahrt mit Tisch = extreme Belastung ohne Tisch = geringere Belastung!
12	Bodenwelle	Kopf	●			●	●	●	langsam=geringe schnell=hohe Belastung – nicht abgebildet
13	Bodenwelle	Kopf Boden	● ●			●		●	am Kopf gleiche Beschleunigung wie Fahrzeugboden – nicht abgebildet
14	Bodenwelle	Boden Achse	● ●			●	●		Extreme und höherfrequente Schläge werden durch Luftfeder abgefangen
15	Bodenwelle	Boden Achse		●			●		Extreme Schläge werden durch Blattfeder abgefangen
16	Bodenwelle	Kopf Boden	● ●		●		●		Kopf wird höher beschleunigt als Fahrzeugboden! – nicht abgebildet
17	Bodenwelle	Kopf Boden	● ●			●	●		Kopf wird höher beschleunigt als Fahrzeugboden! – nicht abgebildet

Tab. 5.1-1: Aufstellung der Messreihen und Auswertungen Teil 1

Die Ergebnisse wurden auf den beschriebenen Messfahrten unter möglichst gleichen Fahrbedingungen aufgenommen. Zum Vergleich und zur Darstellung der verschiedenen Fahrzeuge und Einstellungen der Schwingtische in Grafiken, wurden die zu vergleichenden Kurven übereinander gelegt. Dabei kommt es durch variierende Zeiten im Messablauf zu geringfügigen Verschiebungen der Interaktionen. Da jedoch die Eckpunkte durch zeitlichen Beginn bzw. Überfahren der Bodenwellen ersichtlich sind, war ein Vergleich dennoch möglich, da ein ausreichend langer Zeitraum betrachtet wurde.

Abgebildet werden die in der Auswertung als besonders relevant erkannten Messergebnisse unter Auswahl auswertbarer und vergleichbarer Messabschnitte:

Bodenwellen

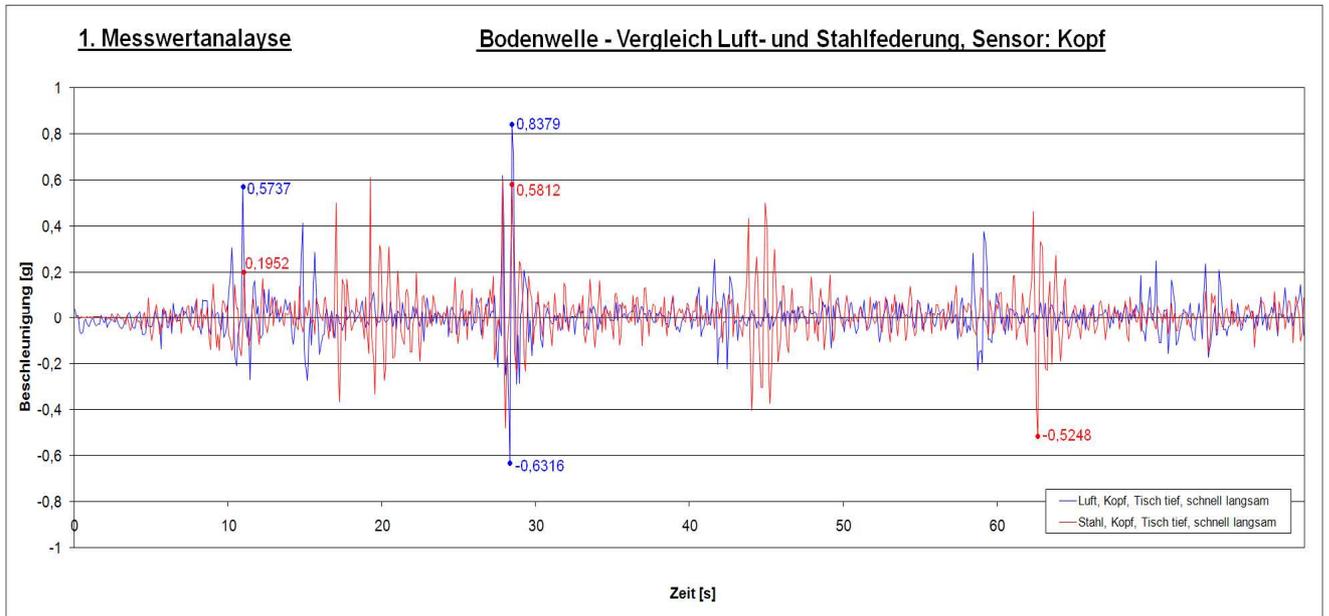


Abb. 5.1-1: Fahrt über Bodenwellen, schnell (20 km/h) und langsam (10 km/h) mit Tragetisch tief im Vergleich Luftfeder/Stahlfeder: **Luftfeder bessere Dämpfung**

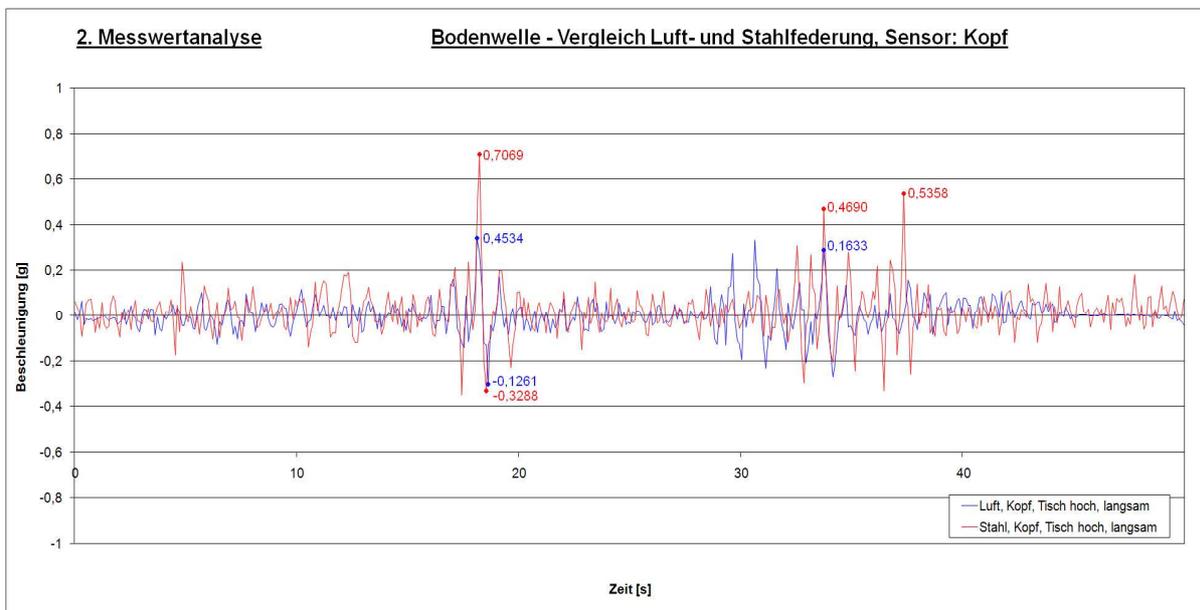


Abb. 5.1-2: Fahrt über Bodenwellen, langsam (10 km/h) mit Tragetisch in Schwingposition (hoch) im Vergleich Luftfeder/Stahlfeder: **deutlich geringerer Ausschlag bei Luftfeder**

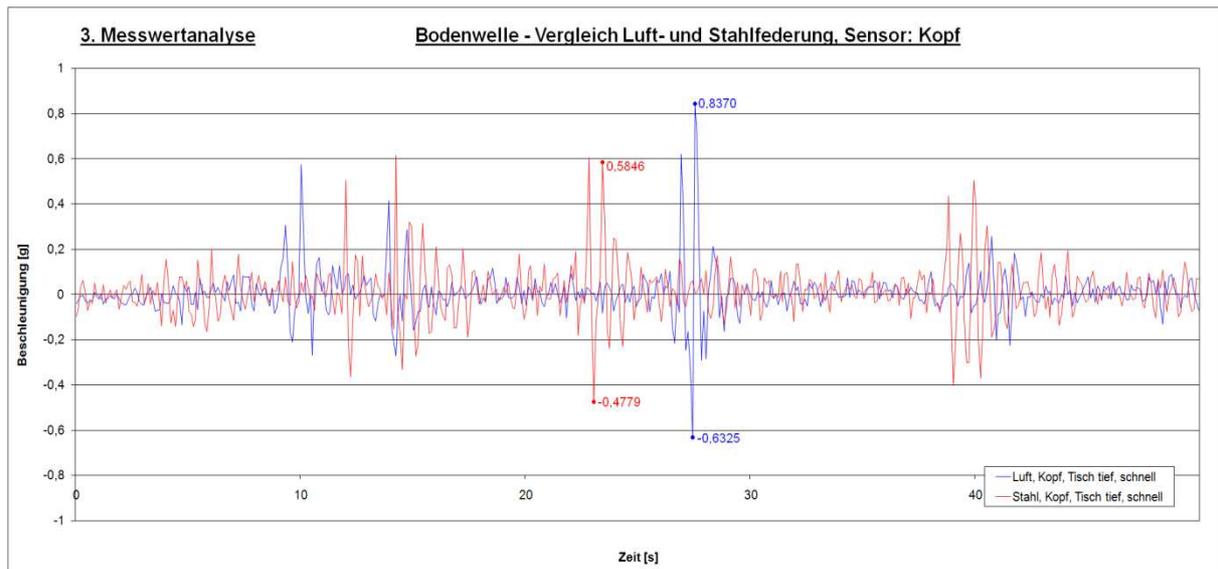


Abb. 5.1-3: Fahrt über Bodenwellen, schnell (20 km/h) mit Tragetisch tief im Vergleich Luftfeder/Stahlfeder: **Luftfeder allgemein besser, bei Bodenwellen höhere Beschleunigung**

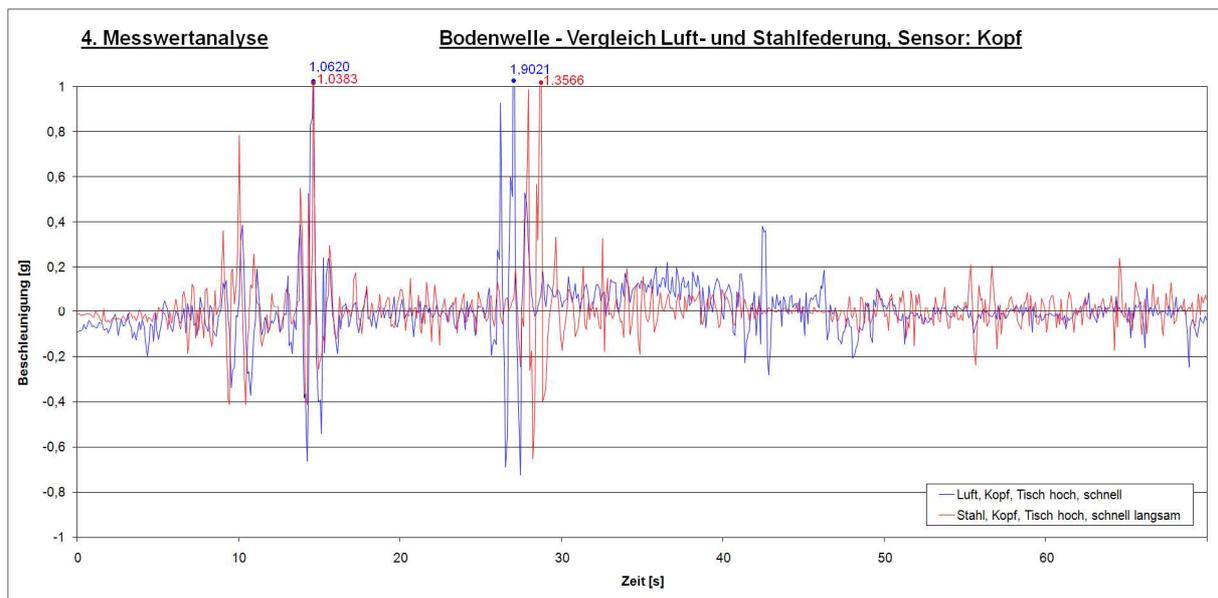


Abb. 5.1-4: Fahrt über Bodenwellen, schnell (20 km/h) mit Tragetisch in Schwingposition Vergleich Luftfeder/Stahlfeder: **Luftfeder allgemein besser, bei Bodenwellen wesentlich höhere Beschleunigung (Anschlagen)**

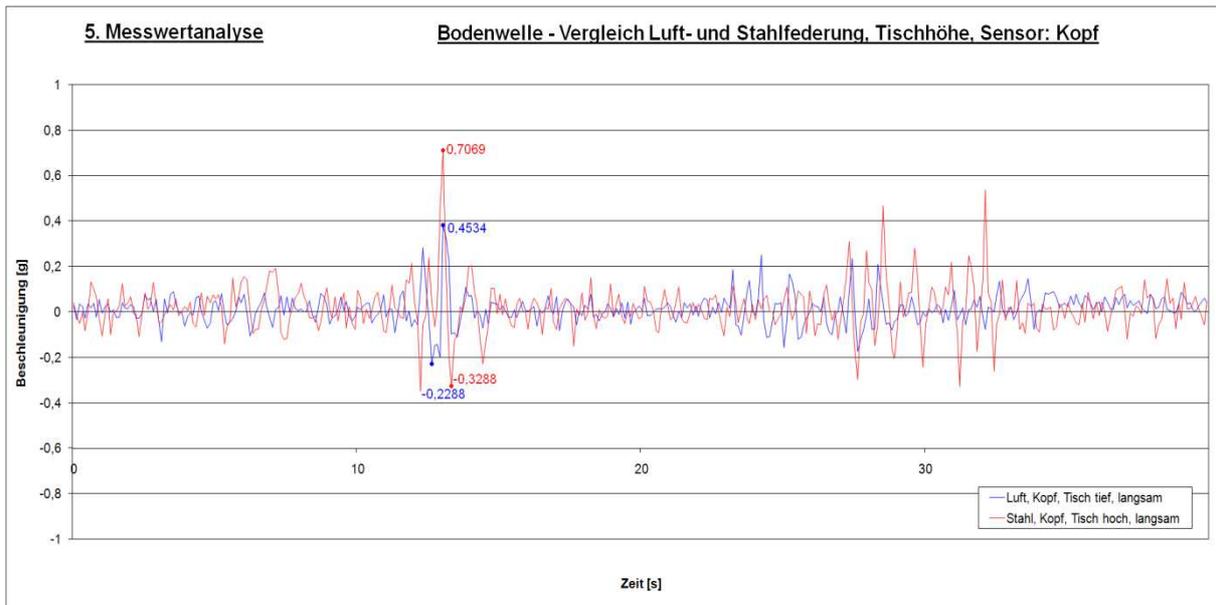


Abb. 5.1-5: Fahrt über Bodenwellen, langsam (10 km/h) Vergleich Luftfeder Tragetisch tief / Stahlfeder Tragetisch in Schwingposition: **Luftfeder deutlich besser als Stahlfeder mit Schwingtisch**

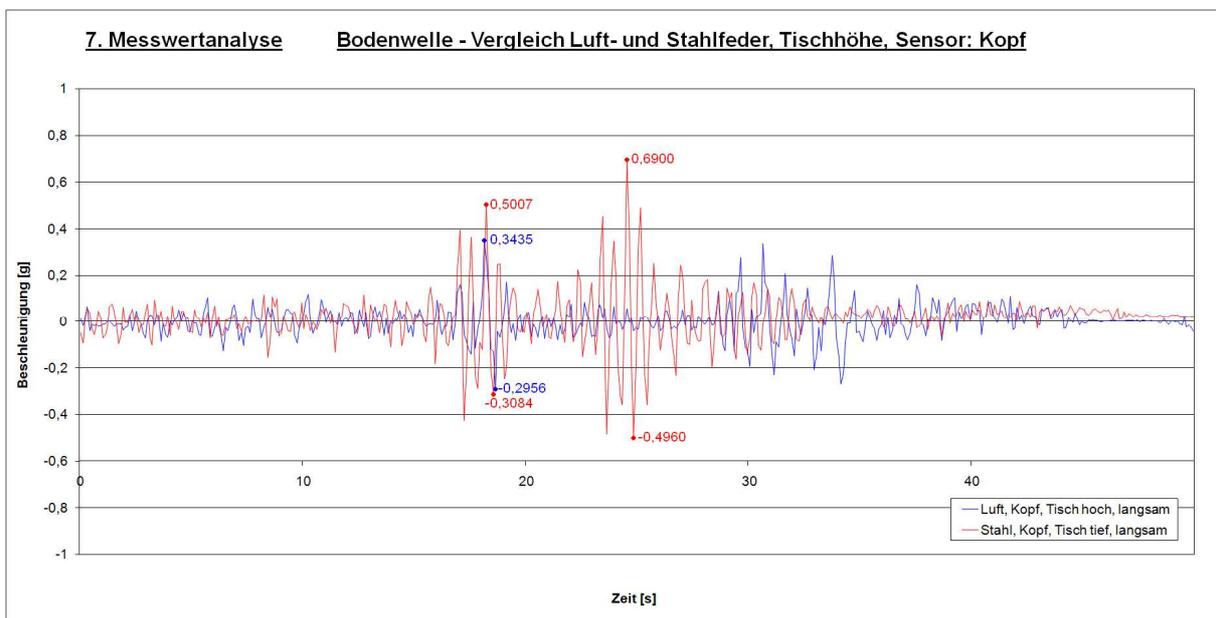


Abb. 5.1-6: Fahrt über Bodenwellen, langsam (10 km/h) Luftfeder Schwingtisch hoch, Stahlfeder Tisch tief: (Phasenverschiebung verkehrsbedingt) **langsame Fahrt gute Ergebnisse Luftfeder mit Schwingtisch**

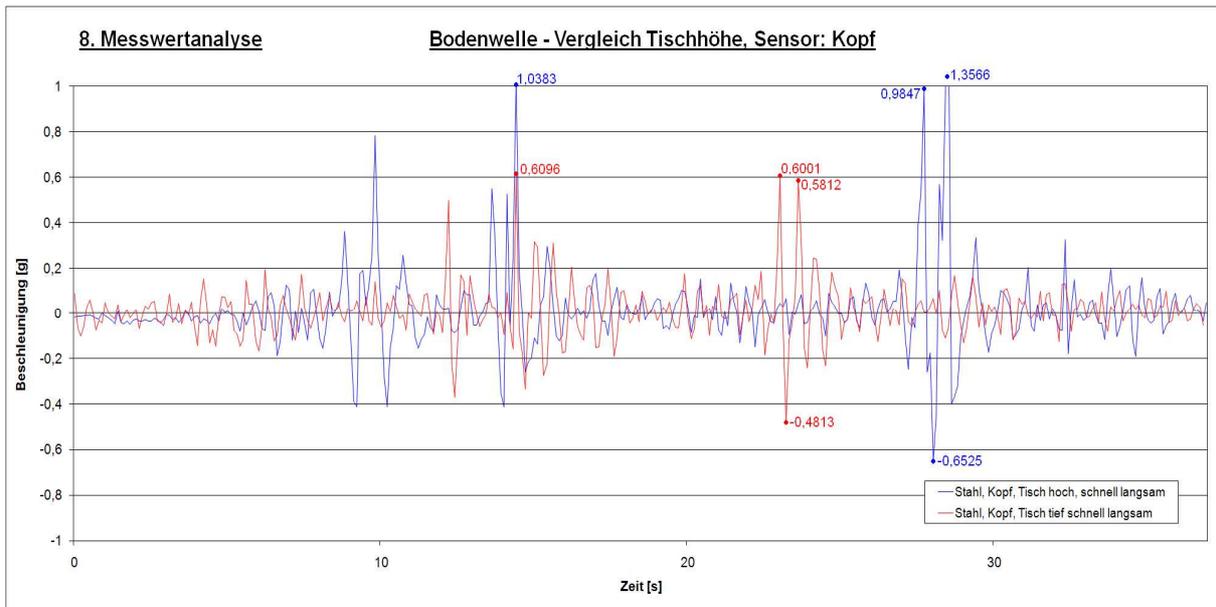


Abb. 5.1-7: Fahrt über Bodenwellen, Stahlfeder Schwingtisch hoch/tief: **nicht gut vergleichbar, zeigt aber, dass Schwingtisch Belastungen wesentlich erhöhen kann (Durchschlagen)**

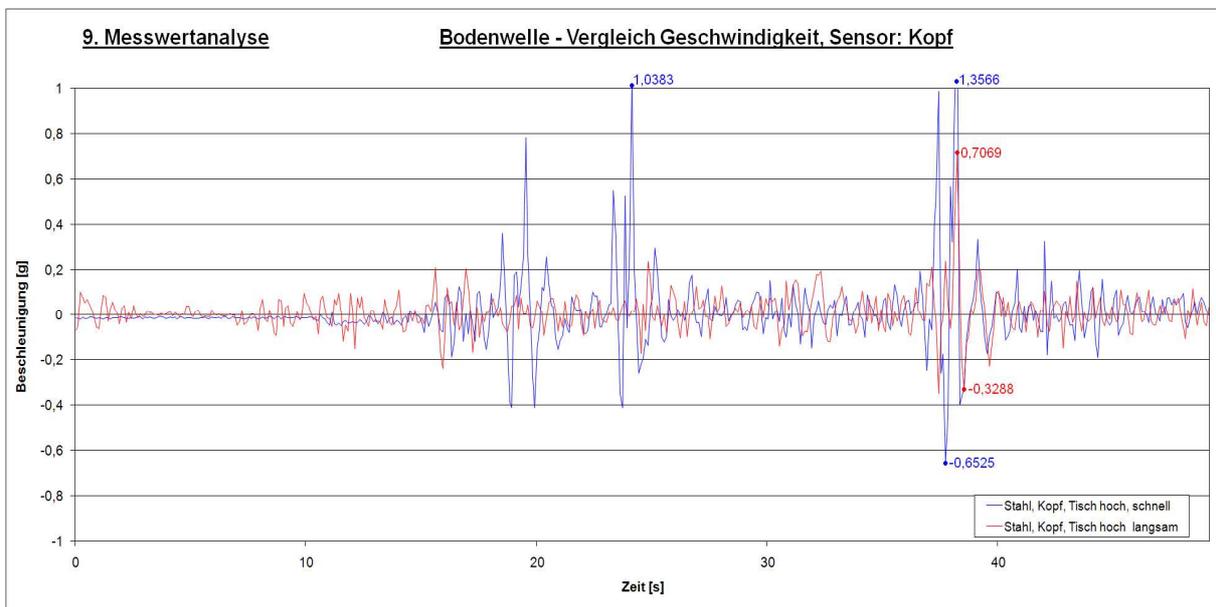


Abb. 5.1-8: Fahrt über Bodenwellen Stahlfeder mit Schwingtisch schnell/langsam: **sehr deutlich hohe Beschleunigung (Durchschlagen) bei schneller Fahrt**

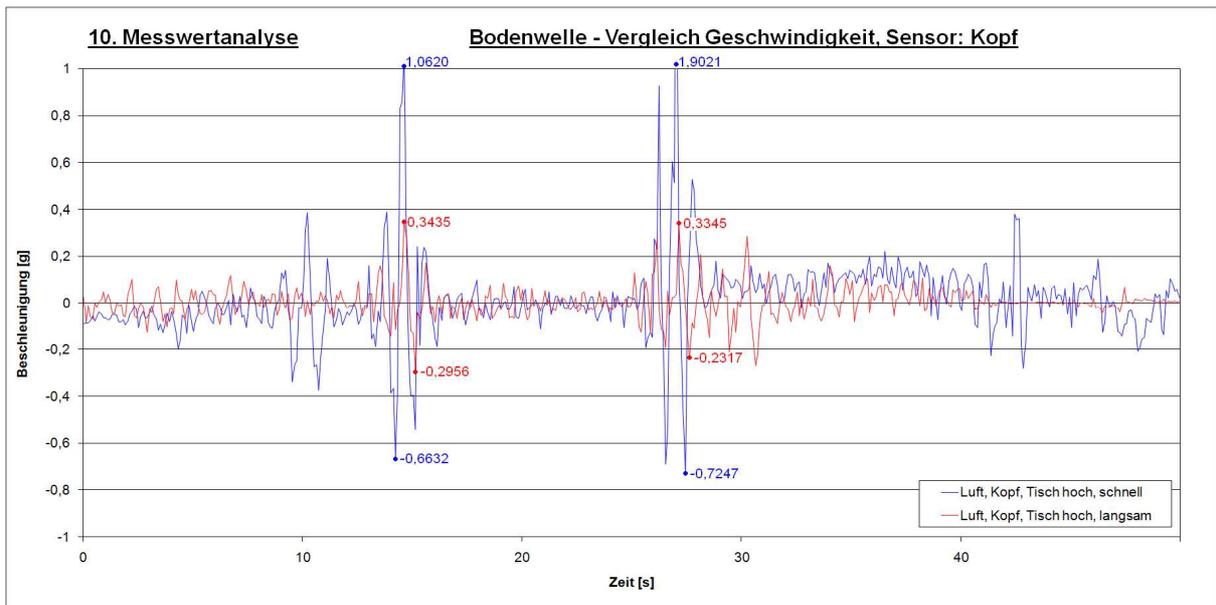


Abb. 5.1-9: Fahrt über Bodenwellen Luftfeder mit Schwingtisch schnell/langsam:
schnelle Fahrt mit Schwingtisch ergibt extreme Beschleunigung und Aufschaukeln

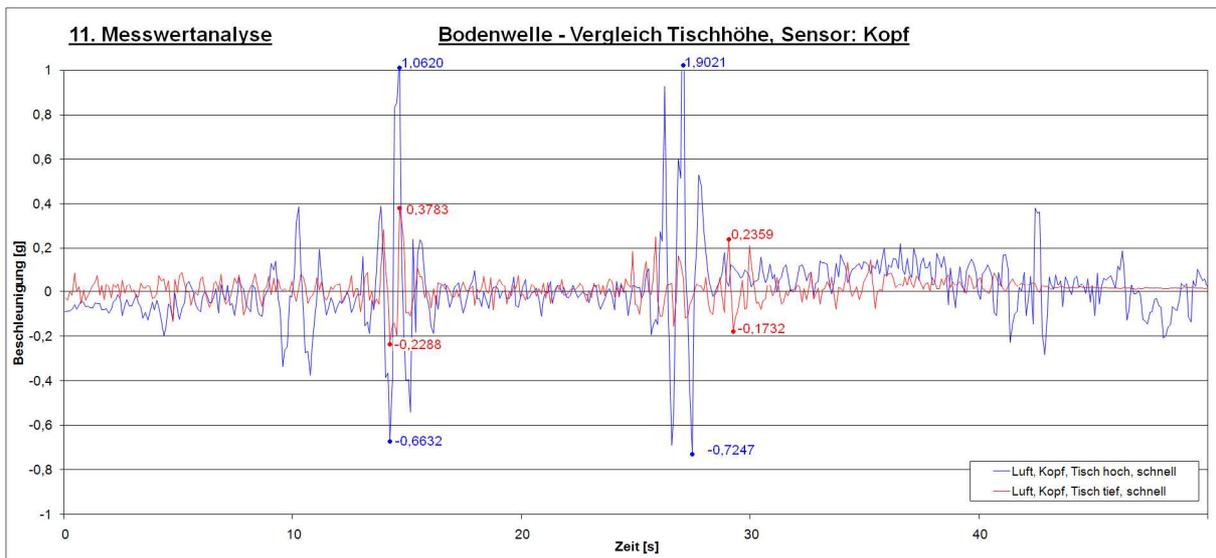


Abb. 5.1-10: Fahrt über Bodenwelle Luftfeder schnell (20 km/h) Schwingtisch tief und hoch:
die Beschleunigung bei schneller Fahrt und schwingendem Tisch sind extrem hoch, bei langsamer Fahrt ohne Schwingtisch niedrig

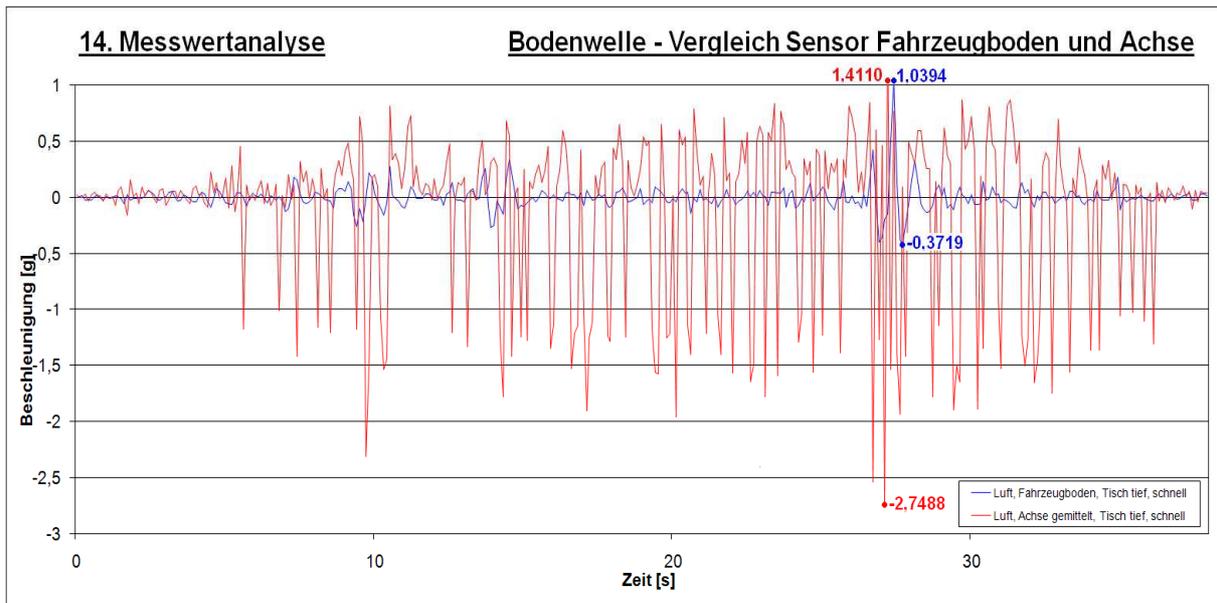


Abb. 5.1-11: (Anderer Maßstab) Fahrt Bodenwelle Luftfeder Vergleich Messwerte Achse und Fahrzeugboden: **zeigt deutliche, gleichmäßige Feder- und Dämpfungswirkung höherfrequenter Anregungen durch Straßenunebenheiten**

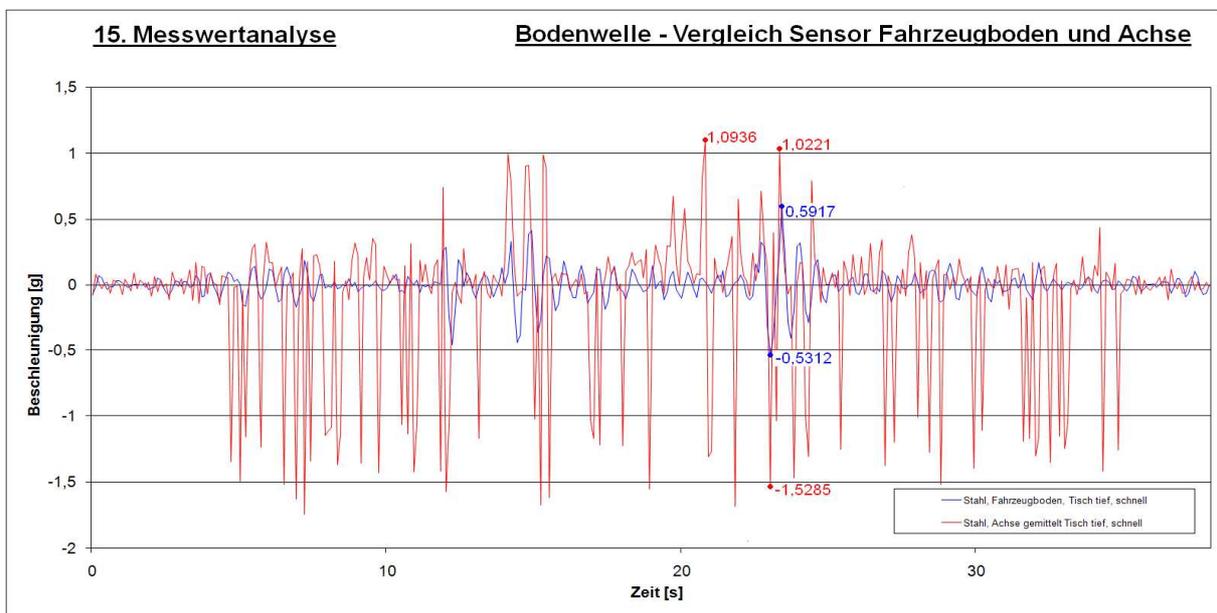


Abb. 5.1-12: (Anderer Maßstab) Fahrt Bodenwelle Stahlfeder Vergleich Messwerte Achse und Fahrzeugboden: **zeigt deutliche Feder- und Dämpfungswirkung höherfrequenter Anregungen durch Straßenunebenheiten, schlechteres Federverhalten als Luftfeder**

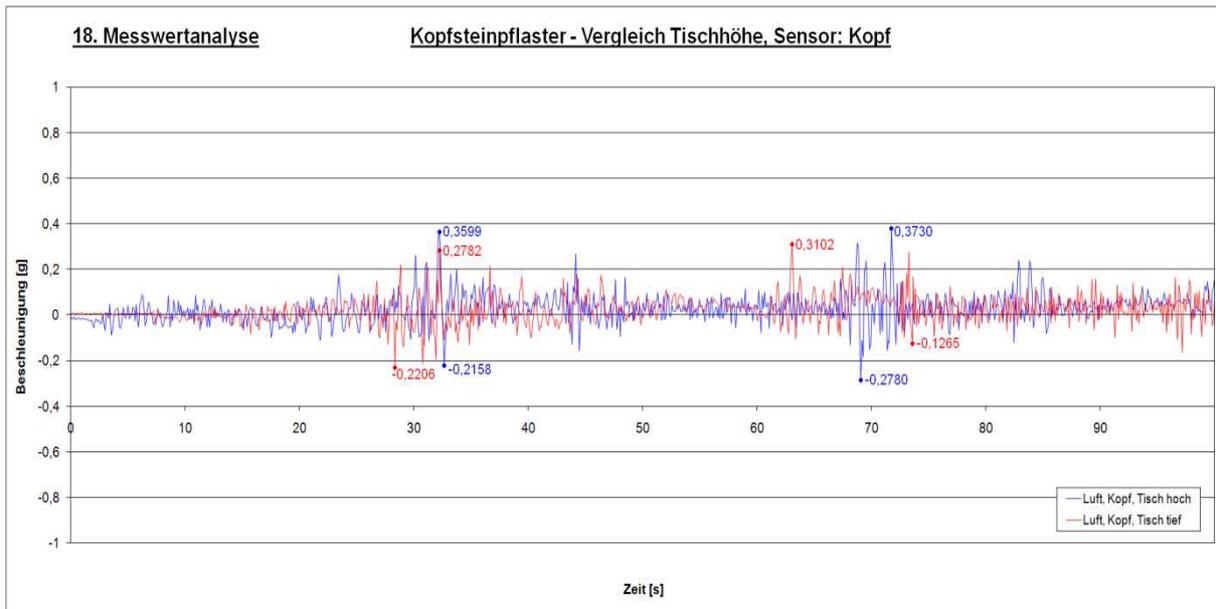


Abb. 5.1-13: Fahrt Kopfsteinpflaster Luftfeder mit Schwingtisch hoch / tief:

Keine deutlichen Unterschiede erkennbar

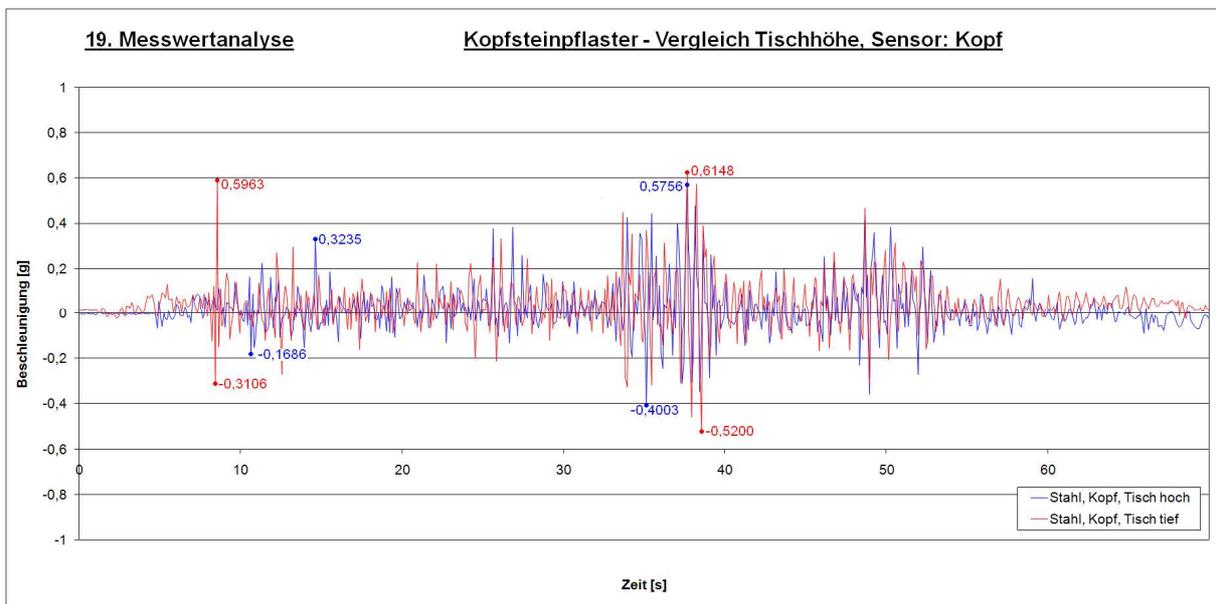


Abb. 5.1-14: Fahrt Kopfsteinpflaster Stahlfeder mit Schwingtisch hoch / tief

Sensor Kopf: **Keine deutlichen Unterschiede erkennbar, jedoch durchschnittlich höhere Werte als bei Messwertanalyse 18 (Luftfeder) (vergl. Abb. 5.1-17)**

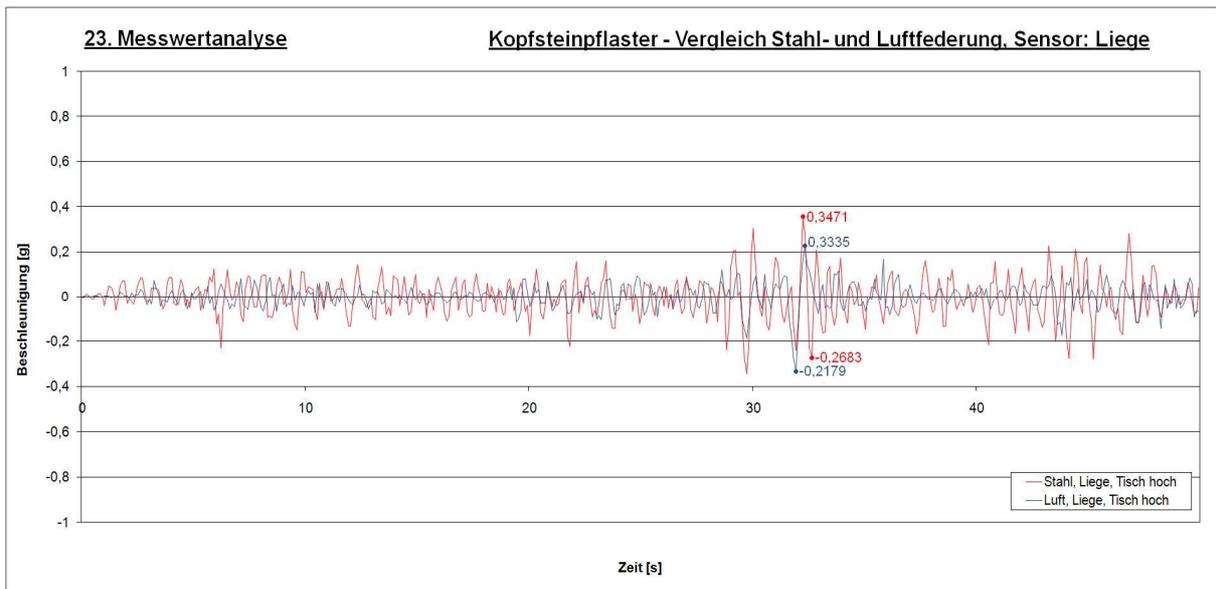


Abb. 5.1-15: Fahrt Kopfsteinpflaster im Vergleich Stahlfeder/Luftfeder mit Schwingtisch hoch: **erkennbarer Vorteil der Luftfeder**

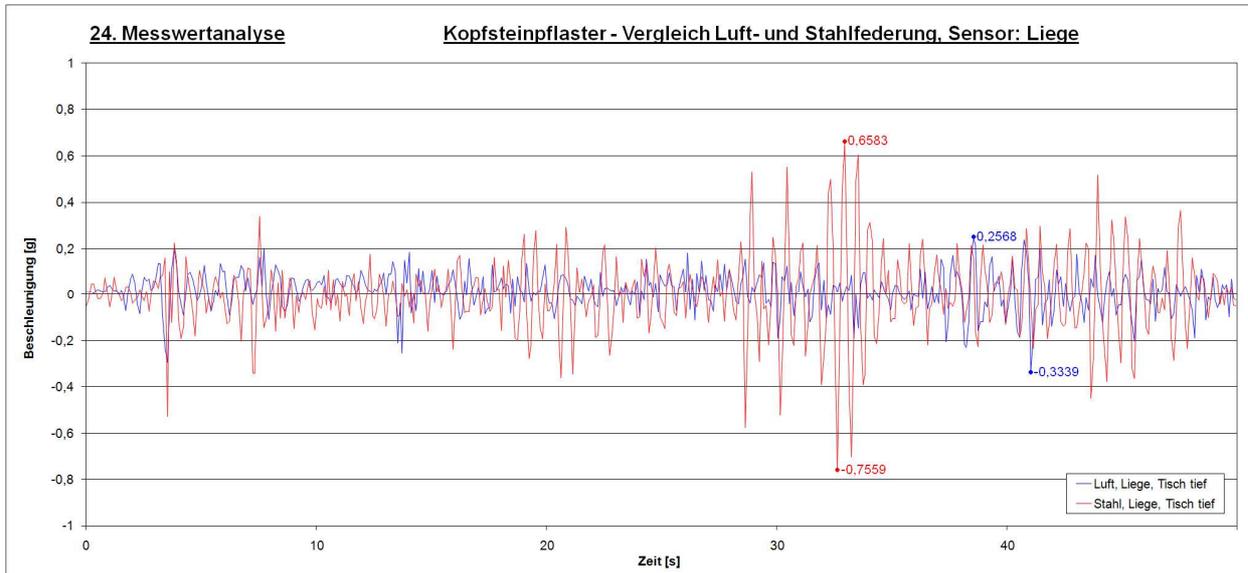


Abb. 5.1-16: Fahrt Kopfsteinpflaster im Vergleich Stahlfeder/Luftfeder mit Schwingtisch tief: **deutlich erkennbarer Vorteil der Luftfeder**

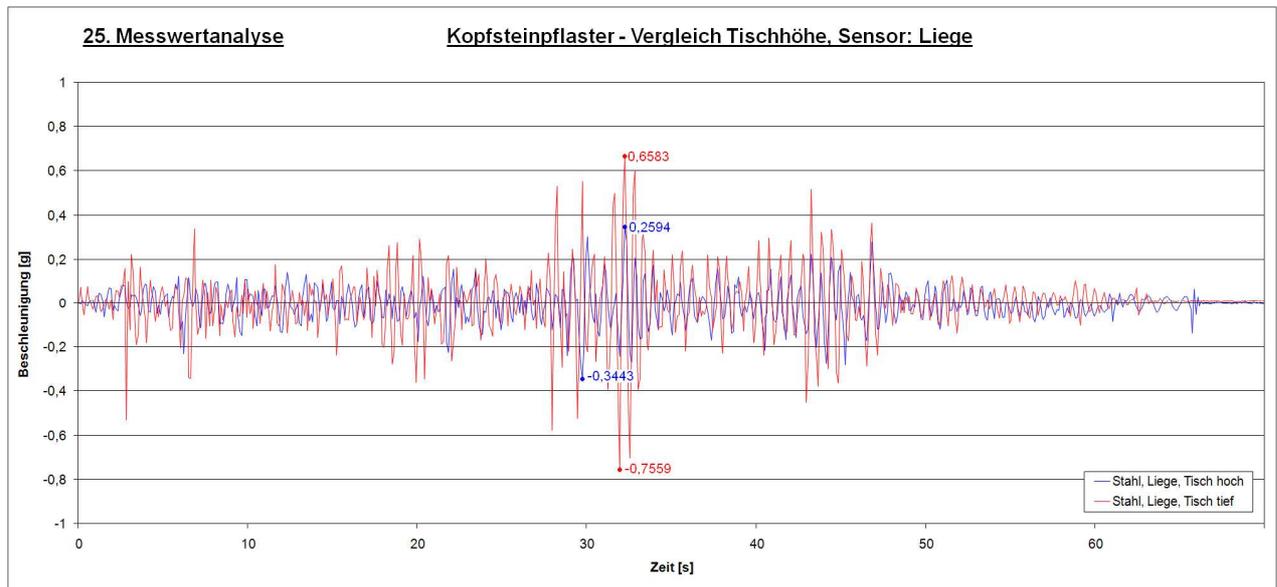


Abb. 5.1-17: Fahrt Kopfsteinpflaster im Vergleich Stahlfeder mit Schwingtisch hoch/tief
Sensor an Trage: **deutlich erkennbarer Dämpfung durch Schwingtisch (vergl. Abb. 5.1-14)**

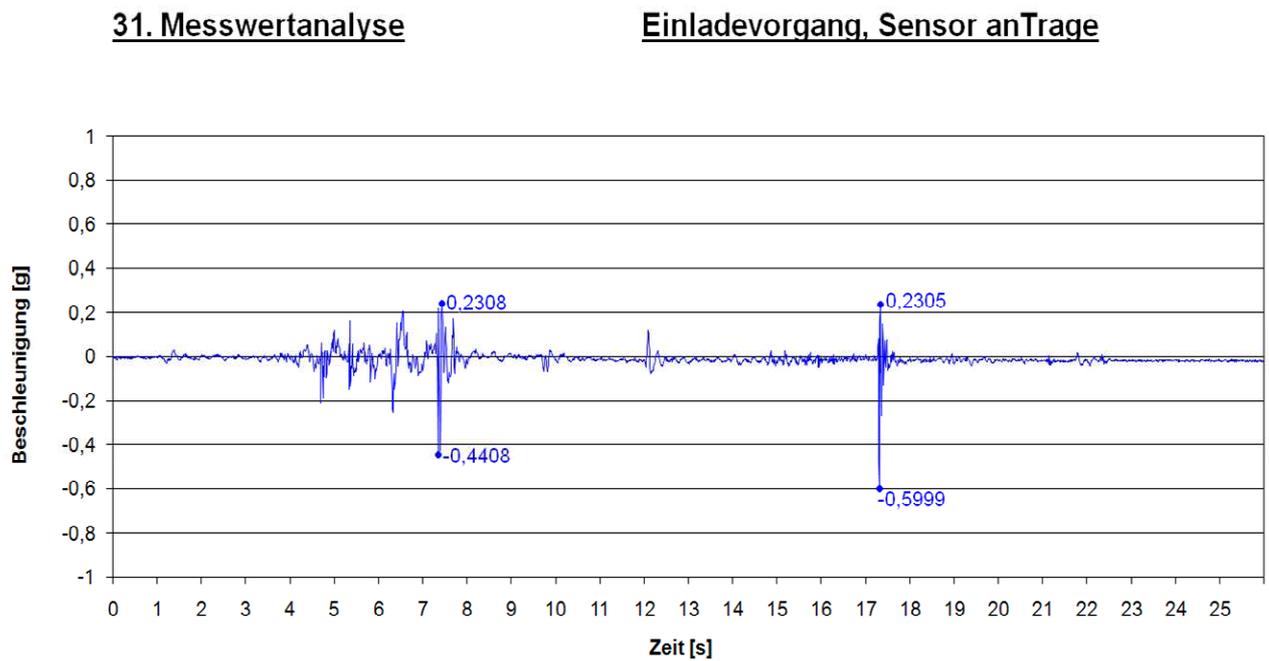
Einladevorgang

Abb. 5.1-18: Die Darstellung zeigt Beschleunigungseinwirkungen beim Einladevorgang der Krankentrage in den Rettungswagen. Der einaxiale Sensor befand sich an der Krankentrage.

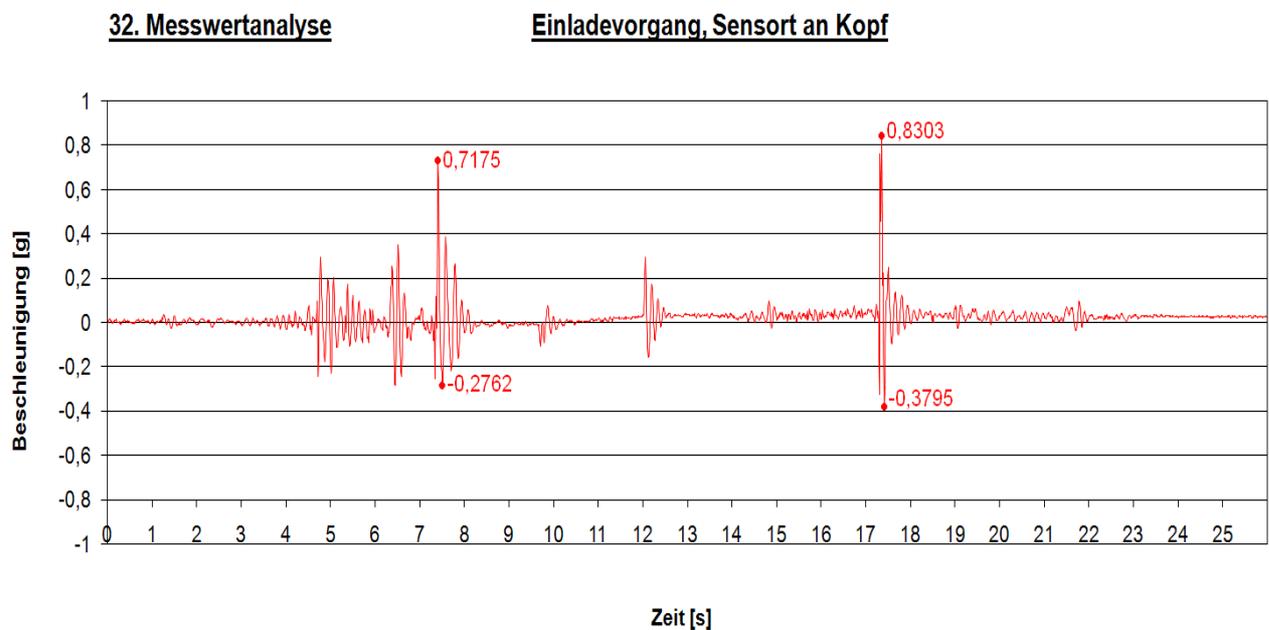


Abb. 5.1-19: Die Darstellung zeigt Beschleunigungseinwirkungen beim Einladevorgang der Krankentrage in den Rettungswagen. Der triaxiale Sensor war am Kopf der Probandin befestigt.

Das Aufsetzen und erste Einrasten der Krankentrage mit Patient ergibt erste Kräfteinwirkungen. Danach wird die Einladevorrichtung hydraulisch angehoben. Durch Beginn und Ende des Verstellvorganges gibt es die beiden geringeren Ausschläge. Beim manuellen Einschieben in die Transportlage und Einrasten in die Halterung entsteht der abschließende größere Peak.

<u>Einladevorgang</u>			
Zeit	Fzg.Boden	Trage	Kopf_result
17,354	1,142	-1,146	1,842
17,355	1,137	-1,381	1,831
17,356	1,014	-1,687	1,876
17,357	0,853	-1,716	1,930
17,358	0,895	-0,692	2,016
17,359	0,823	-1,076	2,092
17,360	0,963	-1,151	2,161
17,361	1,096	-1,337	2,193
17,362	1,263	-1,394	2,199
17,363	1,249	-1,543	2,154
17,364	1,303	-1,327	2,099
17,365	1,226	-1,333	2,043
17,366	1,169	-1,195	1,985
17,367	1,395	-1,244	1,929
17,368	1,271	-1,065	1,872
17,369	1,162	-0,705	1,829
17,370	0,966	-0,742	1,796
17,371	0,838	-0,763	1,766

Tab. 5.1-3: Auswahl vom Sensor aufgenommener unbearbeiteter Messwerte. Die Beschleunigungswerte an der Trage sind negativ, da der Sensor um 180° gedreht angebracht war.

Diese Tabelle bezieht sich auf die Grafik des Einladevorganges. Hier ist der zweite große Peak bei ca. 17 Sekunden (hier wurde die Messung als einzige mit 1000 Hz digitalisiert) markiert. Man erkennt hier deutlich die Werte, die von den anderen abweichen, und hier wird auch eine zeitliche Verzögerung zwischen Trage und Fahrzeugboden sichtbar. Der dazugehörige Peak am Kopfsensor ist erst bei einem deutlich späteren Zeitwert ablesbar. Der Unterschied in den Beträgen aus der Tabelle zum Grafen kommt daher zustande, dass der Sensor die Erdbeschleunigung mit 1g sowie eine Grundabweichung anzeigte (hier 1,21g). Durch Nullung wurde dieser Betrag zur Auswertung und grafischen Darstellung abgezogen. Außerdem erfolgte eine Filterung, es wurden bei der 100-Hz-Messung jeweils 10 Werte gemittelt, um sehr kurzzeitige Spitzen und Ungenauigkeiten herauszunehmen. Daher ergab sich für 17,362 Sekunden kein Wert

(Zeit der Spitzenmessung), sondern der nächstliegende war bei 17,36 Sekunden und hat den Betrag von 0,83 g.

Kommentare der Techniker als Gutachter der Messfahrten

An den Schwingungsmessungen beteiligte Techniker wurden ebenfalls bei den Probe- und Messfahrten auf der Krankentrage liegend als Gutachter und zu Testzwecken gefahren. Es erfolgte im Anschluss ein freies Interview mit dem Ziel der subjektiven Beschreibung der erlebten Eindrücke und Belastungen.

Fahrzeug mit Luftfeder und Tragetisch ohne Dämpfung

Der Komfort ist erstaunlich gut. Vor allem im Bereich des Oberkörpers und des Kopfes sind sowohl hochfrequente Anregungen als auch größere Wellen nur gedämpft spürbar. Auf die Beine werden die Stöße vergleichsweise stark übertragen, was sich in verstärktem „Hin- und Herwackeln“ bemerkbar macht. Das Überfahren der Aufpflasterungen ist mit diesem Fahrzeug und festem Tisch zwar deutlich spürbar, führt aber nicht zu großen Erschütterungen. Deutlicher als die vertikaldynamischen Schwingungen sind die Bewegungen in x- und y-Richtung. Sowohl beim Durchfahren von Kurven als auch beim Anhalten/Bremsen wird der Körper deutlich verlagert. Hier wären Fixierungen in alle Richtungen wünschenswert.

Fahrzeug mit Luftfeder und Tragetisch mit Einstellung „Schwingen“

Durch die ungenügend gedämpfte Federung des hohen Tisches treten Erschütterungen auf, die vermieden werden sollten, d.h. beim Überfahren der Aufpflasterung schlägt der Tisch oben an seine Begrenzung, so dass eine starke Erschütterung auf den Patienten wirkt, die durch die Sicherheitsgurte deutlich abgefangen wird. Darüber hinaus schwingt der Tisch unnötig lange nach, wobei diese Entkoppelung von der eigentlichen Aufbaubewegung möglicherweise zu Übelkeit führt. Auch vermittelt die große Schwingungsamplitude weniger subjektive Sicherheit als der feste Tisch; der Kontakt zur Begleitperson wird unterbrochen. Auf der Fahrt über gleichmäßiges Kopfsteinpflaster ist die leichte Federung im Vergleich zur ersten Variante angenehm, wenngleich der Unterschied nur gering ist. Eine Veränderung der Bewegungen in x- und y-Richtung wurde gegenüber erster Fahrt nicht festgestellt.

Fahrzeug mit Blattfeder und Tragetisch ohne Dämpfung

Das Fahrzeug mit Blattfeder unterscheidet sich vom erstgenannten vor allem in seinem Schwingungsverhalten. Der Aufbau schwingt sich deutlich stärker auf, bleibt dabei aber recht gleichmä-

ßig, was sich auf Kopfsteinpflaster eher positiv bemerkbar macht. Auch wenn die Amplituden vermutlich höher sind, kommen die Anregungen durch das Pflaster weniger gut durch. Auch beim Überfahren der Aufpflasterung schwingt das Fahrzeug deutlicher und länger nach. Das ist nicht unangenehm. Im direkten Vergleich würde jedoch die erste Variante bevorzugt. Die Bewegungen in x- und y-Richtung sind ebenso deutlich, wobei z.B. Abbremsungen nach Schlechtwegstrecken nicht so deutlich spürbar waren.

Fahrzeug mit Blattfeder und Tragentisch mit Einstellung „Dämpfen“

Dies ist die mit Abstand schlechteste Kombination im Versuch. Ebenso wie beim Fahrzeug mit Luftfeder schlägt der Tisch an seine oberen Begrenzung. Auf das Aufschwingen des Aufbaus auf schlechten Straßen oder nach Bodenwellen reagiert der Tisch ebenfalls mit starken Schwingungen. Je nach Situation wird der Tisch dabei derart in Schwingung versetzt, dass der Patient in Kombination mit der Fahrzeugbewegung deutlich nach vorn und hinten verschoben wird.

Anmerkungen für alle Versuche

Bei den Fahrten auf guten Straßen konnten keine deutlichen Unterschiede in den verschiedenen Varianten festgestellt werden. Die Sicherheitsgurte vermitteln keine Sicherheit und dienen nur bedingt zur Fixierung des Patienten in x-Richtung. Auch in y-Richtung konnte sich der Körper deutlich verdrehen, da der erste Gurt auf Höhe des Hüftgelenks auflag und der Oberkörper so große Bewegungsfreiheit hatte.

5.2 Lärmmessungen

Bei einem Versuch mit einem Rettungswagen auf Basis VW LT, Baujahr 2003, und eingeschalteter elektronischer Sondersignalanlage als Dachbalkensystem entstanden Spitzenlärmbelastungen von 87 dB(A) ohne eingeschalteten Funk. Wird der Funk betrieben, stieg die Belastung durch Störungen und Rauschen auf den Spitzenwert von 112 dB(A).

Messungen der Lautstärke an weiteren Rettungswagen bei Fahrbewegungen und Einsatz von Sondersignalen haben bei einem Kofferaufbau auf MB Sprinter, Baujahr 2006, im Patientenraum Spitzenwerte je nach Straßenzustand und maximaler Geschwindigkeit in der Stadt von 60 km/h von 87 dB (A) und beim Einsatz von pneumatisch betriebenen Kompressorfanfaren 86 dB (A) ergeben. Bei geöffneter Dachluke werden Werte von 99 dB(A) im Patientenraum gemessen.

Weitere Messungen bei zwei neuen und aktuellen Fahrzeugen (MB Sprinter mit Kofferaufbau, Baujahr 2009) bei Fahrbewegungen und Einsatz von Sondersignalen haben im Patientenraum Werte zwischen 56 dB(A) (Grundlautstärke durch Verkehrslärm und Motorengeräusch), 65-73 dB(A) bei Fahrbewegungen mit Spitzen bis 76 dB(A), beim Einsatz von Sondersignalen bis 78 dB(A) und geöffneter Dachluke von 80 dB(A) ergeben. Diese Fahrzeuge hatten Sondersignalanlagen im Frontbereich (Stoßstangenhöhe) eingebaut. Vergleichsmessungen mit weiteren drei Fahrzeugen haben nur geringe Abweichungen von den hier angegebenen Messungen im Bereich von +/- 2 dB ergeben und wurden damit nicht in die Dokumentation aufgenommen.

Fahrzeug	Funkgeräusche	Fahr- und Klappergeräusche	Sondersignal Dachluke geschlossen	Sondersignal Dachluke offen
VW LT 35 TDI Baujahr 2003	112 dB(A)	88 dB(A)	85 dB(A)	87 dB(A)
Mercedes Benz Sprinter 413 CDI Bj. 2006	nicht aufgetreten	87 dB(A)	86 dB(A)	99 dB(A)
Mercedes Benz Sprinter 515 CDI Bj. 2009 *	nicht aufgetreten	76 dB(A)	78 dB(A)	80 dB(A)

* Sondersignalanlage Einbau im Frontteil/Stoßstange

Tab. 5.2-1: Aus je 10 ausgewerteten Messungen ermittelte Spitzenbelastungen (Peaks) bei je drei verschiedenen Rettungswagentypen.

5.3 Temperaturmessungen

Die Messungen der Innenraumtemperatur mehrerer Rettungswagen bei hohen sommerlichen Temperaturen nach zwei Stunden Standzeit führten trotz Lüftung zu einer Aufheizung von + 9°C gegenüber der Außentemperatur. Den Spitzenwert erreichten wir bei der Messreihe bei einer Außentemperatur von 29 °C mit einer Innenraumtemperatur von 36 °C. Trotz Lüftung konnte die Temperatur nur auf 34 °C reduziert werden. Mit der dann zugeschalteten Klimaanlage sank innerhalb von 10 Minuten die Innenraumtemperatur auf 30 °C, nach 15 Minuten auf 28 °C und nach 20 Minuten auf 26 °C.

Fahrzeug	Außen-temperatur	Innenraumtemperatur					
		nach 2 h	15 min Lüftung	10 min Klimaanlage	15 min Klimaanlage	20 min Klimaanlage	30 min Klimaanlage
Mercedes Benz Sprinter 413 CDI Bj. 2006	29 °C	36 °C	34 °C	keine Klimaanlage			
Mercedes Benz Sprinter 515 CDI Bj. 2009	29 °C	35 °C	34 °C	30 °C	28 °C	26 °C	26 °C

Tab. 5.3-1: Auszug der Messreihen mit maximal ermittelten Innenraumtemperaturen.

5.4 Befragungen

Patientenbefragung

Die betrachteten Patiententransporte wurden zu rund der Hälfte von der Berliner Feuerwehr durchgeführt. Private Krankentransporte und Hilfsorganisationen bildeten den zweiten Teil. Als Fahrzeugtypen wurden etwa zu gleichen Anteilen Kastenwagen und Kofferaufbauten eingesetzt. Rund zwei Drittel der Patienten wurden sitzend transportiert. In nur rund 10% der Antworten wurden störende Einflüsse genannt. Ansonsten wird der Transport überwiegend positiv bewertet. Laute Geräusche der Sondersignale wurden sogar als angenehm (6%) empfunden. Antworten auf die offenen Fragen nach einer eigenen Bewertung des Transportempfindens und mögliche Kommentare wurden ebenfalls nur in 10 % aller Fälle genutzt. Die Antworten sind in der folgenden Aufzählung wiedergegeben. Es gab nur in Einzelfällen gleiche Nennungen:

Was war das Angenehmste am Transport?

Schnelligkeit & beruhigende Wirkung
 nicht „vollgelabert“ zu werden
 Schnelligkeit, Zuverlässigkeit & Hilfsbereitschaft
 alle sehr nett
 besonders ruhig im Sitz (Gefühl)
 jetzt endlich betreut
 Personal war sehr nett
 sehr gut organisiert
 Professionalität

Was war das Unangenehmste am Transport?

Federung
 Klappern & Erschütterungen
 sehr rappelig, unruhig, geklappert
 ungewöhnlicher Einladevorgang, dabei Erschütterungen

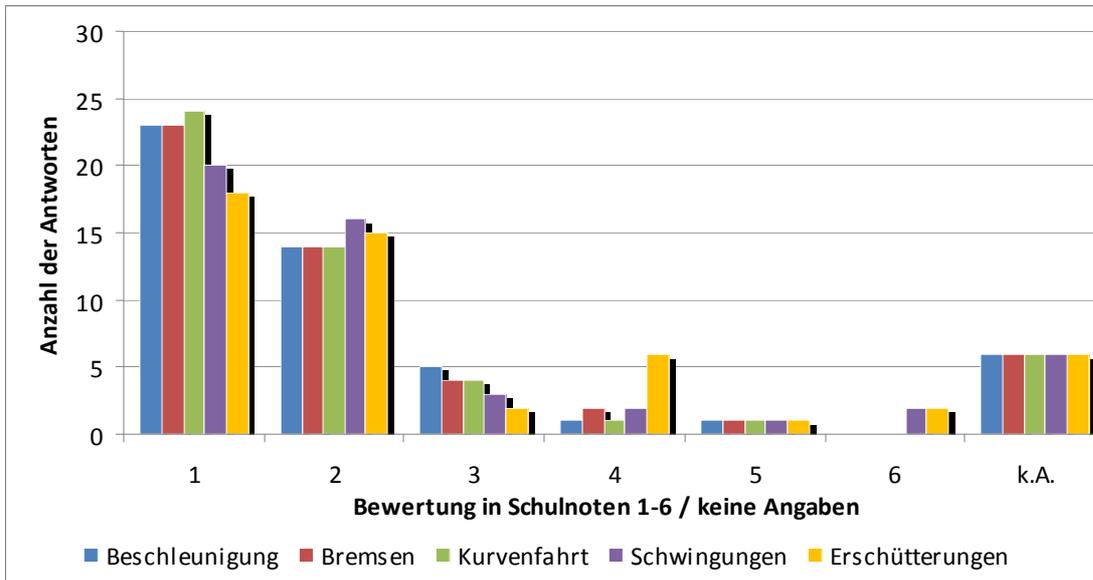


Abb. 5.4-1: Ergebnis der Befragung nach empfundenen Eindrücken ausgewählter Belastungen.

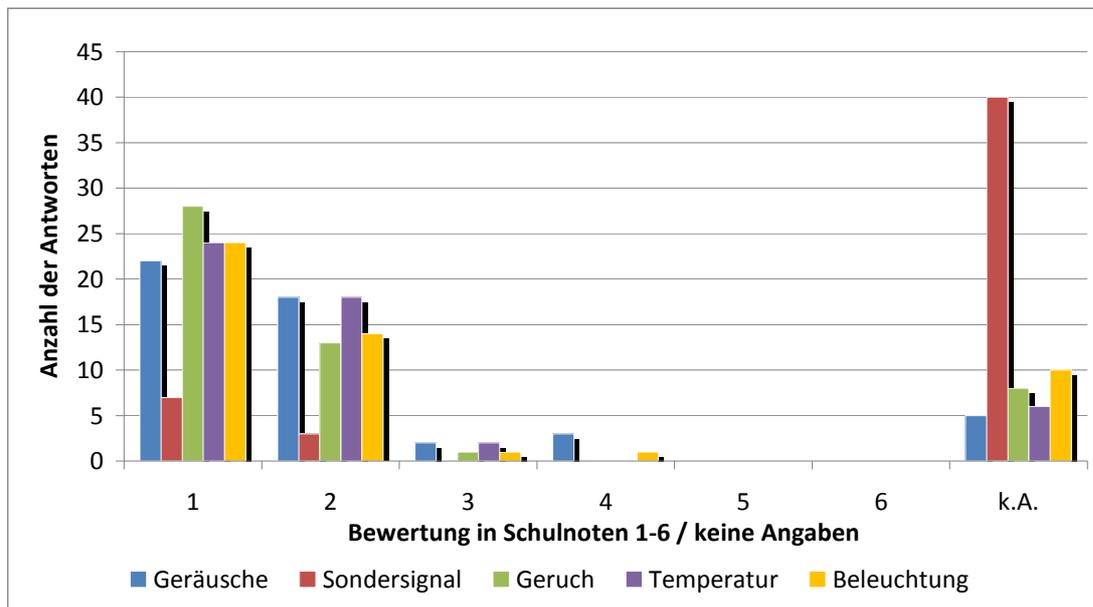


Abb. 5.4-2: Ergebnis der Befragung nach empfundenen Eindrücken ausgewählter Belastungen.

6 Diskussion

6.1 Schwingungsbelastungen

Die Messfahrten sind nur grobe Vergleiche. Es war bei den Testfahrten nicht möglich, exakt gleiche Bedingungen herzustellen. Das gelingt nur in Laborversuchen. Es war Ziel, unter realistischen Bedingungen Belastungen zu ermitteln. Anhand der Versuche können qualitative Aussagen zur Belastung durch Schwingungen mittels Messwerten am Tragetisch und Kopf der Probandin gemacht werden. Die Messwerte der Beschleunigungen an den Achsen sind erwartungsgemäß deutlich höher als die am Fahrzeugchassis und Tragetisch. Eine Darstellung der Auswertung der Achsmesswerte erfolgte in der weiteren vergleichenden Betrachtung nicht. Starke Schwingungen und Erschütterungen werden aber durch die Fahrzeugfederung nur sehr bedingt abgebaut, dafür sind die Dämpfungseigenschaften bei mittleren Fahrbahnunebenheiten jedoch deutlich ablesbar.

Allgemeine Bemerkungen

Die Schwingungswirkungen auf den Menschen hängen sehr von der Körperhaltung und seinem Verhalten, der Schwingungsstärke, Beschleunigung und Frequenz sowie dem Wirkungsort, der Wirkungsrichtung und der Wirkdauer ab. Durch die körpereigenen Frequenzen des Menschen, die zwischen 0,5 und 80 Hz liegen, besteht somit die Möglichkeit, dass der Mensch mit allen Eigenfrequenzen des Fahrzeuges in Resonanz treten kann, was sich wiederum negativ auf das Wohlbefinden auswirkt. Diese Auswirkungen gilt es, durch optimierte Fahrzeugeigenschaften auszugleichen.

Neben den reinen Beschleunigungswerten, ist für die Auswirkungen auf den Menschen auch die Zeitdauer und Amplitude mit zu berücksichtigen. Da aber, wie erwähnt, die Auswirkungen auf verletzte oder erkrankte Patienten nicht eingeschätzt werden können, müssen die Belastungen weitgehend auf ein Minimum reduziert werden.

Auswertung der Messergebnisse

Es werden bei der Auswertung ausschließlich die absoluten Messwerte berücksichtigt. Es sind für Notfallpatienten keine Grenzwerte bekannt. Es wird daher keine Bewertung oder Umrechnung der Schwingungsstärke durchgeführt. Zweck dieses Vorgehens ist der direkte Vergleich

absoluter Beschleunigungswerte unter verschiedenen Bedingungen mit dem Ziel der Reduzierung durch technisch-organisatorische Maßnahmen.

Bodenwellen

Das Ergebnis zeigt, dass ein Schwingtisch bei kurzzeitiger starker stoßartiger Überlastung die Belastung nicht kompensieren kann und durchschlägt. Auch die sonst besser reagierende Luftfeder des Fahrzeuges kann das nicht verhindern. Die Blattfeder zeigt hier sogar einen günstigeren Effekt. Interessant ist die Tatsache, dass die Beschleunigung bei gleicher Belastung ohne Einsatz des Schwingtisches (Tisch tief) geringer ausfällt. Das liegt daran, dass der Spitzenwert nicht durch die übertragenen Kräfte der Bodenwelle verursacht wird, sondern durch das Anschlagen des Tisches an den oberen Begrenzungspunkt und es dort zu einer plötzlichen Verzögerung kommt. Hierbei werden leichtere Personen erheblich mehr Kräften als schwerere ausgesetzt, da der Tisch schneller und mit höherer Energie fast ungedämpft anschlägt.

Die Betrachtung der Messwerte am Fahrzeugboden zeigt deutlich niedrigere Werte als die bei aktiviertem Schwingtisch am Kopf gemessenen. Die Messergebnisse zeigen aber auch eine Rückübertragung der Kräfte des An- bzw. Durchschlagens des Schwingtisches auf den Fahrzeugboden.

- ▶ Die Nutzung eines Schwingtisches heutiger Technik kann bei zu starken Anregungen zu gegenteiligen Effekten und einer Erhöhung der Patientenbelastungen führen.
- ▶ Die Vermeidung von zu hohen Belastungen beim Überfahren von Bodenwellen kann durch angepasstes Fahrverhalten verhindert werden.
- ▶ Konstruktive Veränderungen am Schwingtisch könnten ein Durchschlagen verhindern oder die Bewegung dämpfen und damit wesentlich die Patientenbelastungen reduzieren.

Kopfsteinpflaster

Die Luftfederung schafft bei gleichbleibend moderatem Straßenzustand und konstanter Fahrweise einen guten Fahrkomfort, der durch den Einsatz eines Schwingtisches kaum verbessert werden kann. Das beweist die vergleichende Messung mit Stahlfedern und höheren Beschleunigungswerten. Trotz Schwingtisch bleiben diese Werte weiterhin ähnlich hoch. Der Schwingtisch kann die höherfrequenten Schwingungen des Kopfsteinpflasters nicht ausreichend ausgleichen.

- ▶ Die Luftfeder sorgt für ausreichend Fahrkomfort bei normalem Straßenzustand sowie bei Kopfsteinpflaster und hat Vorteile gegenüber der Stahlfeder.
- ▶ Ein luftgefedertes abgestimmtes Fahrwerk erfordert bei normalem Straßenzustand keine zusätzlich dämpfenden Schwingungssysteme (Schwingtische).

Stadtfahrt

Eine Beurteilung erfolgt hier sehr subjektiv durch Interpretation der Messkurve. Durch verkehrsbedingtes Fahren und aufgetretene zeitliche Verschiebungen ist ein genauer Vergleich nicht möglich. Bei einer durchschnittlichen Stadtstraße zeigen sich nur geringe Vorteile der Luftfeder gegenüber der Stahlfeder. Am Kopf werden Werte gemessen, die relativ identisch mit den Werten des Fahrzeugbodens sind. Der zusätzliche Einsatz des Schwingtisches bringt grundsätzlich eine geringe Reduzierung der auftretenden Schwingungskräfte, zeigt aber in bestimmten Situationen einzelne Peaks durch Dekompensation des Dämpfungsverhaltens.

- ▶ Bei „normalem“ Straßenzustand und moderater Geschwindigkeit zeigen beide Federungssysteme nur geringe Unterschiede.
- ▶ Der Schwingtisch bringt insbesondere bei Fahrzeugen mit Blattfedern eine Komfortverbesserung.
- ▶ Der Schwingtisch zeigt in bestimmten Situationen frequenz- und schwingungsstärkeabhängig deutliche Schwächen und sollte durch Änderung des Dämpfungsverhaltens optimiert werden. Eine Anpassung auf das Patientengewicht ist vorzusehen.

Es lassen sich durch technische Verbesserungen an Fahrzeugen und Schwingtischen erhebliche Reduzierungen der physikalischen Belastungen erreichen. Im Ergebnis wären vom Fahrgestell richtig dimensionierte Rettungswagen mit abgestimmtem Fahrwerk und einem geeigneten Schwingtisch mit einer Eigenfrequenz unter einem Hertz einzusetzen. Ein Mangel bleibt bei allen derzeit verfügbaren Schwingtischen, dass es bei stoßartigen Schwingungen immer noch zum Durchschlagen kommt. Trotzdem könnten Komfortverbesserungen um bis zu 50% und die Halbierung der Beschleunigungen erreicht werden.

Bewertung des Schwingtisches

Zur Dämpfung des Schwingungsverhaltens ist die Benutzung des Tragetisches immer indiziert. Siegel (2000) hat hierzu in einer Arbeit das Schwingungsverhalten verschiedener Fahrzeugkomponenten und den Einsatz eines Inkubators zum Transport von Neugeborenen untersucht. Dabei

ist eine Schwingungsdämpfung vom Fahrgestell zum Schwingtisch und dem Inkubator erkennbar. Vermutlich durch Resonanz dieser Schwingungen mit dem kindlichen Kopf ergeben sich dennoch wieder höhere Beschleunigungswerte am Kopf, die teilweise über den direkt am Fahrzeugchassis gemessenen Werten liegen. Das haben Messungen an der Belastungsgrenze des Schwingtisches mit An- und Durchschlagen auch bei erwachsenen Personen bestätigt. Siegel hat bei seiner Untersuchung deutlich herausarbeiten können, dass eine glatte, ebene Straße mit einer Geschwindigkeit von 70 km/h befahren wesentlich geringere Beschleunigungswerte am Neugeborenen erzeugt, als eine mit 50 km/h befahrene wellige Straße. Die Schlussfolgerung hieraus ist, dass insbesondere bei Inkubatortransporten eine geeignete Fahrstrecke auszuwählen ist und unbedingt die Geschwindigkeit den Straßenverhältnissen angepasst werden muss. Diese eigentlich ganz simple Forderung wird leider in der Praxis nicht erfüllt, so dass von Notärzten nur sehr zögernd Sondersignal angeordnet wird, aus Angst vor zu schneller Fahrweise.

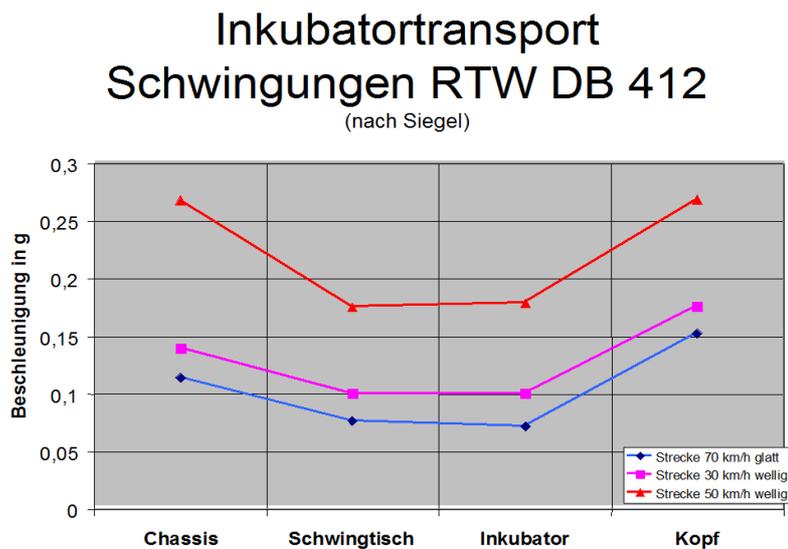


Abb. 6.1-1: Unterschiedliche Beschleunigungen im System Rettungswagen und Wirkungen auf die Einzelkomponenten (Siegel 2000).

Eine Voraussetzung für eine effektive Belastungsreduzierung ist ein abgestimmtes System. Das ist nur beim Einsatz eines geeigneten Fahrzeuges erreichbar. Der heute typische Rettungswagen ist eher als Gemüselaster oder Möbeltransporter ausgelegt. Maximale Fahrgestellbelastungen, und Federungsmängel sind allen im Rettungsdienst Tätigen bekannt. Das ideale Transportfahrzeug für alle Fahrstrecken wird es vermutlich nicht geben. Jedoch können einfache Verbesserungen am Fahrgestell mit getestetem Schwingungsverhalten der Systeme unter Beachtung der

Kompatibilität des Gesamtsystems (Schwingungen Fahrzeug, Aufbau, Schwingtisch, Patient) und ein einwandfreier Zustand (regelmäßige Untersuchungswiederholungen) beim Einsatz des richtigen Fahrzeugs zum Patientenkomfort beitragen. Wesentlich beeinflussen übrigens auch Reifentyp und Luftdruck das Fahrverhalten und den Federungskomfort. Sicher ist bei diesen Forderungen ein Kompromiss zwischen Fahrsicherheit und Fahreigenschaften erforderlich.

Derzeit übliche Schwingtische reduzieren die effektive Beschleunigung in einem bestimmten Bereich. Unterhalb der Eigenfrequenz kommt es zu einer Systemresonanz die durch unzureichende Dämpfung zu einem Aufschaukeln oder durch stoßartige Belastungen sogar zum Durchschlagen des gesamten Systems führt. Dabei verstärkt sich die Wirkung der auftretenden Beschleunigungen durch die Massenträgheit des Tisches, der Trage und des aufliegenden Menschen. In den Fahrversuchen wurde diese Situation bewusst provoziert und mehrfach erreicht, ohne dass extreme Geschwindigkeiten gefahren wurden.

Daher ist das komplexe Schwingungssystem für jedes Fahrzeug, individuell bezüglich Schwingungsverhalten zu testen und die Komponenten darauf abzustimmen. Das bedeutet für einen Schwingtisch, dass es für die Grenzbereiche und an den Endpunkten z.B. Puffer oder Regulatoren geben muss, damit dieses Durchschlagen verhindert wird. Regelmäßige Wartung und Wiederholung der Untersuchungen müssen aufgrund Alterung und Verschleiß erfolgen.

Schwingtisch-Weiterentwicklung

Die Lösung für eine optimale Dämpfung durch einen Schwingtisch wäre die Entwicklung einer aktiven Federung, die prozessorgesteuert Last, Fahrzeug und Straße aufeinander abstimmt.

Wie die Betrachtungen aus der zitierten Literatur und die bekannten physikalischen Gegebenheiten zeigen, sind das relevante Schwingungen um 1 bis 2 Hz. Der hier ganz besondere Effekt ist neben der Durchschlaggefahr auch die Empfindlichkeit des Menschen mit der unter 1 Hz auftretenden „Seekrankheit“ (Kinetosen).

In den Praxistests wollten die Fahrzeugbegleiter instinktiv den stark federnden Schwingtisch festhalten. Das „Festhalten“ sollte durch einen zusätzlichen Dämpfer automatisch erfolgen.

Die Analyse der Schwingtische zeigt zwar eine gute Grundabstimmung und Berücksichtigung einer möglichst geringen Eigenfrequenz von unter einem Hertz, jedoch sind die Federungen für

ein relativ optimales Dämpfungsverhalten auf einen „Normmenschen“ von 75 kg eingestellt. Zwei Grundprinzipien der Konstruktion und Funktionsweise der Schwingtische sind bekannt. Die Patientenlast wird durch eine Luftfeder gehalten und ein Dämpfer ist parallel geschaltet. Eine Mechanik regelt die Höhenverstellungen. Als Weiterentwicklung und subjektiv von vielen als „besser“ beurteilt, wird die hydropneumatische Federung angewandt. Mittels Scherengestellen oder Hydrostempeln wird der Tragentisch in seiner Höhe verändert. Der Öldruck wird durch einen Membranspeicher und Gegendruck durch komprimierte Luft in Abhängigkeit vom Patientengewicht und von auftretenden Beschleunigung reguliert, und es kommt im Rahmen der möglichen Komprimierung des Luftvorrates (Vordruck ca. 25-27 bar) zu einem Schwingungsverhalten. Eine Dämpfung erfolgt nur in einem engen Hubbereich durch den statisch druckbelasteten pneumatischen Ausgleichsbehälter (Membranspeicher) für das Hydrauliköl des Schwingtisches. Dabei handelt es sich um ein geringes Volumen und damit um eine sehr eingeschränkte Funktion. Spitzenstöße können nicht ausreichend kompensiert werden. Zu leichte Personen können bei stärkeren Schwingungen nach oben, schwerere Personen nach unten durchschlagen. Daher ist es unverständlich, dass es keine manuelle Vorwähl- oder Steuerungsmöglichkeit gibt. Eine Verbesserung wäre durch einen Zusatzdämpfer gegeben und durch eine im Grenzbereich aktive Sicherung gegen ungedämpftes Anschlagen. Die beste Lösung wäre ein aktives System, dass sich elektronisch auf den Patienten und die Straßen- und Schwingungsbedingungen des Fahrzeuges einstellt.

Auf der Suche nach weiteren Möglichkeiten fiel eine Entwicklung der Firma ERAS in Reutlingen auf, die einen aktiven Schwingtisch für Inkubatortransporte entwickelt hat und genau so einen beschriebenen Dämpfer einsetzt. Vermutlich würde aber schon ein lastabhängiger oder verstellbarer zusätzlicher Dämpfer in Schwingtischen die Durchschlaggefahr verringern und eine optimale Dämpfung erreichen lassen.

Bei diesem „aktiven Tragetisch“ wird der übliche Schwingungsdämpfer durch einen prozessorgesteuerten Aktuator ersetzt, der über einen Sensor immer den Schwingungen des Fahrzeugbodens entgegenwirkt. Nach Herstellerangaben senkt das aktive System bei 12 Hz die Schwingungen und Belastungen um ein Vielfaches im Vergleich zu herkömmlichen Systemen.

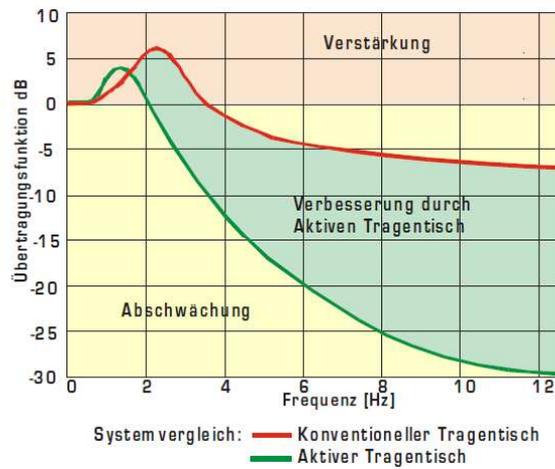


Abb. 6.1-2: Darstellung der Abschwächung von Beschleunigungen durch einen aktiven Tragentisch (Grafik der Firma ERAS).

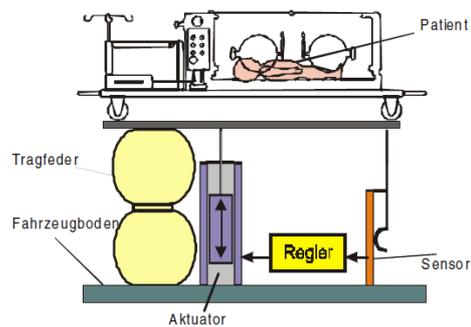


Abb. 6.1-3: Prinzipskizze am Beispiel eines Schwingtisches zum Inkubatortransport (Grafik der Firma ERAS).

Trotzdem kann ein Schwingtisch, also ein weiteres Schwingungssystem zur Korrektur der anderen Systeme, nicht die einzige Lösung sein. Der richtige Ansatz müsste lauten, das bestehende System des Transportfahrzeuges zu optimieren.

Fahrzeugoptimierung

Die Fahrzeugtechnik bietet jetzt völlig neue Möglichkeiten. Die Fahrzeugindustrie hat intelligente Luftfeder-Fahrwerke mit elektronischer Regelung entwickelt. Diese Fahrwerke sind serienreif und finden bei mehreren Herstellern meist im Oberklassebereich Verwendung. Für die Zukunft ist ein Durchbruch dieser Technologie in Richtung Mittelklasse vorausgesagt; insbesondere sollen aber auch Kombis, Vans und Kleintransporter mit hoher Zuladung von der Flexibilität der Luftfederung profitieren. Weitere Funktionen in der Entwicklung sorgen für den Einsatz von Luft – nicht nur zum Federn, sondern auch zum Dämpfen. Durch nicht regelbare Federn und Dämpfer sind Fahrwerke immer ein mehr oder weniger geglückter Kompromiss zwischen Komfort und Fahrsicherheit. Das würde bedeuten, dass eine harte Federung für extreme Fahrsituationen, wie etwa bei Einsatzfahrten ohne Patienten, für höchste Sicherheit sorgt. Bei schonender Fahrt ist die korrekte Abstimmung auch auf niederfrequente Schwingungen angepasst möglich. Die neue Technologie der „Skyhook-Federung“ - in Kombination mit verstellbaren Dämpfern - wird hohen Komfort ermöglichen. Die adaptive Dämpferregelung erlaubt eine weichere Grundauslegung der Dämpfer als bei unregelmäßigen Fahrwerken verbunden mit besserem Federungskomfort. Eine solche Technik der aktiven Federung und Dämpfung gibt es seit kurzem für Pkw-Fahrgestelle. Dahinter steht die Idee, dass der Federungskomfort dann optimal ist, wenn die Dämpfung nicht nur auf die unebene Straße „reagiert“, sondern dies noch analog zu einer gedachten geraden horizontalen Schiene erfolgt. Ziel dieses Systems ist es, den Fahrzeugaufbau möglichst ruhig und unabhängig vom jeweiligen Fahrbahnzustand zu halten – als wäre das Fahrzeug am Himmel („sky“) befestigt („hooked“). Das Fahrwerk gibt dabei keine Bodenunebenheiten und Schlaglöcher weiter, sondern gleicht, als würde es gleiten, sämtliche Bodenunebenheiten aus. Eine elektronische Steuereinheit erkennt über Sensoren Geschwindigkeit, Querschleunigung und Straßenzustand. Danach berechnet das System die optimale Dämpfung für jedes Rad. Warum dies bisher in Rettungswagen nicht umgesetzt wurde, lässt sich nur durch Unkenntnis, mangelndem Bedarf bei den Rettungsdiensten und vermutlich hohen Entwicklungskosten und damit fehlendem Interesse der Industrie erklären.

- ▶ Das Fahrwerk und die Schwingungssysteme von Rettungswagen sind zu optimieren.
- ▶ Aktive Dämpfer und geregelte Schwingtische können eine Komfortverbesserung erreichen.
- ▶ Die Nutzung eines Schwingtisches heutiger Technik kann bei zu starken Anregungen zu gegenteiligen Effekten und einer Erhöhung der Patientenbelastungen führen.
- ▶ Diese Erkenntnisse sollten in eine technische Richtlinie und in die bestehende Norm DIN EN 1789 eingearbeitet werden.

Einladevorgang

Die messtechnische Betrachtung des Einladevorganges hat die Erwartungen einer stoßartigen Beschleunigung des vorgeschobenen, schweren Mensch-Tragegestell-Systems in die Halterung beim abrupten Einrasten bestätigt. Rund 0,8 g als resultierende Größe wirkten auf den Kopf. Dieser Vorgang wurde wiederholt gemessen und ist sicher abhängig vom Körpergewicht des Patienten und der Kraft und Sensibilität der handelnden Personen. Da der Patient nicht starr fixiert auf der Trage liegt, ist davon auszugehen, dass dieser Umstand noch die Beschleunigung gemindert hat und bei richtiger Fixierung evtl. weiter ansteigen könnte.

► Es sind Maßnahmen zu ergreifen, um die festgestellte erhebliche Belastung beim Einrasten der Trageeinheit zu minimieren.

Ergebnis

Die derzeitigen Systeme zur Schwingungs- und Belastungsdämpfung in Rettungswagen bestehen aus vielen Einzelkomponenten, die wegen fehlender Abstimmungen keinen ausreichenden Erfolg bieten.

Fahrten über durchschnittliche Straßen werden durch die aktuellen Federungssysteme gut ausgeglichen.

Das luftgefederte Fahrzeug hat fahrdynamische Vorteile und bringt Komfortverbesserungen für den Patienten bei leichten Unebenheiten und Kopfsteinpflaster. Beim Überfahren von Bodenwellen ist der Transportkomfort erheblich durch das richtige Fahrverhalten zu beeinflussen. Die Versuche haben ergeben, dass bei falscher (schneller) Fahrweise eine zusätzliche Anregung des aktiven Schwingtisches auftritt. Dabei kommt es zum Anschlagen an die Endlager und plötzliche, stoßartige Krafteinwirkungen. Außerdem tritt ein unangenehmes Nachschwingen mit weiteren zusätzlichen Belastungen auf, obwohl die Bodenwelle bereits überfahren wurde und vom Fahrgestell keine belastenden Schwingungen übertragen werden.

Die Ausrüstung von Rettungswagen mit Luftfedern scheint somit einen günstigeren Einfluss auf den Patiententransport zu haben und Schwingungen zu reduzieren.

Werden Stahlfedern verwendet, sind Schwingtische mit aktiven Dämpfern erforderlich, um ein vergleichbares Schwingungsverhalten zu erzielen.

Die Optimierung des Schwingtisches mit aktiver Steuerung durch spezielle Dämpfer (besonders für schnelle Bewegungen und als Durchschlagprävention) oder elektronisch geregelte Aktuatoren und Abstimmung auf das jeweilige Fahrzeug können einen erhöhten Transportkomfort erzielen.

Eine weitere Forderung aus dem Ergebnis ist eine Untersuchung, ob ein dem Pkw-Standard angepasstes Fahrzeug einen zusätzlichen Schwingtisch mit Zusatzkosten von bis zu 15.000 Euro überflüssig machen könnte. Ein Wegfall der Relativbewegung des Patienten auf dem schwingenden Tragetisch gegenüber dem Aufbau würde Unwohlsein und Kinetosen mindern.

Auf jeden Fall wurden in dieser Arbeit grundsätzliche Mängel und Nachbesserungsbedarf bei der Konstruktion bzw. Konzeption der Fahrzeuge und beim Umgang mit Schwingtischen festgestellt. Das führt zu der Folgerung, dass das Gesamtsystem nicht schwingungstechnisch abgestimmt ist. Die Fahrgeschwindigkeit und richtige Fixierung von Patienten haben einen wesentlichen Einfluss auf das Gesamtmaß der Belastung und müssen auf die technischen Systeme abgestimmt werden (Snook 1977).

Witzel et al. (1998) haben belastende Einflüsse in Abhängigkeit zu der Transportart an Freiwilligen gemessen, indem sie bei verschiedenen Transportmethoden von der Einsatzstelle zum Fahrzeug jeweils die Puls- und Blutdruckwerte im Vergleich zu den Referenzwerten im Ruhezustand aufgenommen haben. Dabei war zu erkennen: Je stabiler die Lage und genauer die Fixation des Probanden, desto weniger steigen Puls und Blutdruck an. Personen, die auf den Armen getragen, gehend oder mit dem Rautekgriff transportiert wurden, verzeichneten einen Blutdruckanstieg von 20 bis 35% und einen Anstieg der Pulsfrequenz um 50-75%. Damit kommen zu den bisher bekannten Stressoren wie Wartezeit auf den Rettungsdienst, Umgebungseinflüsse (Wetter, Temperatur), Lärmeinflüsse und Unprofessionalität des Rettungsdienstpersonals nun auch die hier dargestellten möglichen belastenden Transportarten und mechanischen Einwirkungen dazu.

Diese Erkenntnisse sind ein Grund, sich nicht nur mit Schwingungen und Beschleunigungen, sondern auch mit anderen Gegebenheiten zu befassen, die bei Patienten Reaktionen und Stress

hervorrufen können. Die Beurteilung der Messwerte und ergänzend das Urteil von Testpersonen können ein gutes Bild und Maß möglicher Belastungen geben.

Um Schwingungen und damit Beschleunigungen sowie deren Größe und Wirkungen beurteilen zu können, müssen die auftretenden Kräfte bestimmt werden. Um verschiedene Systeme, Fahrzeuge und Konfigurationen beurteilen und vergleichen zu können, benötigt man ein einheitliches Testverfahren. Es existiert keine Normstraße und auch kein einheitliches Verfahren zur Erzeugung von Schwingungen oder Beschleunigungen, um Bewertungen bei Rettungswagen durchzuführen.

► Es sind definierte Testverfahren für Vergleiche und Bewertungen zu entwickeln.

6.2 Lärmbelastung

Die Ergebnisse zeigen, dass tatsächlich erheblicher Lärm auf einen Patienten einwirkt. Daher muss von störenden bis schädigenden Einflüssen beim Transport ausgegangen werden, auch wenn im Vergleich zur arbeitsmedizinischen Betrachtung (über 8 h) deren Lärmgrenzen für Arbeitsplätze durch relativ kurze Einwirkzeiten – bei angenommenen kurzen Anfahrten in der Stadt – eventuell nicht erreicht werden. Es ist trotzdem unverständlich, dass bis heute dieser Bereich bei der Konstruktion und Planung von Rettungsfahrzeugen so gut wie unberücksichtigt bleibt.

Neben dem Sondersignal, das von manchen Patienten zwar als beruhigend empfunden wurde, das aber mit bis zu 99 dB(A) und mit zusätzlichen Geräuschen durch Störungen am Funkgerät ein Pegel von über 110 dB(A) ein eindeutig schädigender Stressor ist, sind Geräusche durch Türenschlagen, Schließen von Fächern, großes Spiel bei Halterungen und Klappergeräusche im Fahrzeug mit bis zu 87 dB(A) nicht hinnehmbar. Bei einer solchen Lärmbelastung soll ein Arbeitnehmer bereits Gehörschutz tragen, und die tägliche Belastungszeit darf nur 15 Minuten betragen. Im Folgenden sollen die objektiven Messungen und auch kurze Einwirkzeiten diskutiert werden.

Schallpegelmesser messen im Gegensatz zum menschlichen Empfinden nur den physikalischen Pegel eines Schalls, der durch Bewertungsfilter frequenzabhängig gewichtet werden kann. Dabei bedeutet eine Änderung von 3 dB bereits eine Verdopplung bzw. Halbierung der physikalischen Lautstärke. Wir empfinden diese Pegel unterschiedlich laut. Die Lautheit ist eine von Stanley

Smith Stevens bereits 1936 und dann durch Normen festgelegte Größe zur proportionalen Abbildung des menschlichen Lautstärkeempfindens. Sie verdoppelt sich, wenn der Schall als doppelt so laut empfunden wird. Lautheit ist ein psychoakustischer Begriff, der beschreibt, wie eine Anzahl von Testpersonen die „empfundene“ Lautstärke von Schall überwiegend beurteilt. Diese psychoakustischen Ergebnisse lassen sich mit physikalischen und medizinischen Gegebenheiten in Beziehung setzen. Es gibt einen Zusammenhang zwischen der Lautheit und gemessenen Dezibel mittlerer und hoher Lautstärken. Dabei führt eine Erhöhung der Lautstärke um 10 Dezibel zu einer Verdopplung der Lautheit. Bei niedrigeren Lautstärken führt schon eine geringere Lautstärkeerhöhung zum Gefühl der Verdopplung der Lautheit. Die vom Menschen wahrgenommene Lautstärke hängt vom Schalldruckpegel, dem Frequenzspektrum und dem Zeitverhalten des Schalls ab. Die Lautheit gibt an, wie laut Schall rein subjektiv empfunden wird. Sie ist also eine akustische Empfindungsgröße mit großer Toleranz und keine wirkliche Messgröße. Es gibt keine Umrechnungsformel. Lärm und Lärmempfinden entziehen sich als psychoakustische Werte einfacher physikalischer Messung.

Tonhaltigkeit bezeichnet eine Eigenschaft von Geräuschen. Sie liegt dann vor, wenn Einzeltöne innerhalb eines Geräusches hörbar sind. Sie erhöht die Störwirkung eines Geräusches im Allgemeinen erheblich, was bei der Bildung eines Beurteilungspegels durch einen auf das Messergebnis aufzuschlagenden Tonzuschlag zu berücksichtigen ist. Der Wert des Tonzuschlags wird aus den in Vorschriften hinterlegten Verfahren abgeleitet, die den Pegel des Einzeltones mit dem Pegel eines je nach Vorschrift anders definierten umgebenden Frequenzbandes vergleichen. In Deutschland werden überwiegend die TA Lärm und die DIN 45681 herangezogen.

Da eine technische Pegelmessung die Tonhaltigkeit, Lautheit oder gar die Lärmwirkung nicht richtig wiedergeben kann, werden bei der Bewertung von Schallemissionen vielfach noch Zuschläge vergeben, die die Fehler der bewerteten Pegelmessung ausgleichen sollen, so z.B. Zuschläge für Tonhaltigkeit und Impulshaltigkeit. Aus dem Messwert und den Zuschlägen wird dann ein Beurteilungspegel gebildet. Das bedeutet, dass zu den Bewertungsfaktoren noch mal ein Aufschlag für das menschliche Empfinden hinzu kommt. Dieses deckt sich mit den Aussagen der Rettungsdienstmitarbeiter, dass nach subjektiv zu lautem Empfinden bei bestimmten Einsatzfahrzeugen eine Messung dennoch im zulässigen Toleranzbereich liegt.

Bei der Patientenbefragung wurde zur Frage nach der Lärmbelastung erstaunlicherweise vereinzelt geäußert, dass gerade das Sondersignal trotz Lautstärke eine beruhigende Wirkung ausgeübt

haben soll. Es vermittelte den Eindruck der schnellen Hilfe für den Betroffenen. Diese Aussage deckt sich mit der Veröffentlichung von Walther-Büel (1957), der die Lärmwahrnehmung im Sinne einer Belästigung definierte, wenn sie ein Nichtbeteiligtsein und eine gewisse Passivität voraussetzt und kein aktives Hören darstellt.

Da es bisher keine Untersuchungen zu solch kurzen Einwirkzeiten, wie sie beim Notfalltransport auftreten, gibt und ebenso keine Studien an Patienten bekannt (und nicht durchführbar) sind, müssen die arbeitsmedizinischen und notfallmedizinischen Erkenntnisse theoretisch betrachtet und auf Notfalltransporte übertragen werden. Da für die wahrgenommene Lautstärke, die mögliche Belästigungswirkung und auch die potenzielle Schädigung des Gehörs durch Messungen jedoch nur unvollkommen wiedergegeben werden, sind bei der Geräuschbewertung noch Zuschläge für bestimmte Geräuschsituationen erforderlich, z.B. für die Tonhaltigkeit und Impulshaltigkeit. Der daraus resultierende Beurteilungspegel (Schalldruckpegel + Bewertungsfilter + Zuschläge) muss für eine Bewertung herangezogen werden. Diese Betrachtungen übersteigen jedoch die vorliegende Arbeit und sind ohnehin durch das Erreichen hoher Messwerte bereits ohne Faktoren für das Ergebnis unerheblich.

Für die Messfehlerbetrachtung werden bei Überwachungsmessungen von einem Lärmbeurteilungspegel 3 dB(A) abgezogen (Messabschlag). Der Messabschlag geht auf die TA Lärm von 1968 zurück und sollte ein Ausgleich für die Messunsicherheit sein. Da auch diese Minderung keinen erheblichen Einfluss auf die Gesamtbewertung hat und die Zuschläge nicht berechnet wurden, werden auch mögliche Messfehler in dieser Dimension und eine Berücksichtigung der Standardabweichung das Ergebnis nicht beeinflussen.

Der größte Lärmfaktor ist der Schall durch die Sondersignalanlage. Die erste Maßnahme zur Schallreduzierung ist das Fahren mit geschlossenen Scheiben und Luken. Dazu ist für den Einsatz bei sommerlich hohen Temperaturen die Ausrüstung mit einer Klimaanlage Voraussetzung. Jede Sondersignalanlage, ob Kompressor- oder elektronische Anlage, hat ein eigenes Klangbild. Unterschiede in Lautstärke und Frequenzspektrum sind auch subjektiv zu hören. Durch den Austausch könnte sich eine Verringerung des Schalldruckes und der Belästigung ergeben. Jedoch kommt hier das Standesdenken insbesondere der Feuerwehren zum Tragen, die auf „ihren Ton“ nicht verzichten wollen. Eine Anordnung der Schalltrichter in der Mitte des Fahrzeugdaches in waagerechter Position mit 15° seitlicher Abstrahlrichtung ergibt außen den größten Schalldruckpegel (optimale Warnwirkung). Durch Zurücksetzen der Schalltrichter um ca. 40 cm wird er-

reicht, dass der Schall nicht mehr unmittelbar auf die Frontscheibe trifft, so dass eine Reduzierung des Lärms im Innenraum wahrscheinlich ist. Dabei verringert sich jedoch der Abstand zu den Lüftungsöffnungen des Patientenraumes. Hierbei wären grundsätzliche Konstruktionsänderungen und eine Verlegung der Dachluken erforderlich.

Eine Reduzierung des Innenraumschalldruckes ist auch durch den Einbau einer Isolier-Doppelglas-Windschutzscheibe sehr wahrscheinlich. Diese Maßnahme ist jedoch sehr kostenintensiv und verspricht keine 100%ige Lösung des Problems (Dachluke). Ein Versuch konnte aus Kostengründen nicht durchgeführt werden. Die Industrie gab dieser Lösung keine Zukunft.

Erfahrungen und Untersuchungen mit anderen Fahrzeugen haben ergeben, dass der Schall im Wesentlichen durch die Scheiben eindringt. Daher erscheint eine Schalldämmung im Bereich des Daches nicht sinnvoll. Versuche an anderen Einsatzfahrzeugen haben keinen Erfolg gezeigt. Diese Maßnahme wird insgesamt nicht zur Problemlösung führen, da die Körperschallübertragung nur eine geringe Rolle spielt.

Um weitere technische Möglichkeiten zu erörtern, soll das Verfahren Gegenschall nicht unerwähnt bleiben. Schall besteht aus Druckschwankungen der Luft, die sich wellenförmig ausbreiten. Das theoretisch einfache Prinzip ist, eine phasenverschobene Gegenwelle zu erzeugen, die den Schall komplett auslöschen kann. Praktisch ist das jedoch sehr aufwändig und auch schwierig, da Reflexionen auftreten, so dass es bisher nur mit einfachen Mitteln in idealen Räumen geht. In verschiedenen Forschungsvorhaben wurden für unterschiedliche Zwecke bereits gute Ergebnisse erzielt. Dazu wird nur ein Mikrofon zur Schallmessung, ein Chip für die nötigen Berechnungen, ein Verstärker und zwei Lautsprecher für den Gegenschall benötigt. Hinzu kämen weitere Mikrofone, die den Erfolg der Abschwächung erfassen und gegebenenfalls eine Nachsteuerung veranlassen. Das Prinzip soll auch gegen den Lärm (Summton) bei Windkraftträdern zum Einsatz kommen. Wissenschaftler des Instituts für Technische Akustik der TU Berlin haben dies im Jahr 2000 bereits erfolgreich getestet. Nach demselben Prinzip kann auch eine Schallwellenreduzierung zwischen den Scheiben eines Doppelglasfensters erfolgen. Ein Fenster dieser „Bauart“ kann unter günstigen Voraussetzungen ein um bis zu 10 Dezibel höheres Schalldämmmaß besitzen. Das entspricht einer Halbierung der Lautstärke-Wahrnehmung. Für eine Anwendung in Rettungsfahrzeugen ist die Technik noch nicht ausgereift und zu teuer, bleibt aber als Option in der Zukunft erhalten.

In einer Masterarbeit von Matthies (2006) ist ein System zur aktiven Geräuschkompensation in einem Kfz entwickelt worden. Das System identifiziert die Störgeräusche und kompensiert diese durch generierte Gegensignale, so dass Geräusche ausgelöscht werden, wie sie durch Gerätelüfter oder durch Vibrationen oder schnelle Fahrt im Inneren entstehen. Das entwickelte System kompensiert Frequenzen von 200 bis 4000 Hz. Die Kompensation findet im Ohr des Empfängers statt, wobei das Kompensationssignal über einen Kopfhörer wiedergegeben wird. In den durchgeführten Funktionstests wurde bei Störsignalen mit einer konstanten Frequenz eine Dämpfung von bis zu -23 dB(A) erreicht. Bei Signalen, die mehrere Frequenzanteile und Rauschen enthielten, lag die Dämpfung bei -8 dB(A). Leider ist auch dieser Ansatz im Versuchsstadium für den Einsatz in Rettungsfahrzeugen noch nicht realisierbar.

Durch den weiter vom Transportraum entfernten Einbau der Signalanlagen wird die Lärmbelastung nachweislich weit unter die Vorgaben der EG-Richtlinie 2003/10/EG gesenkt. Die Lärmbelastung im Fahrzeuginnern sinkt ohne eingeschalteten Funk auf Maximalwerte unter 78 dB(A) (geschlossene Fenster) und durchschnittlich auf $67,6$ dB(A). In der akustischen Wirkung außerhalb des Einsatzfahrzeugs ist beim Einbau des Systems in die Fahrzeugfront (Motorraum/Stoßfänger) kein Unterschied zum herkömmlichen Dachbalkensystem zu verzeichnen. Eine Untersuchung bei Polizeifahrzeugen (Pkw) hat dadurch sogar eine Lärmreduzierung im Innenraum von bis zu fast 25 dB(A) ergeben. Hans (2009)

Mit diesen Anregungen wurden bei der Berliner Feuerwehr Sondersignalanlagen in verschiedenen Fahrzeugen in den Frontbereich (Stoßfängerhöhe) so verbaut, dass eine maximale Abstrahlung nach vorn und eine Ausbreitung und das Eindringen in den Innenraum auf ein Minimum reduziert werden konnten. Diese Maßnahme hat im Patientenraum in Kombination mit dem Einbau einer Klimaanlage und damit der Möglichkeit der Fahrt mit geschlossenen Fenstern zu einer Reduzierung des Schalldruckes um bis zu 18 dB(A) geführt. Weitere Möglichkeiten würden theoretisch auch persönliche Schutzmaßnahmen für den Patienten bieten (Einsatz von Gehörschutzstöpseln, die eine ausreichende Dämpfung erreichen), die jedoch eine zusätzliche Belastung und Probleme bei der Verständigung mit sich bringen würden.

Der Grundschallpegel kann mit vertrauten und angenehmen Tönen angehoben werden, so dass die Störgeräuschdifferenz verringert wird. Musik wird auch therapeutisch eingesetzt und kann im Rettungsfahrzeug ablenkend und beruhigend wirken. Insbesondere bei längeren Verlegungsfahrten haben einige Rettungsdienste schon CD- oder DVD-Player im Einsatz. Diese wurden aber

auf Nachfrage nur eingebaut, um für den Patienten einen Zeitvertreib zu ermöglichen. Die Ablenkung durch gezielte „Störgeräusche“ wird in den letzten Jahren in vielen Bereichen erforscht und wäre zukünftig eine weitere Betrachtung wert. Jedoch sollte dabei der Grundsatz des Arbeitsschutzes angewandt werden, lärmarm zu konstruieren und zu planen (technischer und organisatorischer Lärmschutz) und erst danach an persönlichen Schallschutz zu denken. Da neue Fahrzeuge beweisen, dass dies technisch möglich ist, sollte die Maßnahme „höhere Grundschallpegel“ nicht in Erwägung gezogen werden.

Nach der Betrachtung der für Rettungswagen typischen Lärmquelle durch Sondersignalanlagen, sind auch der gesamte Patientenraum und die Fahrzeugkonstruktion untersucht worden. Wie im Messergebnis abzulesen ist, gibt es einen sehr hohen Grundschallpegel im Innenraum. Vibrationen und Resonanzen des Kofferaufbaus durch Eigenschwingungen und Körperschallübertragung führen im Innenraum zu Dröhnen und Brummen. Die Suche nach weiteren Ursachen ergibt auffällige, schlagende und Klappergeräusche. Zu viel Spiel bei den Halterungen und das Klappern der Ausrüstung fallen auf. Da die Fahrzeugkonzeption der Einbauten und Ausrüstung individuell erfolgt, ist anzunehmen, dass die Zusammenstellung der Komponenten nicht optimal gewählt wurde und zur Geräusentwicklung beiträgt. Selbst das Türemschlagen führt zu hohen Schallspitzen. Diese Beobachtung lässt sich in allen Rettungswagen machen. Ausschließlich bei neuen Fahrzeugen ist das Spiel bei Scharnieren und Halterungen noch nicht so ausschlaggebend.

Insbesondere das Gestell der Fahrtrage verursacht bei der Fahrt unangenehme Geräusche. Es ist nicht optimal auf dem Tragentisch gehaltert, und bei älteren Modellen ist zu beobachten, dass die Gelenke des Fahrgestelles ausgeschlagen sind. Weitere Schallquellen sind vermutlich Schlaggeräusche der Blattfedern und Reibungsgeräusche bei einigen Fahrzeugen. Durch die Wahl alternativer Federungen und technische Verbesserungen beim Ausbau kann auch hier eine Reduzierung erreicht werden. Ein wesentlicher Faktor ist die regelmäßige Verschleißkontrolle, die derzeit weder verpflichtend noch regelmäßig für die genannten Teile durchgeführt wird und zur Lärmminde rung führen kann. Eine Betrachtung aerodynamischer schallerzeugender Einflüsse hat im Rahmen dieser Arbeit und unter der Berücksichtigung der Stadtfahrten mit relativ geringen Fahrgeschwindigkeiten nicht stattgefunden.

Jedes Risiko einer negativen äußeren Beeinflussung auf den Patientenzustand ist auszuschließen oder auf ein vertretbares Minimum zu reduzieren. Trotz vieler Berichte über die Folgen von Lärm gibt es noch keine definierte kritische Lärmschwelle, bei deren Überschreiten mit

Symptomen (z.B. kurzzeitige Reaktionen des vegetativen Nervensystems) als Folge des Lärms gerechnet werden muss. Solange eine solche nicht feststeht ist, muss man sich bei der Lärmvermeidung an den von der Arbeitsmedizin vorgegebenen Grenzwert orientieren.

Die Versuche und Messungen haben gezeigt, dass einfache Maßnahmen zu einer erheblichen Lärminderung beitragen. Eine Erhöhung des Schalldruckes um 6 dB(A) bedeutet eine Verdopplung des Druckes. Das subjektive Empfinden lässt eine Erhöhung oder Minderung um 10 dB(A) wie eine Verdopplung oder Halbierung erscheinen. Das bedeutet, dass im Fahrzeuginneren Patienten bei nur verändertem Einbauort der Sondersignalanlage und weiterhin lärmarmen Konstruktion der Einrichtungen die halbe Lautstärke wahrnehmen würden. Jedoch sind auch hier wieder konstruktive Änderungen im Innenraum erforderlich. Lautlosere Türen und Fachverriegelungen sowie die Vermeidung von Spiel und Dämpfung bei Halterungen und beweglichen Teilen sind weitere Maßnahmen. Nach einer Gebrauchszeit von maximal zwei Jahren ist der Innenraum auf solche Mängel hin zu untersuchen. Eine einfache Probefahrt mit subjektivem Hören oder objektiver Messung führt zum Erfolg. Wenn konsequent die Klimatisierung geregelt wird, ist sogar eine Reduzierung durch geschlossene Luken auf ein Viertel der bisherigen Belastungen möglich. Der nicht unerhebliche Faktor Lärm durch Funk und störende Geräusche sollte durch die Einführung des Digitalfunks kurzfristig an Bedeutung verlieren.

- ▶ Es sind Maßnahmen zur Reduzierung der Lärmbelastung an Rettungswagen durchzuführen.
- ▶ Diese Erkenntnisse sollten in eine technische Richtlinie und in die bestehende Norm DIN EN 1789 eingearbeitet werden.

6.3 Temperatureinflüsse

Der menschliche Stoffwechsel steigt bei Erhöhung der Außentemperatur und der Sauerstoffverbrauch nimmt zu. Bei hohen Temperaturen kann der Blutabfluss aus den inneren Organen des Körpers zur Haut eine bedeutende Verminderung der Blutversorgung der inneren Organe verursachen. Eine Klimatisierung wird sich demnach positiv auf den Behandlungsverlauf auswirken. Schon bei den häufigsten Krankheitsbildern, wie Myokardinfarkten, wird eine zumindest subjektiv empfundene und bei Asthmaerkrankungen meist eine sofortige Verbesserung für den Patienten durch eine Klimatisierung eintreten.

Sollten Sedativa und Analgetika eine Klimaanlage ersetzen? Abgesehen von der Belastung der Einsatzkräfte ist es für den Myokardinfarkt und den Asthmapatienten mehr als nur eine zusätzliche Belastung, an heißen Sommertagen im aufgeheizten Rettungswagen behandelt zu werden. Daher ist grundsätzlich eine Temperaturregelung in allen Rettungsfahrzeugen unter Berücksichtigung des Wertekorridors eines Behaglichkeitsempfindens vorzusehen.

Das Behaglichkeitsempfinden der Einsatzkräfte und der Patienten im Fahrzeuginnenraum von Rettungsdienstfahrzeugen hängt von vielen Faktoren ab. So haben die Größen wie Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Strömungsgeschwindigkeit als auch unangenehme Geruchsstoffe und die verwendeten Materialien zur Ausstattung des Fahrzeuginnenraums einen entscheidenden Einfluss auf das Wohlbefinden und den thermischen Komfort im Fahrzeuginnenraum. Nach den Grundsätzen der Arbeitsmedizin und unter Vergleich mit den Richtwerten an Arbeitsstätten ist das Klima so zu gestalten, dass die Fahrzeugbesatzung möglichst wenigen Belastungen ausgesetzt ist. Des Weiteren darf nicht übersehen werden, dass durch die Klimatisierung eines Fahrzeuginnenraums sowohl die Sicherheit im Straßenverkehr als auch das Wohlbefinden der gesamten Fahrzeugbesatzung bei günstigen Temperaturverhältnissen erhöht wird.

Der Anteil an Rettungsdienstfahrzeugen, die von den Herstellern mit Klimaanlagen ausgerüstet werden, richtet sich in erster Linie nach dem vorhandenen Budget des jeweiligen Rettungsdienstbetreibers. Der Absatz an Rettungsdienstfahrzeugen mit Klimaanlagen nimmt dabei jedoch stetig zu.

Die Möglichkeiten zur Schaffung eines behaglichen Klimas hängen eng mit der Entwicklung von Überwachungssensoren und Temperaturfühlern im Fahrzeuginnenraum zusammen.

In nicht klimatisierten Behandlungsräumen können bei starker Hitze die Auswirkungen auf Notfallpatienten mit Kreislauferkrankungen äußerst negativ sein. Die Empfehlung aus der DIN EN 1789 ist daher in eine Forderung umzuschreiben.

Um den Anforderungen eines gesunden Raumklimas für die Fahrzeugbesatzung und Patienten im gesamten Fahrzeug zu jeder Tages- und Jahreszeit gerecht zu werden, sollten alle Rettungsdienstfahrzeuge mit Klimaanlage ausgerüstet werden. Selbst wenn dieser Empfehlung gefolgt wird, ist festzustellen, dass die Leistungsfähigkeit der eingebauten Klimaanlage ausreichend dimensioniert werden muss, um gerade die extremen Temperaturen regeln zu können. Dabei sind die Klimaanlagen der Fahrzeuge zweckmäßig so zu gestalten, dass die gewünschten Temperaturen im Cockpit und im Patientenraum unabhängig voneinander über entsprechende Bedienelemente eingestellt werden können. Darüber hinaus sollten die Temperaturzustände im Cockpit und Patientenraum getrennt voneinander durch Sensoren überwacht und der thermische Komfort über Stell- und Steuerungsglieder bei Abweichungen vom gewünschten Sollwert entsprechend hergestellt werden können. Werden die Größen wie Innenraumtemperatur, die Innenraumfeuchte, die Belastung des Innenraums durch Sonneneinstrahlung, die Belastung des Innenraums durch Schadstoffe aus der Außenluft, die Außentemperatur und die Außenluftfeuchte ständig überwacht, kann der thermische Komfort im gesamten Fahrzeug zu jeder Tages- und Jahreszeit für die gesamte Fahrzeugbesatzung und Patienten sichergestellt werden.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt wurde während der Untersuchungen erkannt: Es ist unbedingt eine Einweisung in die richtige Handhabung der Klimatisierungseinrichtungen beim Einsatzpersonal durchzuführen. Während das Einschalten einer Standheizung im Winter bereits beim Ausrücken von einer Rettungswache und die Vorheizung des Fahrzeuges üblich sind, werden Klimaanlagen oft erst nach dem Einladen eines Patienten aktiviert, was dann erst nach 5 bis 10 Minuten den ersten Erfolg bringt und den Eindruck hervorruft, die Anlagen wären nicht richtig dimensioniert. Durch das Einschalten auf der Anfahrt und durch Ausrüstung mit einer Motorweiterlaufschaltung kann der Patientenraum rechtzeitig klimatisiert werden.

► Die Forderung einer Klimaanlage sollte in eine technische Richtlinie und in die bestehende Norm DIN EN 1789 eingearbeitet werden.

6.4 Bewertung der Befragung

Anfangs war der damit zu erreichende Informationsgrad und der Stellenwert innerhalb der Arbeit nicht abzuschätzen. Im Verlauf der Befragungen und ersten Auswertungen wurde klar, dass diese Methode nicht die erwünschten Hinweise und Aussagen erbringen wird. Eine weitere Befragung von Kontrollgruppen oder einer größeren Patientenzahl erschien nicht sinnvoll.

Grundsätzlich sollte jedoch der individuelle Eindruck und das Empfinden von Patienten beim Transport dargestellt werden, um ggf. Schwerpunkte und sogar Lösungsansätze zu finden. Den Patienten fehlte ein Vergleich, um objektiver oder überhaupt etwas werten zu können. Die meisten Transportursachen waren zudem Nicht-Notfälle (Großstadteinsätze). Hinzu kamen Stress mit Adrenalinausschüttung und der Umstand, dass Polytrauma-Patienten, wenn sie hätten befragt werden können, analgisiert transportiert werden. Außerdem wirkten insgesamt zu viele Faktoren während des Transportes auf den Patienten ein, so dass vermutlich die Vielfalt der Eindrücke vom Unangenehmen ablenkt. Befragungen werden damit nicht aussagefähig für mögliche Schädigungen sein können und lassen keine objektive Bewertung zu.

Nur in Einzelfällen wurde von unangenehmen oder störenden Einflüssen gesprochen. Einzelne Aussagen sind zwar richtungsweisend, aber aus den genannten Gründen nicht vergleichbar. Hier sind die Faktoren Erschütterungen und Schwingungen (Auf- und Abwärtsbewegungen) genannt worden.

Um eine Vergleichbarkeit annähernd zu erhalten, müssten zumindest die Versorgungs- und Lagerungsart, das Fahrverhalten und die Fahrstrecke identisch sein. Bei den hier vorliegenden Antworten waren zur Beurteilungsqualität die Bewertungen der einzelnen Patienten in den Gruppen Beschleunigungen, Bremsen, Schwingungen, Erschütterungen, Kurvenfahrten meist analog.

Es zeigte sich dabei der Nachteil einer mündlichen Befragung. Es kann zu einer Beeinflussung durch den Interviewer kommen, die durch das Gespräch mit dem Patienten unsystematisch ist und nicht mehr aus den Daten bereinigt werden kann. Die Interviews waren oft emotional von der Tatsache begleitet, dass sich Patienten in Ausnahmesituationen befanden und froh waren, dass ihnen geholfen wurde, teils sogar, dass mit ihnen in der Rettungsstelle ein Gespräch geführt wurde und sich jemand für ihre Empfindungen interessierte.

Einzelne Äußerungen der Befragten deuten jedoch auf die grundsätzlich angenommene Problematik vorliegender physikalischer Belastungen hin.

Dieser Sachverhalt wurde durch die Kommentare der zwei Techniker als Gutachter bestätigt. Deren Betrachtungen und Beurteilungen waren wesentlich kritischer und genauer, jedoch auch relativ im oberen Mittelfeld der Bewertungen.

Die relevanten Kernaussagen ergeben in Verbindung mit den Auswertungen der Messfahrten ein vergleichbares Bild der unterschiedlichen Kombinationen der Federungen, Einstellungen des Schwingtisches und des Fahrverhaltens:

- Fahrzeug mit Luftfeder und Schwingtisch (tief) ohne Dämpfung wird als beste Variante benannt.
- Fahrzeug mit Luftfeder und Schwingtisch (hoch) mit Dämpfung ist bei Fahrt über Kopfsteinpflaster oder durchschnittliche Straßen angenehm. Bei Straßen mit Bodenwellen kommt es zu starken Schwingungen, die als unangenehme Einflüsse geschildert werden: große Amplituden, Anschlagen des Tisches, Nachschwingen, Entkopplung von Aufbaubewegung.
- Fahrzeug mit Blattfeder und Schwingtisch (tief) ohne Dämpfung schwingt mehr als die Luftfedervariante, jedoch werden die einzelnen Stöße von Straßenunebenheiten besser abgefangen.
- Fahrzeug mit Blattfeder und Schwingtisch (hoch) mit Dämpfung ist die schlechteste Kombination, da der Schwingtisch auf schlechten Straßen und Bodenwellen mit einem Aufschwingen und Durchschlagen reagiert.

Hier werden auch künftig nur objektive Messungen in Verbindung mit der Beurteilung durch transportierte Testpersonen, die objektiver empfinden, zuverlässigere Aussagen ergeben. Solche Untersuchungen wären eine Hilfe bei der Beurteilung der technischen Weiterentwicklungen.

Grundsätzlich können biomechanische Studien jedoch nur Anhaltspunkte liefern. Eine direkte Übertragung auf tatsächliche Einflüsse muss vorsichtig erfolgen, da Versuchspersonen nicht gleich reagieren. Die meisten Studien haben relativ junge Erwachsene als Versuchspersonen und damit sind die Besonderheiten unterschiedlicher Altersgruppen nicht erfasst (Mansfield N. 2005) Daher werden weiterhin physikalische Messgrößen als Beurteilungs- und Vergleichskriterium herangezogen werden müssen.

► Anregung weiterer Untersuchungen in Kombination vergleichbarer Messreihen und Beurteilung durch instruierte und fachkundige Testpersonen.

6.5 Vorgaben für Rettungsdienstfahrzeuge und deren Ausrüstung

Die wenigen Vorgaben zu Bau und Ausführung von Rettungsdienstfahrzeugen, die zur Reduzierung von physikalischen Einflüssen auf Patienten beitragen könnten, sind nicht ausreichend und ergänzungsbedürftig.

Die Norm DIN EN 1789 für Rettungsfahrzeuge als technische Richtlinie gibt den Stand der Technik der Fahrzeugkonstruktion und Ausstattung wieder. Die erkannten physikalischen Einflüsse auf Patienten sind darin nicht berücksichtigt. Eine Norm hat in Deutschland einen hohen Stellenwert und gilt als aktueller Stand der Technik. Bei Beschaffungen wird eine Norm immer als Maßstab genommen. In Vorschriften und Vereinbarungen zum Rettungsdienst wird auf die Norm verwiesen und eine Einhaltung als Mindeststandard oft gefordert. Die weitere Beschreibung von Bau und Ausführung eines Rettungswagens obliegt dem Planer und Beschaffer und ist entsprechend unterschiedlich. Gäbe es nur wenige Grundmodelle oder - im Idealfall - einen einheitlichen Typ Rettungswagen, könnten erhebliche Kosten gespart werden. Heute werden für fast alle Regionen in Deutschland individuelle Fahrzeuge gebaut.

Die DIN EN 1789 beschreibt Lüftung, Heizung und Innenbeleuchtung in ausreichender Weise. Bei der Klimatisierung (Kühlung) wird jedoch schon von „optional“ und „sollte“ gesprochen. Eine deutliche Regelung und Festlegung sind hier erforderlich.

Bei den Richtlinien zum Innengeräuschpegel fällt sofort auf, dass es sich bei den festgelegten Grenzwerten um Größen handelt, die bei normaler, konstanter Fahrt ermittelt wurden. Akustische Warn- und Sprechanlagen wurden abgeschaltet und blieben unberücksichtigt. Die so gemessenen Werte sind für Einsatzfahrten mit Patienten nicht realistisch und beschreiben wiederum nur die Situation für Beschäftigte in einem Normalbetrieb. Unberücksichtigt bleibt auch das Fahrgeräusch bei Beschleunigungsintervallen und hohen Drehzahlen, wie sie bei Einsatzfahrten auftreten. Die Ausstattung mit zusätzlicher Ausrüstung und Bestückung in Fächern und Schubläden und die damit verbundenen Geräusche bei der Fahrt, der Funkbetrieb und besonders der Einsatz von Sondersignalen sorgen für zusätzliche, bisher unberücksichtigte, Lärmbeeinflussungen. In der neuen DIN EN 1789 für Rettungsfahrzeuge findet ein Komfortwert keine Erwähnung mehr. Untersuchungen zum Einfluss von Beschleunigungen und damit verbundenen Schwingungen beim Transport von Notfallpatienten sind nicht vorgeschrieben und Grenzwerte nicht bestimmt.

Die DIN EN 1789 ist eine Norm, die den technischen Stand eines Rettungsfahrzeuges für den Normalbetrieb (keine Einsatzbedingungen) beschreibt. Sie ist bezüglich der Einsatzsituationen

und in Bezug auf die Auswirkungen auf Patienten zu ergänzen. Die Ergebnisse dieser Arbeit sollten dazu heran gezogen werden. Die Prüfungsbedingungen und damit Anforderungen an den Bau und die Ausstattung von Rettungswagen müssen anhand der Ergebnisse angepasst werden.

► Es müssen technische Richtlinien und die bestehende Norm DIN EN 1789 um die notwendigen Anforderungen ergänzt werden.

6.6 Fahrweise

Eine Erkenntnis dieser Arbeit ist, dass das Fahrverhalten beim Thema Schwingungsbelastung eine besondere Bedeutung hat. Die Fahrer von Rettungswagen erhalten grundsätzlich keine besonderen Schulungen. Nach der erforderlichen Fahrerlaubnis gibt es angebotene Fahrsicherheitstrainings, die teilweise vom Träger des Rettungsdienstes als Fortbildung finanziert werden. In der Literatur sind nur wenige Anhaltspunkte für ein richtiges Fahrverhalten beim Transport von Patienten zu finden. Empfehlenswert ist es für Rettungsdienstmitarbeiter, selbst einmal auf einer Krankentrage während der Fahrt zu liegen, um ein Gefühl dafür zu bekommen. Ansonsten lernt man Fahrverhalten im Rettungsdienst autodidaktisch und durch Versuche, die in der Regel daraus bestehen, dass aufgrund des Fahrverhaltens Lob oder meist Kritik vom Patientenbetreuer oder dem begleitenden Notarzt kommt. So schildern erfahrene Notärzte, dass sie nur zurückhaltend Patiententransporte mit Sonderrechten durchführen lassen, da das dann zu schnelle Fahren und die Gefährdungen und Auswirkungen auf den Patienten zu negativ sind. Es liegt also sehr viel am Fahrer, sich mit diesem Problem und der richtigen Fahrweise auseinander zu setzen. Die Fahrversuche und Messungen haben eindeutig bewiesen, dass unabhängig von den gegebenen technischen Voraussetzungen die Fahrweise und Wahl von Fahrstrecke und Fahrgeschwindigkeit einen wesentlichen Einfluss auf den Transportkomfort ausüben (Witzel 2006). Die beste Fahrzeugfederung und ein optimaler Schwingtisch können Fahrfehler nicht ausgleichen. Die schnelle Fahrt über wellige Straßen oder durch Schlaglöcher oder Aufpflasterungen (Verkehrsberuhigungen, „schlafende Polizisten“) kann erhebliche Schwingungen und Geräusche verursachen. Daher ist der Aspekt der Fahrerschulung und das entsprechend gewählte Fahrverhalten ein sehr wesentlicher Punkt zur Reduzierung von Schwingungen und Beschleunigungen.

Witzel (1993) hat einen Versuch mit 54 Freiwilligen auf einer festgelegten Referenzstrecke und der Simulation einer Transportfahrt mit 40 und 70 km/h durchgeführt. Dabei wurde bei schnellerer Fahrt mit Sondersignal gegenüber der langsameren Fahrt ohne Sondersignal eine Pulserhöhung bis zu 30% und ein Blutdruckanstieg auf bis zu 180 mm/Hg bei den gesunden Probanden

festgestellt. In einer gleichzeitig durchgeführten Blutanalyse wurden teilweise erhebliche Veränderungen bestimmter Werte festgestellt. So stieg z.B. der Cortisol-Wert bei schnellerer Fahrt gegenüber der langsameren Fahrt nach 12 Minuten um 100%. Der negative Einfluss von schneller Transportfahrt und die Forderung von angepasster Geschwindigkeit wurden bereits von Snook (1977) beschrieben.

Es ist festzustellen, dass statt einer schnellen Transportfahrt eine schonende Fahrt, statt der kürzesten Strecke eine geeignete Strecke zu wählen wären. Der Einsatz von Sondersignal ist dabei besonders kritisch zu prüfen.

Die Indikation zum schnellen Transport sollte gerade beim kardialen Notfall überdacht werden. Möglicherweise kann durch die zusätzliche Stresssituation eine Dekompensation der Vitalfunktionen bei realen Patienten entstehen (Weber et al. 2009). Ein schonender Transport kann trotz längerer Dauer vorteilhafter für Patienten sein. Die Ergebnisse legen nahe, den Notfalltransport insbesondere bei kardialen Notfällen ohne starke Beschleunigungs- und Bremsmanöver durchzuführen. Weitere Untersuchungen sind notwendig, um zu klären, ob es unter Notfallbedingungen zu Komplikationen oder Auswirkungen auf die Überlebensrate kommen kann. (Witzel 1993)

► Diese Erkenntnisse sollten in Publikationen, auf Kongressen und in der Aus- und Fortbildung weitergegeben werden.

7 Übersicht der Ergebnisse und Verbesserungsansätze

Als Antwort auf die im Absatz 3 gestellten Fragen und Ergebnis der Untersuchungen werden die umsetzbaren und erfolgversprechenden Ansätze im Folgenden zusammengefasst.

Gibt es eine Beeinflussung von Patienten durch den Transport mit Fahrzeugen?

Patienten schildern Einflüsse eher moderat und nur selten störend. Die Befragung war jedoch nicht repräsentativ und wurde aus methodischen Gründen nicht weiter verfolgt. Durch Messungen physikalischer Einflussgrößen, aus Ergebnissen themenrelevanter Veröffentlichungen sowie Erkenntnissen der Arbeitssicherheit ergeben sich Hinweise auf störende Einflüsse, die untersucht wurden.

Die technisch bedingten Belastungen resultieren aus:

- Krafteinwirkungen
- Lärm
- Temperatur

Welche körperlich-seelischen Auswirkungen haben physikalische Einflüsse?

Diese Frage konnte bezüglich Auswirkungen auf Patienten nicht beantwortet werden. Festgestellte Einflüsse wurden durch Messergebnisse beschrieben und mit möglichen Auswirkungen auf Patienten diskutiert.

Gibt es Vorgaben, Vorschriften und Untersuchungen zum Thema?

Technische Vorgaben und Vorschriften zum Patiententransport sind nicht ausreichend vorhanden und in Bezug auf das Thema dieser Arbeit unbedingt erforderlich. Wenige Veröffentlichungen und Untersuchungen beziehen sich auf den Transport von Neonaten. Zum Thema Transporttrauma finden sich nur Ansätze in einigen Fachartikeln.

Welche technischen und organisatorischen Maßnahmen sind zur Reduzierung physikalischer Einflüsse bekannt, herzuleiten und umsetzbar?

Schwingungen und Beschleunigungen belasten den Notfallpatienten. Sie wirken mechanisch, psychisch und physiologisch auf den Kreislauf. Die für Rettungsfahrzeuge genutzten Lkw-Fahrgestelle sind nicht optimal geeignet. Bereits beim Einladen in Rettungswagen sind kritisch-kranken Patienten gefährdet durch eine kurzzeitige Kopfhochlage sowie das Anstoßen und damit

den Druckanstieg im Kopf beim Einrasten der Tragenarretierung. Das bestehende Federsystem (Räder, Achse, Fahrzeugchassis, Schwingtisch, Patient) ist nicht aufeinander abgestimmt. Der Schwingtisch kann nicht alle Belastungen ausgleichen und somit durchschlagen. Der Patient ist auf der Trage nicht optimal fixiert (Yamagishi 2004).

Als problematisch und hoch belastend wurden Bodenwellen erkannt. Bei angemessener Fahrweise hat die Luftfederung gegenüber der Stahlfederung ein besseres Ergebnis gezeigt. Dabei beeinflusst der Einsatz eines aktivierten Schwingtisches das Vergleichsergebnis nicht. Ein Vergleich Luftfeder ohne Schwingtisch zu Stahlfeder mit Schwingtisch hat den Vorteil der Luftfeder sogar bestätigt. Der Schwingtisch wird in seiner Wirksamkeit durch Anregungen im Bereich seiner Eigenfrequenz und starke Beschleunigungen, abhängig von Fahrgeschwindigkeit und Fahrbahnbeschaffenheit, wesentlich begrenzt. Daher kommt der Straßenauswahl und Fahrgeschwindigkeit eine große Bedeutung zu. Die Messung der Belastungen beim Einladen durch mechanisches Einrasten der Tragenhalterungen haben zwar nur kurzzeitige, aber in dieser Höhe so nicht erwartete Beschleunigungen ergeben. Dieser Umstand war bisher nicht bekannt. Durch einfache technische Maßnahmen können diese Belastungen reduziert werden.

Ausgehend von den hier erzielten Ergebnissen sollten weitere Untersuchungen erfolgen, auch mit dem Ziel, reproduzierbare Testszenarien zur Qualitätskontrolle zu erzeugen.

Lösungsansätze:

- Besonders die Fahrweise beeinflusst maßgeblich die Belastungen beim Transport. Aufklärung und Fahrerschulungen sind erforderlich.
- Der Einsatz von Luftfedern bewirkt erhebliche Verbesserungen. Eine weitere Verbesserung des Fahrkomforts und damit eine Belastungsreduktion könnte durch das derzeit nur im Pkw-Bereich verfügbare aktive Fahrwerk, das hydropneumatisch auf Belade-, Fahr- und Straßenzustand durch elektronische Regelungen reagiert, erzielt werden.
- Die richtige Bedienung/Nutzung des Schwingtisches und eine an den Straßenzustand angepasste Fahrweise können die Bedingungen optimieren.
- Der aktuelle technische Stand der Schwingtische stellt nur einen Kompromiss dar. Eine aktive elektronisch geregelte Dämpfung unter Beeinflussung von Patientengewicht und Schwingungsbelastung kann vertikale Beschleunigungen erheblich reduzieren.
- Die Patientenfixierung in allen Richtungen ist zu optimieren, insbesondere seitlich und in Kopf- und Fußrichtung muss der Patient einen besseren Halt finden. Der Kopf sollte ähnlich wie auf einem Spineboard fixiert werden können.

- Der gesamte Körper sollte auf einem „Polster“ gelagert werden, z.B. der belüfteten Vakuummatratze, um zusätzliche Dämpfung zu ermöglichen.
- Technische Veränderungen wie weitere automatische Heckabsenkung und niedrigere Beladehöhe könnten die Schräglage des Patienten beim Einladen verringern.
- Dämpfer oder automatische Verriegelungen am Tragentisch würden die erhebliche ruck- und stoßartige Belastung vermeiden.
- Das System Schwingungen und Beschleunigungen von Fahrzeug, Trage und Patient sowie entsprechendes Fahrverhalten darf nicht isoliert betrachtet, sondern muss als passendes Gesamtkonzept in der Praxis passen und patientengerecht angewendet werden.

Schallpegelmessungen ergaben mit den vorliegenden Orientierungs- und Spitzenpegelmessungen keinen direkten Anhalt, für einen Lärm Arbeitsplatz. Die gemessenen Spitzenpegel ergeben jedoch unbedingten Handlungsbedarf, da sie deutlich über 85 dB(A) und kurzfristig auch auf 100 dB(A) ansteigen, da die vorausgesetzten Bedingungen – geschlossene Fenster und Luken – nicht eingehalten werden können. Das Studium der vorliegenden Arbeiten zu bekannten Lärmauswirkungen und die Übertragung dieser Belastungen auf Notfallpatienten ergeben einen Handlungs- und Regelbedarf zur Lärmreduzierung und deren Festschreibung in der Norm für Rettungsfahrzeuge.

Lösungsansätze:

- Ausstattung mit einer Klimaanlage, damit Fenster und Luken geschlossen bleiben können und eine Lärmreduzierung erfolgt.
- Veränderter Anbau von Sondersignalanlagen in den Frontbereichen.
- Passgenauere Halterungen und Dämpfungsmaßnahmen im Innenraum, um Vibrationen und Klappern der Ausrüstung und in Halterungen zu vermeiden.
- Regelmäßige Kontrollen und Instandhaltungsmaßnahmen, um Spiel zu vermeiden und ausgeschlagene Halterungen und Gelenke, z.B. auch bei der Fahrtrage und den Tragehalterungen, auszutauschen.

Die Untersuchungen haben ergeben, dass zur Temperaturregelung ausreichende Standheizungen jedoch standardmäßig keine Klimaanlagen zur Ausstattung von Rettungsfahrzeugen gehören.

Lösungsansätze:

- Grundsätzliche Ausrüstung mit einer Klimaanlage im gesamten Fahrzeug, um die Belastung kritisch kranker Patienten zu reduzieren.
- Schulungen in der richtigen Benutzung.

8 Zusammenfassung

Die Arbeit befasst sich mit den physikalischen Faktoren, die bei einem Transport im Rettungswagen Einfluss auf den Zustand von Patienten, insbesondere Notfallpatienten, haben können. Nach Analysen der Einflüsse und Vorgänge beim Transport in Rettungsfahrzeugen, konzentrierten sich die Untersuchungen auf Schwingungen und Beschleunigungen, Schall und Lärm, Klima und Temperatur.

Versuche und Messungen haben objektive Werte ergeben. Es entstand ein sehr guter Überblick über den derzeitigen Stand der vorhandenen und möglichen Technik zur Reduzierung physikalischer Einflüsse beim Transport von Notfallpatienten.

In den letzten Jahren sind von verschiedenen Seiten auch durch technische Weiterentwicklungen gute Voraussetzungen zur Reduzierung von Belastungen für Patienten und Einsatzkräfte geschaffen worden. Fehlende Vorschriften, nicht ausreichende technische Regeln und nicht vorhandener einheitlicher Standard bei der Konzeption von Rettungswagen überlassen es dem Wissen, Engagement und den zur Verfügung stehenden finanziellen Mitteln des Einzelnen, wie optimal die Ausrüstung und Ausstattung gewählt wird. Es wird noch viel im Einzelfall experimentiert, und sehr unterschiedliche Fahrzeugvarianten sind im Einsatz. Es bleibt festzustellen, dass nur wenige wissen, welche Einflüsse auf Patienten schädigend sein können. Der direkte Nachweis und die Herstellung eines Zusammenhanges von Folgeschäden durch Transporteinflüsse liegen nicht vor. Es scheint auch unmöglich, eine Studie mit entsprechendem Erfolg durchzuführen, da ethische und notfallmedizinische Gründe gegen Vergleichsmessungen unter differenzierter Behandlung an realen Notfallpatienten sprechen. Die vorliegenden Ergebnisse aus Versuchen mit gesunden Probanden und die von Beteiligten genannten subjektiven Empfindungen sind Grund genug, die Bedeutung der negativen Einflüsse hoch einzuschätzen. Die Literatur gibt ausreichend Hinweise auf die negativen Einflüsse von Schwingungen, Lärm und Hitze auf den Gesundheitszustand des Menschen. Daher sind diese Faktoren besonders sensibel bei der Versorgung und dem Transport von Notfallpatienten zu betrachten.

Im Einzelnen wird festgestellt:

Die Messungen der Schwingungsbelastungen haben die aus den Forschungsergebnissen zum Inkubatortransport bekannten Fakten bestätigt. Es treten teilweise erhebliche Beschleunigungen auf, die in Resonanz mit den Körpereigenschwingungen treten können.

Durch Optimierungen der Fahrwerke und zusätzliche schwingungsdämpfende Maßnahmen kann eine erhebliche Reduzierung erreicht werden. Bisher blieben Abstimmungen der unterschiedlichen Federsysteme (Räder, Achse, Fahrzeug, Schwingtisch, Mensch) aus.

Schwingtische sollen die Mängel derzeitiger Fahrwerke ausgleichen. Sie werden nur auf den Normmenschen mit 75 kg abgestimmt, eine Dämpfung erfolgt voreingestellt, eine aktive dynamische Regelung fehlt. Der Schwingtisch wird durch Bedienungsfehler nicht optimal eingesetzt und das Fahrverhalten nicht auf das transportierte Schwingungssystem angepasst. Insgesamt ist festzustellen, dass gute Einzelkomponenten bei mangelnder Abstimmung kein optimales Transportmittel ergeben. Einen großen Fortschritt in der Schwingungsdämpfung könnte ein aktiver Schwingtisch darstellen. Hier besteht weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Die derzeitigen Weiterentwicklungen aktiver luftgefederter Fahrwerke im Pkw-Bereich sollte mit dem damit erreichten Komfort und Sicherheitsstandard auch bei Rettungsfahrzeugen Anwendung finden. Zukünftige Untersuchungen sollten sich dann mit der Fragestellung befassen, ob bei optimierten Fahreigenschaften zusätzliche Schwingtische noch erforderlich sind.

Die Fahrzeugindustrie sollte die aktuellen Entwicklungen zu Komfort und Schwingungsdämpfung im Pkw- und Busbereich auch serienreif für Rettungsfahrzeuge anbieten, um jene Komfortverbesserungen auch den Notfallpatienten zugänglich zu machen. Da es sich hier leider um ein Nischenprodukt handelt, ist nicht mit Initiativen zu rechnen.

Das Ziel heißt „optimale Nutzung vorhandener Möglichkeiten durch richtige Anwendung“. Da umgebaute Lkw keine optimalen Rettungsmittel sein können, sind deren Fahrwerte auf die Erfordernisse des Transportes kritisch Kranker auszulegen.

Ein weiterer Schwerpunkt muss künftig bei der regelmäßigen Wartung und Instandhaltung liegen, die als vorbeugende Maßnahme durch Kontrolle und rechtzeitigen Austausch von Verschleißteilen erheblich zum Erhalt des Fahrkomforts beitragen kann.

Als wesentlicher Belastungsfaktor gilt die Schallexposition in Form von Lärm im Rettungswagen. Erstaunlich waren die Ergebnisse der Lärmmessung durch das Feststellen von hohen Spitzenpegeln um 100 dB durch Klappergeräusche im Patientenraum, Funkgeräusche und durch Sondersignalanlagen. Durch einfache Umbauten und entsprechende Gegenmaßnahmen lassen sich die Lärmpegel um bis zu 20 dB verringern. Wenn Tests und Messungen im annähernden Normalbetrieb und ohne zusätzliche Faktoren wie Sondersignal und Funkgeräusche durchgeführt werden, sind diese nicht repräsentativ und nicht verwendbar.

Die Temperatur in Rettungswagen sollte auf ein behagliches Niveau zu regulieren sein. Die Untersuchungen haben auch hier Mängel aufgezeigt, insbesondere in der Kühlung. Die negativen Einflüsse hoher Temperaturen auf Notfallpatienten sind bekannt. Nicht alle Rettungswagen verfügen über Klimaanlage, was auch dazu führt, dass im Einsatzfall Fenster und Luken geöffnet werden müssen und dies zu zusätzlichen Lärmeinflüssen durch die Sondersignalanlage führt. Klimaanlage gehören als Standard in jeden Rettungswagen.

In Zusammenarbeit mit Notfallmedizinern, arbeitsmedizinischen Diensten und Fahrzeugkonstrukteuren ist ein großer Fortschritt bei der Minimierung der physikalischen Belastungsfaktoren zu erwarten. Die Norm für Krankenkraftwagen muss um die relevanten Punkte ergänzt werden, oder andere technische Regeln müssen den Erkenntnisstand weitergeben und ständig auf dem neuesten Stand halten. Fortwährend ist zu prüfen, ob und wie moderne Fahrzeugentwicklungen im Personentransportbereich auf die Konstruktion von Rettungswagen übertragen werden können. Zur Vergleichbarkeit von Untersuchungen fehlt die Definition einer Normstraße und von Einsatzbedingungen.

Die negativen Einflüsse von Schwingungen, Lärm und Temperatur als Transporttrauma werden in der Einsatzpraxis unterschätzt oder wenig beachtet. Gewonnene Erkenntnisse zur Umsetzung in der Praxis müssen allen Rettungsdienstmitarbeitern bekannt werden.

Erkenntnisse über Transporteinflüsse auf den Patienten aus dem Jahr 1968 sind bis heute nicht in die Aus- und Fortbildung der Einsatzkräfte sowie die Fahrzeugkonzeption der Rettungswagen eingeflossen. Eine ergänzende oder verbesserte Aus- und Fortbildung des Rettungsdienstpersonals und damit die optimale Nutzung der vorhandenen Möglichkeiten sowie eine angepasste Fahrweise versprechen bereits eine erhebliche Verbesserung und Reduzierung von Belastungen.

Insgesamt muss die Konzeption von Rettungsmitteln unter Berücksichtigung der hier ermittelten Parameter und Anforderungen erfolgen, um eine Belastungsminderung für die Patienten zu erreichen.

Eine weitere Verbreitung und Bekanntgabe bzw. Initiative zur Standardisierung der belastungsreduzierenden Möglichkeiten muss überregional erfolgen. Dazu eignen sich die Ergänzungen technischer Vorgaben wie auch die einschlägige Fachliteratur zur Diskussion und Verbreitung der gewonnenen Erkenntnisse. Ein wesentlicher Ansatzpunkt sind dabei auch die Rettungsdienstschulen als Multiplikatoren und Fortbildungsmöglichkeiten zum Thema Transporttrauma und Sensibilisierung der Einsatzkräfte.

Im Kapitel Verbesserungen sind die einzelnen Faktoren und mögliche Änderungen und Lösungsansätze dargestellt.

9. Darstellungsverzeichnis

Abb. 2.4-1: Pulsfrequenz bei Probanden, Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit Witzel (1998).

Abb. 2.4-2: Darstellung des komplexen Schwingungssystems im Rettungswagen.

Abb. 2.4-3: Frequenzabhängige Schwingungseinflüsse auf den Menschen nach Dupuis (1984).

Abb. 2.4-4: Darstellung der Eigenfrequenzen Fahrzeug/Mensch nach Pabsch (1992).

Abb. 4.1-1: Fahrstrecke Messungen Kopfsteinpflaster. Quelle: Google Maps 2011

Abb. 4.1-2: Fahrstrecke Messungen Bodenwellen. Quelle: Google Maps 2011

Abb. 4.1-3: Fahrstrecke Messungen Stadtfahrt. Quelle: Google Maps 2011

Abb. 4.1-4: Prinzipskizze des piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmers. Mess- und Frequenztechnik Radebeul

Abb. 4.1-5: Schema Rettungswagen in der Heckansicht. DIN EN 1789, nachbearbeitet

Abb. 4.1-6: Schema Innenraum in der Seitenansicht. Quelle: DIN EN 1789 nachbearbeitet

Abb. 4.1-7: Darstellung des Einladevorganges Teil 1. Quelle: DIN EN 1789, nachbearbeitet

Abb. 4.1-8: Darstellung des Einladevorganges Teil 2. Quelle: DIN EN 1789, nachbearbeitet

Abb. 4.1-9: Darstellung des Einladevorganges Teil 3. Quelle: DIN EN 1789, nachbearbeitet

Abb. 4.1-10: Darstellung des Einladevorganges Teil 4. Quelle: DIN EN 1789, nachbearbeitet

Abb. 5.1-1: Fahrt über Bodenwellen, schnell (20 km/h) und langsam (10 km/h) mit Tragetisch tief im Vergleich Luftfeder/Stahlfeder

Abb. 5.1-2: Fahrt über Bodenwellen, langsam (10 km/h) mit Tragetisch in Schwingposition (hoch) im Vergleich Luftfeder/Stahlfeder

Abb. 5.1-3: Fahrt über Bodenwellen, schnell (20 km/h) mit Tragetisch tief im Vergleich Luftfeder/Stahlfeder

Abb. 5.1-4: Fahrt über Bodenwellen, schnell (20 km/h) mit Tragetisch in Schwingposition Vergleich Luftfeder/Stahlfeder

Abb. 5.1-5: Fahrt über Bodenwellen, langsam (10 km/h) Vergleich Luftfeder Tragetisch tief / Stahlfeder Tragetisch in Schwingposition

Abb. 5.1-6: Fahrt über Bodenwellen, langsam (10 km/h) Luftfeder Schwingtisch hoch, Stahlfeder Tisch tief

Abb. 5.1-7: Fahrt über Bodenwellen, Stahlfeder Schwingtisch hoch/tief

Abb. 5.1-9: Fahrt über Bodenwellen Luftfeder mit Schwingtisch schnell/langsam

Abb. 5.1-10: Fahrt über Bodenwelle Luftfeder schnell (20 km/h) Schwingtisch tief und hoch

Abb. 5.1-11: Fahrt Bodenwelle Luftfeder Vergleich Messwerte Achse und Fahrzeugboden

Abb. 5.1-12: Fahrt Bodenwelle Stahlfeder Vergleich Messwerte Achse und Fahrzeugboden

Abb. 5.1-13: Fahrt Kopfsteinpflaster Luftfeder mit Schwingtisch hoch / tief:

Abb. 5.1-14: Fahrt Kopfsteinpflaster Stahlfeder mit Schwingtisch hoch / tief

Abb. 5.1-15: Fahrt Kopfsteinpflaster im Vergleich Stahlfeder/Luftfeder mit Schwingtisch hoch

Abb. 5.1-16: Fahrt Kopfsteinpflaster im Vergleich Stahlfeder/Luftfeder mit Schwingtisch tief

Abb. 5.1-17: Fahrt Kopfsteinpflaster im Vergleich Stahlfeder mit Schwingtisch hoch/tief

Abb. 5.1-18: Beschleunigungseinwirkungen beim Einladevorgang der Krankentrage in den Rettungswagen.

Abb. 5.1-19: Beschleunigungseinwirkungen beim Einladevorgang der Krankentrage in den Rettungswagen.

Abb. 5.4-1: Ergebnis der Befragung nach empfundenen Eindrücken ausgewählter Belastungen Teil 1

Abb. 5.4-2: Ergebnis der Befragung nach empfundenen Eindrücken ausgewählter Belastungen Teil 2

Abb. 6.1-1: Unterschiedliche Beschleunigungen im System Rettungswagen und Wirkungen auf die Einzelkomponenten (Siegel 2000).

Abb. 6.1-2: Darstellung der Abschwächung von Beschleunigungen durch einen aktiven Tragentisch (Grafik der Firma ERAS).

Abb. 6.1-3: Prinzipskizze am Beispiel eines Schwingtisches zum Inkubatortransport (Grafik der Firma ERAS).

Tab. 2.5-1: Schwingungsstärke (K-Wert) und deren Wahrnehmung nach VDI 2057.

Tab. 4.1-1: Unterschiedliche Fahrzeuge der Versuchsreihen.

Tab. 5.1-1: Aufstellung der Messreihen und Auswertungen.

Tab. 5.1-2: Aufstellung der Messreihen und Auswertungen.

Tab. 5.1-3: Auswahl vom Sensor aufgenommener unbearbeiteter Messwerte.

Tab. 5.2-1: Spitzenbelastungen (Lärm) bei je drei verschiedenen Rettungswagentypen.

Tab. 5.3-1: Messreihen mit maximal ermittelten Innenraumtemperaturen.

9 Literaturverzeichnis

Braess H-H, Seiffert U. Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik.

1. Aufl. Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden 2000

Deh U. Kfz-Klimaanlagen. 1. Aufl. Vogel Verlag und Druck GmbH, Würzburg 1999

Deussen A. Hyperthermie und Hypothermie Auswirkungen auf das Herz-Kreislauf-System.

Der Anästhesist 2007;9:907-911

Dieckmann D. Einfluß vertikaler mechanischer Schwingungen auf den Menschen.

Internat. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol. 1957;16:519-564

Dieckmann D. Einfluß horizontaler mechanischer Schwingungen auf den Menschen.

Internat. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol. 1958;17:83-100

DIN EN 1789: Rettungsdienstfahrzeuge und deren Ausrüstung – Krankenkraftwagen 2007

DIN EN 45681: Akustik - Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines

Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschmissionen 2006

Dupuis H, Szameitat P. Schwingungsbewertung. Arbeitsschutz 1976;9:302-304

Dupuis H, Zerlett G. Forschungsbericht Ganz-Körper-Schwingungen. Beanspruchung des Menschen durch mechanische Schwingungen. Schriftenreihe des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Bonn 1984

Ellinger K, Denz C, Genzwürker H, Krieter H. Intensivtransport. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 2005

Enke K. Lehrbuch für präklinische Notfallmedizin. 4. Aufl. Stumpf und Kossendey Verlagsgesellschaft, Edewecht 2009

Hans J-H. Lärm in Funkstreifenwagen. pvt Polizei Verkehr + Technik 2009;1:28-33

Himmelseher S, Werner C. Temperaturmanagement nach Schädel-Hirn-Trauma in der prähospitalen Notfallversorgung. *Notfall & Rettungsmedizin* 2006;2:179-185

Hörber F. Auf Kufen und Rädern – Die Geschichte des Krankentransports und der Krankenfahrzeuge. Verlag Wille und Weg, München 1976

Mansfield N. Impedance Methods for Assessment of the Biomechanical Response of the Seated Person to Whole-body Vibration. *Industrial Health* 2005; 43:378-389

Matthies J. Aktive Geräuschkompensation mit einer FPGA-basierten Signalverarbeitungsplattform. HAW Hamburg, Masterarbeit, 1. Dezember 2006

Pabsch H. Schwingungsverhalten moderner Rettungsmittel. *ErgoMed* 1992;16(3):64-69

Pietschmann H. Schonender Patiententransport auf der Straße. *Brandschutz/Deutsche Feuerwehrzeitung* 2000;4:341-343

Pietschmann H. Beförderungskomfort in Rettungswagen. *Rettungsdienst* 2000;6:542-544

Poloczek S, Madler C. Transport des Intensivpatienten. *Der Anaesthetist* 2000;49:480-481

Quaas et al. Zum Einfluss von Lärm auf die Herzfrequenz unter Anwendung von individuellen Gehörschutzmitteln während einer mittleren physischen Belastung. *Int. Arch. Arbeitsmed.* 1971;27:293-299

Richtlinie 2003/10/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Lärm). 17. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG. *Amtsblatt der Europäischen Union* 2003; L42/38

Röhlke H. Babyrettung, ein Sektor des Rettungsdienstes für Spezialentwicklungen. *ErgoMed* 1992;16: 62-63

Röhlke H. Vergleichende Untersuchungen herkömmlicher Rettungsmittel/Baby-Notarztwagen zum Transport vital bedrohter Neonaten.

Dissertation an der Medizinischen Universität zu Lübeck, 1993

Sadow H. Versuche zur Frage der Verwertbarkeit des Kreislaufverhaltens als Indikator für die biologische Wirkung mechanischer Schwingungen beim Transport von Personen im Krankenwagen. Dissertation an der Rheinischen Friedrich-Wilhelm-Universität zu Bonn, 1968

Schmidtke H. Lehrbuch der Ergonomie. 2. Aufl. Carl Hanser Verlag, München/Wien 1981

Schönpflug W. Beanspruchung und Belastung bei der Arbeit – Konzepte und Theorien. Kleinbeck U, Rutenfranz J (Hrsg.). Arbeitspsychologie, Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich D, Serie III, Bd. 1, 130-184. Verlag Hogrefe, Göttingen 1987

Siegel J. Vergleichende Schwingungsmessungen an einem Inkubator in verschiedenen bodengebundenen Rettungsmitteln mit aktivem und passivem Schwingtisch.

Dissertation an der FU Berlin, 2000

Snook R. Ambulance ride: fixed or floating stretcher? British Medical Journal. 1976; 2:405-407

Snook R. Transport of the injured patient. British Journal of Anaesthesia. 1977; 49:651-658

Speidel U. Schwingungsuntersuchungen zur Optimierung des Transportsystems für vitalbedrohte Früh- und Neugeborene in Inkubatoren. Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin der Medizinischen Fakultät der Universität des Saarlandes, 2008

UBA. Epidemiologische Untersuchungen zum Einfluss von Lärmstress, WaBoLu-Hefte des Umweltbundesamtes Nr. 1/2003

UBA. Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm, GMBI 1998;26:503

VDI-Richtlinie 2057 Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen. Blatt 1: Grundlagen, Gliederung, Begriffe; Blatt 2: Bewertung. Beuth Verlag, Berlin 1987

Walther-Büel H. Lärm und Gesundheit. Präventivmed. 1957;2:77-98

Witzel K. Rettungs- und Transportmethoden und deren Auswirkungen auf den Kreislauf.
Rettungsdienst 1993;11;853-858

Witzel K, Hoppe H, Raschka C. Der präklinische Notfalltransport – welche zusätzliche Belastung stellt er für den Notfallpatienten dar? Der Notarzt 1998;14:27-31

Witzel K. Der präklinische Notfalltransport als Prognosefaktor – Schnell oder schonend?
Der Notarzt 2006;22:109-113

Weber et al. Emergency ambulance transport induces stress in patients with acute coronary syndrome. Emergency Medicine Journal 2009;26:524-528

Yamagishi Y. Head-neck movement of lying human in emergency transportation and effect of an actively-controlled bed. Japanese Journal of Ergonomics 2004;5 248-253

Anhang: Fragebogen

Patientenbefragung in der Rettungsstelle

Patient Nr. m w Alter Datum

RD Organisation KT NFRD Sondersignal

Erscheinungsbild (Auswirkungen auf Transport)

Fahrzeugtyp KTW RTW NAW/ITW RTH/ITH

Lagerungsart

Immobilisierung? Ja Nein Analgensierung? Ja Nein Narkose? Ja Nein

Bewertung mit Schulnoten von [1 bis 6] (1 = sehr angenehm/ sehr gut; 6 = sehr unangenehm/ sehr schlecht)

	1	2	3	4	5	6	k.A. *	Eindruck/ Einfluss **
Betreuung								
Tragen zum Fahrzeug								
Liegen/ Sitzen im Fahrzeug								
Beschleunigung								
Bremsen								
Kurvenfahrt								
Schwingungen								
Erschütterungen								
Geräusche								
Sondersignal								
Geruch								
Temperatur								
Beleuchtung								

*) Keine Angaben [k.A.]

**) Eindruck/ Einfluss (Kalt – Warm, Laut - Leise, beruhigend, Hell – blendend – dunkel, Verbesserungswürdig, schnell – langsam ...)

Wie wurde der Transport insgesamt empfunden? _____

Was war das Angenehmste am Transport? _____

Was war das Unangenehmste am Transport? _____

Bemerkungen: _____

Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Eigene Veröffentlichungen (bis 2009)

Erbe R-D, Luszeit K. Motorradeinsatz beim DRK LV Berlin: Erprobung Sommer 1991.
Rettungsdienst 1992;2:79-81

Erbe R-D. Airbag – Bombe hinter dem Lenkrad? Rettungsdienst 1994;5:14-17

Erbe R-D. Arbeitssicherheit und Unfallverhütung im Rettungsdienst: Rechtsvorschriften
im Überblick. Rettungsdienst 1994;6:18-23

Erbe R-D. Rettungshundestaffel in Berlin-City: Rettungshunde im Dienst des Menschen.
Rettungsdienst 1994;12:49-51

Erbe R-D. Kanülenentsorgung – aber richtig: Tipps für die Praxis. Rettungsdienst 1995;1:12-15

Erbe R-D. Persönliche Schutzausrüstung im Rettungsdienst –
Teil 1: Berufs- oder Schutzkleidung? Rettungsdienst 1996;3:66-68

Erbe R-D. Persönliche Schutzausrüstung im Rettungsdienst –
Teil 2: Neues Recht, neue Kleidung? Rettungsdienst 1996;4:87-89

Erbe R-D. Persönliche Schutzausrüstung im Rettungsdienst –
Teil 3: Regeln für den Einsatz von PSA im RD. Rettungsdienst 1996;5:62-64

Erbe R-D. Überschlag nicht zu empfehlen?! –
Teil 1: Dachaufbauten. Rettungsdienst 1996;5:68-71

Erbe R-D. Überschlag nicht zu empfehlen?! –
Teil 2: Sicherheit bei Einsatzfahrzeugen. Rettungsdienst 1996;6:62-65

Erbe R-D. Problematik von Sprungrettungseinsätzen: Psychologische Aspekte.
Rettungsdienst 1996;9:26-29

Erbe R-D. Einsatzstichwort: Überschwere Person. Rettungsdienst 1998;8:27-29

Erbe R-D. Erkennbarkeit von Einsatzfahrzeugen – Grundsätzliche Überlegungen.

Rettungsdienst 1998;9:12-16

Erbe R-D. Rettungstechnik/Feuerlöschtaktik. Lehrbuch für den Rettungsdienst.

Herausgeber Bertschat/Möller/Zander; 338-364. Verlag de Gruyter, Berlin 1998

Erbe R-D. Airbags werden intelligenter: Neues vom „gefährlichen“ Luftsack ...

Rettungsdienst 1999;4:80-82

Erbe R-D. Wenn es brennt: Rauchmelder retten Menschenleben. Rettungsdienst 2000;7:78-79

Erbe R-D. Gasausströmung/Gasexplosion: Gefahren der Einsatzstelle.

SEG-Magazin 2001;1:36-38

Erbe R-D. Probleme der Rettungsdienste: Thema „airbag 2000+“ auf dem internationalen

Symposium. Rettungsdienst 2001;3:72-73

Erbe R-D. Notfallmanagement bei der Bahn: Es tut sich was. Rettungsdienst 2001;6:78-80

Erbe R-D. Brandeinsätze in U-Bahn-Stationen: Erfahrungen und Probleme aus der Sicht des Rettungsdienstes. Rettungsdienst 2001;9:58-61

Erbe R-D. IAA 2001 in Frankfurt – Die Zukunft heißt Sicherheit durch Elektronik.

Rettungsdienst 2001;12:86-88

Erbe R-D. Airbag – Gefahren für die Rettungskräfte? Aktuelle Informationen.

Rettungsdienst 2002;5:88-90

Erbe R-D. Airbags sehen zukünftig den Unfall kommen: Internationaler Kongress in Karlsruhe.

Rettungsdienst 2003;3:74-77

Erbe R-D. Persönliche Schutzausrüstung im Rettungsdienst: Eine Anleitung für die Praxis.

Rettungsdienst 2005;3:84-87

Erbe R-D. Konzept zur Kennzeichnung von Funktionsträgern im Einsatz: Weniger ist mehr.
Im Einsatz 2005;4:21-25

Erbe R-D. IAA 2005 in Frankfurt: Das „sehende Auto“ als Zukunftsperspektive.
Rettungsdienst 2005;11:80-81

Erbe R-D. Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz im Rettungsdienst: Die GUV-R 2106
in der Neufassung. Rettungsdienst 2006;11:30-33

Erbe R-D. Airbag-Technik und die Feuerwehr: Auf Rettungskräfte kommen neue Herausforderungen zu. 112-Magazin 2007;9:14-20

Erbe R-D. Unfälle mit Motorradfahrern: Helm ab oder lieber nicht?
112-Magazin 2008;11+12:32-35

Erbe R-D. Airbags und Fahrzeugtechnik 2009: Was gibt es Neues? Rettungsdienst 2009;4:82-83

Erbe R-D. ADAC fordert Rettungskarten als Einsatz- und Entscheidungshilfe.
112-Magazin 2009;9+10:20-23

Erklärung

„Ich, Rolf-Dieter Erbe, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema:
Reduzierung negativer physikalischer Einflüsse beim Transport von Notfallpatienten
selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die
(unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt
habe.“

Datum

Unterschrift

Danksagung

Bei dieser Arbeit habe ich viel Unterstützung bekommen. Darunter waren Rettungsdienstmitarbeiter, Notärzte und Techniker der Fahrzeugindustrie, die mir in den letzten Jahren in Gesprächen und bei anderen Anlässen Anregungen und Hinweise gegeben haben und die im Sinne der Verbesserungen in der Notfallmedizin engagiert wirken.

Danke besonders an zwei Wegbegleiter, die in der Berliner Notfallmedizin bereits viel geleistet haben. PD Dr. Frank Bertschat, der mir den Antrieb zu dieser Arbeit gab, und PD Dr. Frank Martens für die Hilfe und Betreuung der Arbeit.

Die Arbeit konnte nur entstehen, weil es von verschiedener Seite Rat, Hilfe und Unterstützung gab. Dieser Personenkreis gehört dazu:

Landesbranddirektion Berliner Feuerwehr, Dipl.-Ing. Wilfried Gräfling und Dipl.-Phys. Karsten Göwecke – sie genehmigten und ermöglichten die Untersuchungen und Nutzung der Einsatzmittel der Berliner Feuerwehr.

Die Leitungen der Rettungsstellen Unfallkrankenhaus Berlin, Vivantes Klinikum Am Urban, Vivantes Klinikum Im Friedrichshain – sie gaben wertvolle Hinweise und erlaubten die Patientenbefragungen.

Ich danke insbesondere dem geschätzten Kollegen Dipl.-Ing. Gerd Müller vom Verein für Verkehrssicherheit, Dipl.-Ing. Fabian Schüppel, Alexander Rauch von der TU Berlin für die technische Unterstützung und die Beratung aus der Sicht der Fahrzeugtechnik, dem Kameraden Clemens Ehrig von der Freiwilligen Feuerwehr Pankow für die Assistenz bei den Schwingungsuntersuchungen und Fahrversuchen mit Rettungswagen.

Natürlich dürfen die Menschen in der Danksagung nicht fehlen, die mich in meinem Leben begleiten: Meine Eltern, die immer alles für mich getan haben. Meine manchmal ganz schön anstrengenden Mädels in meiner Familie, die mir aber Verständnis und Liebe entgegenbringen, obwohl ich viel Zeit mit meiner Arbeit verbringe.