



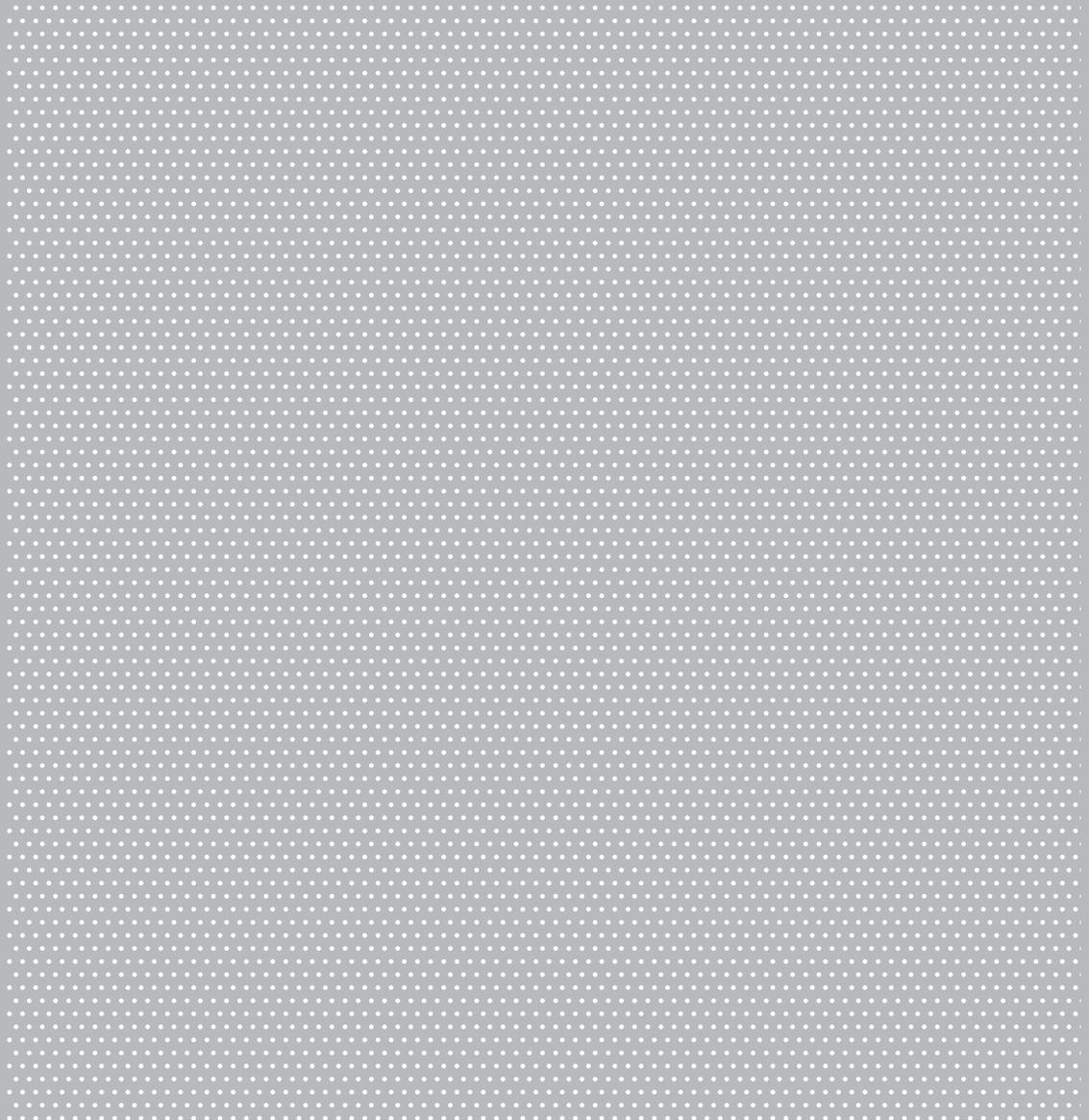
IFA

Institut für Arbeitsschutz der
Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

3/2012

IFA Report

Sitzmemory am Busfahrerarbeitsplatz



IFA Report 3/2012

Sitzmemory am Busfahrerarbeitsplatz

Verfasser: Mark Brütting, Christian Böser, Christoph Knipfer, Rolf Ellegast
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)
Alte Heerstr. 111
53757 Sankt Augustin
Telefon: 02241/231-02
Telefax: 02241/231-2234
Internet: www.dguv.de/ifa
E-Mail: ifa@dguv.de

Redaktion: Zentralbereich des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)

Satz und Layout: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV)

Herausgeber: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV)
Mittelstr. 51
10117 Berlin
Telefon: 030/28876-3800
Telefax: 030/28876-3808
Internet: www.dguv.de
E-Mail: info@dguv.de

– August 2012 –

ISBN: 978-3-86423-046-2

ISSN: 2190-7994

Kurzfassung

Sitzmemory am Busfahrer Arbeitsplatz

Fahrer/-innen im Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) sind signifikant häufiger von Erkrankungen des Bewegungsapparates (Muskel-Skelett-Erkrankungen, MSE) betroffen als der Bevölkerungsdurchschnitt. Dies gilt für die Anzahl der Fälle und der krankheitsbedingten Fehltag. Zudem sind MSE eine der häufigsten Ursachen für vorzeitige Fahrdienstuntauglichkeit. Die Verringerung der Häufigkeit und Schwere von MSE ist ein Teilziel des Präventionsschwerpunktes „Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Personenbeförderung im ÖPNV“ im Rahmen der branchenübergreifenden Gemeinsamen Deutschen Arbeitschutzstrategie (GDA).

Auf Initiative der BG BAHNEN wurde im Nachgang zum Projekt „Fahrer Arbeitsplatz im Linienbus“ (1996) bereits im Jahr 1999 eine Studie mit einem memorisierten Sitzprototyp des Herstellers Isringhausen (ISRI) durchgeführt. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA, damals BIA – Institut für Arbeitssicherheit) und den Stadtwerken Bonn wurde nachgewiesen, dass eine Speicherung der Sitzposition dem Fahrpersonal das schnelle und richtige Einstellen des Fahrersitzes erleichtert und eine nach ergonomischen Gesichtspunkten optimale Sitzhaltung begünstigt. Die Sitzposition

wurde nach ergonomischen Kriterien bewertet mit dem Ergebnis, dass sie sich gegenüber der freien Einstellung signifikant verbessert hatte und damit deutlich weniger gesundheitlich belastend war. Dennoch war eine Verbreitung eines Sitzmemorysystems damals in der betrieblichen Praxis nicht zu realisieren, da die Kosten zu hoch waren. Inzwischen sind die Komponentenpreise wesentlich günstiger, sodass 2012 ein weiteres Projekt mit dem Titel „Erprobung eines Fahrersitzmemorys im Linienbus“ zur Implementierung des Sitzmemorys in der betrieblichen Praxis auf Initiative der VBG-Branche ÖPNV/Bahnen gestartet wurde.

Neben der Sitzhaltung ist bei Fahrer Arbeitsplätzen die Schwingungsbelastung ein Faktor, der für das Entstehen von MSE verantwortlich sein kann (multifaktorielle Belastung). Hier spielt das Feder-Dämpfer-System des Sitzes eine zentrale Rolle.

Mit diesem Report liegt eine Zusammenfassung der Ergebnisse der beiden o. g. Projekte zum Sitzmemory am Busfahrer Arbeitsplatz vor. Eine Untersuchung zum Dämpfungsverhalten des Fahrersitzes mit Memoryfunktion ergänzt den Report.

Abstract

Seat memory at bus drivers' workplaces

Drivers of local public transport vehicles are affected by disorders of the locomotor apparatus (musculoskeletal disorders or MSDs) at a significantly higher rate than the average for the wider population. This holds true for both the number of cases and the number of working days lost due to illness. MSDs are also one of the most frequent causes of health-related early retirement from driving duty. Reducing the incidence and severity of MSDs is a sub-target of the focus upon OSH-related prevention activity in the area of local public transport within the cross-sector Joint German OSH Strategy (GDA).

In response to an initiative by BG BAHNEN, a project conducted in 1996 on drivers' workplaces in service buses was followed up only three years later by a study involving a prototype memory seat produced by seat manufacturer Isringhausen (ISRI). In conjunction with the Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance (IFA, at that time the BIA) and the Bonn municipal services, it was demonstrated that a seat memory for the driving position facilitated quick and correct adjustment by the drivers of their seats and favoured an ergonomically ideal seating posture. The seating position was evaluated against ergonomic criteria. The results showed that the seat

memory significantly improved the seating position compared to free adjustment and that it therefore substantially reduced the adverse effect upon health. At that time however, the seat memory system could not be used on a wide scale in the field owing to the high costs. Since then, component prices have fallen substantially. Consequently, the German Social Accident Insurance Institution for the administrative sector (VBG)/local public transport and railways sector launched a further project in 2012 on the subject of „testing of a driver's memory seat in service buses“. The aim of this project was to implement use of the seat memory in the field.

Besides the sitting posture, exposure to vibration is a factor at drivers' workplaces that can be responsible for the incidence of MSD (multifactorial exposure). The seat's spring/mass-damping system is of crucial importance in this context.

This report summarizes the results of the two projects referred to above concerning seat memories at bus drivers' workplaces. The report also includes a study of the damping characteristic of the driver's seat with memory function.

Résumé

Mémoire de siège au poste de conduite d'autobus

Les conducteurs / conductrices des entreprises de transport public urbain et suburbain sont beaucoup plus souvent atteints d'affections de l'appareil locomoteur (troubles musculosquelettiques, TMS) que la moyenne de la population. En effet, le nombre de cas de TMS et de jours d'absence pour cause de maladie est beaucoup plus élevé chez ces personnes. En outre, les TMS sont une des causes les plus fréquentes d'inaptitude prématurée au service de conduite. La réduction de la fréquence et de la gravité des TMS est un des objectifs de la prévention dans le domaine « Sécurité et hygiène du travail lors du transport de personnes dans les entreprises de transport public urbain et suburbain », qui est réalisée dans le cadre de la stratégie allemande commune et interprofessionnelle de sécurité du travail.

À la suite du projet « Poste de conduite d'autobus » (1996), une étude avait déjà été réalisée en 1999 avec un prototype de siège à mémoire du fabricant Isringhausen (ISRI) à l'initiative de l'Organisme d'assurance sociale allemande des accidents du travail et des maladies professionnelles des Chemins de fer. Dans cette étude réalisée en commun par l'Institut de sécurité du travail de l'Assurance sociale allemande des accidents du travail et maladies professionnelles (IFA, anciennement BIA) et les Services Techniques de la Ville de Bonn, il a été démontré que la mémorisation de la position du siège permet au personnel de conduite de régler rapidement et correctement le siège, et

favorise une position assise optimale sur le plan ergonomique. Une évaluation de la position assise selon des critères ergonomiques a mis en évidence une amélioration sensible par rapport au réglage libre et, par conséquent, une réduction notable des effets nuisibles sur la santé. Cependant, l'introduction d'un système à mémoire de siège était impossible à cette époque car les coûts étaient trop élevés. Depuis, les prix des composants de ce système ont beaucoup baissé, de sorte qu'en 2012 un autre projet appelé « Essai d'une mémoire de siège du conducteur dans un autobus » et destiné à introduire la mémoire de siège dans la pratique a été lancé à l'initiative du VBG – secteur d'activité Entreprises de transport public urbain et suburbain / Chemins de fer.

Outre la position assise, la contrainte vibratoire est également un facteur pouvant entraîner l'apparition de TMS aux postes de conduite d'autobus (contrainte multifactorielle). Dans ce domaine, le système ressort-amortisseur du siège joue un rôle prépondérant.

Dans ce compte rendu sont rassemblés les résultats des deux projets relatifs à la mémoire de siège au poste de conduite d'autobus mentionnés ci-dessus. Une analyse de l'amortissement du siège du conducteur avec fonction de mémoire complète le compte rendu.

Resumen

Sitzmemory (memoria del asiento) en el lugar de trabajo de conductor de autobús

Los/las conductores/as del transporte público local de pasajeros (ÖPNV, por sus siglas en alemán) se ven afectados con más frecuencia por enfermedades del aparato motor (enfermedades musculoesqueléticas, MSE, por sus siglas en alemán). Esta afirmación se basa en el número de casos y de los días de ausencia en el trabajo debidos a enfermedades. Además, las MSE son las causas más comunes de la incapacidad prematura para prestar servicios de transporte. La disminución de la frecuencia y la gravedad de las MSE es el objetivo parcial del punto esencial de prevención de „Seguridad y protección de la salud en el transporte de pasajeros de ÖPNV“ en el marco de la Estrategia Conjunta de Protección Laboral Alemana (GDA, por sus siglas en alemán).

Por iniciativa de BG BAHNEN se llevó a cabo posteriormente al proyecto „Lugar de trabajo del conductor en autobús de línea“ (1996) ya en 1999 un estudio con un prototipo de asiento memorizado del fabricante Isringhausen (ISR). En colaboración con el Instituto para la Protección Laboral de DGUV (IFA, entonces BIA: Instituto para la Seguridad Laboral) y las empresas municipales de Bonn se demostró que el almacenamiento de la posición de sentado del conductor facilitaba el ajuste rápido y correcto del asiento del conductor y favorecía un mantenimiento óptimo de la posición de sentado según una perspectiva ergonómica. La

posición de sentado se evaluó en base a criterios ergonómicos y el resultado fue que esta había mejorado notablemente en comparación con el ajuste libre, por lo que resultaba claramente menos perjudicial para la salud. No obstante, no se pudo implementar en la práctica un sistema de sitzmemory (memoria del asiento) en aquel tiempo, ya que los costes eran demasiado elevados. Mientras tanto, los precios de los componentes son ahora bastante más económicos, de modo que en 2012 se ha comenzado otro proyecto con el título „Prueba de una sitzmemory (memoria del asiento) del conductor de autobús de línea“ para implementar la sitzmemory en la práctica por iniciativa de VBG-Branche ÖPNV/Bahnen.

Además de la postura de sentado, en los lugares de trabajo de los conductores, la carga por vibraciones es un factor que puede considerarse responsable de la aparición de MSE (carga multifactorial). En dicho caso, el sistema de amortiguador por resorte del asiento juega un papel central.

Con este informe se adjunta un resumen de los resultados de ambos proyectos mencionados arriba sobre la sitzmemory (memoria del asiento) en el lugar de trabajo del conductor de autobús. Una investigación sobre la amortiguación del asiento del conductor con función de memoria complementa el informe.

Inhaltsverzeichnis

Teil A: Präventionsprojekt „Erprobung eines Fahrersitzmemorys im Linienbus“ (Projekt 4187, 2012)	9
1 Einleitung	11
2 Material und Methoden	13
2.1 Fahrersitz und Fahrzeuge	13
2.2 Memorysystem	14
2.3 Probanden	14
2.4 S Sitzeinstellungen	14
2.5 Körperhaltungsmesssystem CUELA	15
2.6 Statistische Methoden	16
2.7 Fragebögen	16
3 Ergebnisse	17
3.1 Probandendaten	17
3.2 Sitzeinstellungsdaten	18
3.3 Fragebogenergebnisse	22
3.4 Auswertung der Log-Dateien des Memorysystems	24
4 Diskussion	27
5 Vorgehensweise zur (teil-)automatischen individuellen Sitzeinstellung	29
6 Zusammenfassung	31
7 Literatur	33
Anhang	35
A Protokoll Probandendaten	35
B Fragebogen Tagesprotokoll vor Fahrtantritt und nach Fahrtende	36
C Fragebogen Abschlussbefragung 1	39
D Fragebogen Abschlussbefragung 2	41
E Probandenangaben aus Abschlussfragebogen 1	42
F Probandenangaben aus Abschlussfragebogen 2	43
G Messbericht Ganzkörper-Vibrationen (Niederflurlinienbusse)	45
Teil B: Untersuchung „Ergonomische Prüfung eines Sitzmemorys am Busfahrerarbeitsplatz“ (Projekt 4086, 2001)	87
1 Einleitung	89
2 Aufgabenstellung	91
3 Material und Methoden	93
3.1 Komfortwinkel	93
3.2 Probandenkollektiv	94
3.3 Erfassung der Körperhaltungen	96
3.4 Memorysitz	97
3.5 Messsituation im Bus	98
3.6 Fragebogen zur Bewertung des Fahrersitzes durch die Fahrer/-innen	98
4 Gliederung der Untersuchung	99
4.1 Eingewöhnungsphase	99
4.2 Messphase 1	99
4.3 Laborphase	100
4.3 Verifikationsphase (Messphase 2)	100

5	Aufbereitung der Messdaten	101
5.1	Aufbereitung der Körperwinkeldaten einer Messphase.....	101
5.2	Aufbereitung der Sitzeinstellungsdaten einer Messphase	103
5.3	Aufbereitung der Fragebogendaten	103
6	Messergebnisse	105
6.1	Ergebnisse der Messphase 1.....	105
6.2	Ergebnisse der Laborphase	107
6.3	Messergebnisse der Verifikationsphase (Messphase 2)	107
6.3.1	Ergebnisse der Messphase 2 bezogen auf alle Probanden.....	108
6.3.2	Ergebnisse der Messphase 2 für die Untergruppe 1 des Probandenkollektivs (hohe Akzeptanz der memorisierten Sitzeinstellung)	109
6.3.3	Ergebnisse der Messphase 2 für die Untergruppe 3 des Probandenkollektivs (geringe Akzeptanz der memorisierten Sitzeinstellung)	110
6.4	Ergebnisse der Auswertung des Fragebogens zur Bewertung des Fahrersitzes durch die Fahrer/-innen	110
7	Diskussion	113
8	Literatur	115
Anhang.....	117
A	Anthropometrie	117
B	Fragebogen zur Bewertung des Sitzkomforts des Fahrersitzes und Antworten der Probanden	121
C	Anhang der Messergebnisse der Messphasen 1 und 2.....	129

Teil A:

Präventionsprojekt „Erprobung eines Fahrersitzmemorys im Linienbus“

(Projekt IFA 4187, 2012)

1 Einleitung

Die Erfahrung von Verkehrsunternehmen hat gezeigt, dass das Fahrpersonal den Fahrersitz aufgrund der Modellvielfalt und der Handhabbarkeit des Einstellmechanismus im praktischen Fahrbetrieb manuell nicht optimal einstellt. Daraus ergeben sich Sitzhaltungen, die teilweise zu erheblichen Muskel-Skelett-Belastungen führen. Daher initiierte die Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG, ehemals BG BAHNEN) ein Präventionsprojekt, das an das BIA-Projekt 4086 „Ergonomische Prüfung eines Sitzmemorys am Busfahrer Arbeitsplatz“ (siehe Teil B dieses Reports) anknüpft.

Busfahrer klagen im Vergleich zu anderen Beschäftigten vermehrt über muskuloskeletale Beschwerden [1]. Muskel- und Skelett-Erkrankungen sind auch mit bis zu 40 % Ursache für eine vorzeitige Fahrdienstuntauglichkeit. Dies wurde u. a. vornehmlich der bei der Fahrtätigkeit eingenommenen Körperhaltung zugeschrieben. Deshalb wurde 1996 ein ergonomisch und technisch optimiertes Gesamtkonzept für den Fahrer Arbeitsplatz im Linienbus entwickelt [2]. Dieser Arbeitsplatz zeichnet sich durch verschiedene Verstellmöglichkeiten an Lenkrad und Fahrersitz aus, die für Fahrer mit einer Körpergröße zwischen 1,64 und 2,00 m eine ergonomische und komfortable Sitzposition ermöglichen. Wesentliche Merkmale dieses Fahrer Arbeitsplatzes wurden in einer nationalen Regel der Technik, der VDV-Schrift 234 [3], festgelegt.

Zur einfachen und schnellen Einstellung einer nach anthropometrischen und physiologischen Gesichtspunkten ermittelten und individuell optimierten Sitzposition und -haltung wurde ein Sitzmemorysystem entwickelt, auf dessen Speichermedium verschiedene Sitzparameter gespeichert werden können. Im Projekt „Ergonomische Prüfung eines Sitzmemorys am Busfahrer Arbeitsplatz“ (siehe Teil B dieses Reports) wurde untersucht, ob ein solches Sitzmemorysystem gegenüber der bis dahin üblichen manuellen Sitzeinstellung durch den Fahrer zu einer besseren ergonomischen Körperhaltung am Arbeitsplatz führt und wie viele memorisierte Parameter ausreichen, um eine wesentlich verbesserte Körperhaltung am Sitzarbeitsplatz zu erreichen. Weiterhin wurde die Akzeptanz der Memoryeinstellungen durch die Fahrer überprüft.

Während zum Zeitpunkt der vorangegangenen Untersuchungen eine Memoryfunktion bei Fahrzeugsitzen noch relativ wenig verbreitet war, gehört diese bei einigen Pkw-Modellen mittlerweile zur Standardausstattung. Aber gerade für den öffentlichen Nahverkehr, mit häufigen und schnellen Fahrerwechseln, erscheint eine automatische Sitzeinstellung besonders angebracht. Mit dem aktuellen Präventionsprojekt sollte überprüft werden, ob eine Speicherfunktion die Einstellung einer ergonomischen Sitzhaltung für das Fahrpersonal erleichtert und ein Sitzmemory bei Nutzung der heutigen in Verkehrsunternehmen verbreiteten Technologie funktionsfähig ist. Weiterhin wurde untersucht, ob ein automatisches Verfahren zur ergonomischen Sitzeinstellung anhand der individuellen anthropometrischen Werte möglich ist.

Die Kooperationspartner im Projekt waren die Berliner Verkehrsbetriebe (BVG Berlin), die Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG), der Sitzhersteller Isringhausen (ISRI), die Novera Systemtechnik GmbH (Novera) und das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA).

Im Projekt wurden bei 24 Linienbusfahrern die für eine Sitzeinstellung relevanten Körpermaße bestimmt. Anschließend wurde mit diesen Fahrern deren persönliche ergonomisch optimierte Sitzeinstellung, beruhend auf den Empfehlungen des Verbands Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), ermittelt. Die resultierende Rückenlehnenneigung, Neigung der Sitzfläche, Sitzflächenhöhe und horizontale Sitzposition wurden an einem Sitz mit Memoryfunktion eingestellt und auf einer Speicherkarte gespeichert, die den Fahrern ausgehändigt wurde. Die Einstellungen und Änderungen der Sitzeinstellungen während des anschließenden Fahrbetriebs wurden zur nachfolgenden Auswertung aufgezeichnet. Mit einem täglich auszufüllenden Fragebogen und allgemeinen Abschlussfragebögen wurden die Erfahrungen mit dem Memorysitz und der persönlichen Sitzposition und -haltung abgefragt. Anhand der Körpermaße und der korrespondierenden Sitzeinstellungen sollte eine Methode zur schnellen und individuellen ergonomischen Sitzeinstellung entwickelt werden. Die Ergebnisse der Versuche und der begleitenden Fragebögen wurden statistisch ausgewertet.

2 Material und Methoden

2.1 Fahrersitz und Fahrzeuge

Der für das Projekt verwendete Fahrersitz der Fa. Isringhausen (ISRI) hatte die Bezeichnung ISRI 6860/880E NTS2 (siehe Abbildung 1). Dieser Sitz verfügte über folgende Verstellmöglichkeiten:

- Neigung der Sitzfläche
- Horizontalverstellung des gesamten Sitzes
- Höheneinstellung
- Rückenlehnenneigung
- Sitzkissentiefeinstellung
- Dämpfereinstellung (Einstellung des Schwingungsverhaltens)
- Rückenlehnenkontur (pneumatisch)
 - oberer und unterer Bereich der Rückenlehne
 - Seitenbereich des Lendenwirbelsäulenbereichs
- Schulteranpassung

Abbildung 1:
Fahrersitz (Quelle: ISRI)



Mit dem externen Bedienpanel (Abbildung 2) konnten die Neigung der Sitzfläche, die Horizontalposition, die Höheneinstellung und die Rückenlehnenneigung eingestellt sowie die Werte von drei Sitzeinstellungen gespeichert und abgerufen werden. Die Verstellbereiche (Sitzflächenneigung: -3 bis +9,5°, Sitzlängseinstellung: 23 cm, Rückenlehnenneigung: -15 bis +30°, Sitzhöhe: 12 cm) waren dabei jeweils in 1 000 Einheiten unterteilt, deren Werte im Memorysystem gespeichert werden konnten. Die übrigen Einstellmöglichkeiten waren nicht memorisiert. Für eine Sitzeinstellung nach VDV-Vorgaben können die vier genannten

memorisierten Einstellungsmöglichkeiten als ausreichend (siehe auch Teil B dieses Reports, Kapitel 3) angesehen und alle weiteren Einstellungsmöglichkeiten als zusätzliche Komforteinstellungen betrachtet werden. Diese wurden in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt. Die teilnehmenden Fahrer wurden darüber informiert, dass diese, soweit technisch möglich, deaktiviert wurden (pneumatische Funktionen für Schulter- und Lendenwirbelsäule(LWS)-Anpassung).

Die Fahrersitze waren in Linienbussen des Herstellers MAN, Typ NL 263, Baujahr 2004 (Abbildung 3) eingebaut. Die Einbaupositionen der Sitzkonsolen wurden bei allen Fahrzeugen überprüft und entsprachen mit Abweichungen von maximal 8 mm den Vorgaben. Die Linienbusse fuhren im gewöhnlichen Linienbetrieb zweier Betriebshöfe auf verschiedenen Strecken im Stadtgebiet von Berlin. Die Fahrzeiten von Endstation zu Endstation betragen zwischen 25 und 45 Minuten.

Abbildung 2:
Bedienpanel (Quelle: ISRI)



Abbildung 3:
Linienbus der BVG (Quelle: Berliner Verkehrsbetriebe)



2.2 Memorysystem

Die individuellen Sitzeinstellungen der Fahrer wurden bei dem verwendeten Memorysystem auf einer Chipkarte (NOVERA Systemtechnik GmbH, Abbildung 4) gespeichert. Drei Sitzeinstellungen – abzurufen unter den entsprechenden Speicherplätzen am externen Bedienpanel des Sitzes – konnten abgespeichert werden. Die Chipkarte an das Lesegerät haltend wurde zunächst die unter Speicherplatz 1 abgelegte Sitzeinstellung automatisch angefahren. Per Tastendruck auf die nummerierten Funktionstasten am Bedienpanel des Fahrersitzes (Abbildung 2) konnten jederzeit die alternativen Sitzeinstellungen aufgerufen werden. Der automatische Einstellungsvorgang wurde unterbrochen, sobald die Bedieneinheit des Sitzes manuell betätigt wurde. Ein erneutes Anfahren der gespeicherten Sitzeinstellung erfolgte durch Drücken der Funktionstasten. Während die Sitzeinstellungsdaten des Speicherplatzes 1 unveränderlich gespeichert waren, hatten die Versuchsteilnehmer die Möglichkeit, die Sitzeinstellungsdaten des Speicherplatzes 2 bei Bedarf zu verändern. Die Probanden wurden ausdrücklich darauf hingewiesen, dass sie die voreingestellten Sitzpositionen als Empfehlungen auffassen sollten und diese bei Bedarf auch manuell verstellen können.

Abbildung 4:
NOVERA Speicherkarte und Lesegerät (Quelle: NOVERA Systemtechnik)



Weiterhin besaß das System einen Speicher, der während Versuchsphase genutzt wurde, um die von den Fahrern gewählten Sitzeinstellungen und die manuell vorgenommenen Sitzeinstellungsänderungen in Log-Dateien abzuspeichern. Nach jedem abgeschlossenen Einstellungsvorgang wurden die Positionen und Winkeleinstellungen der vier memorisierbaren Sitzeinstellungen in verstellbereichsabhängigen Einheiten gespeichert. Nach Ende der Versuchslaufzeit wurden diese Log-Dateien ausgelesen und quantitativ ausgewertet, um Rückschlüsse auf die Akzeptanz der Voreinstellungen und das Sitz- bzw. Sitzeinstellungsverhalten vor und während der Fahrtzeiten ziehen zu können.

2.3 Probanden

Das Probandenkollektiv bestand aus 24 männlichen Linienbusfahrern im Alter von 26 bis 59 Jahren (Mittelwert 48 Jahre, Standardabweichung 7,9 Jahre) von zwei Betriebshöfen der Berliner Verkehrsbetriebe (BVG-Berlin).

Nach einer Unterweisung in den Umgang mit anthropometrischen Messwerkzeugen nach DIN 33402 „Körpermaße des Menschen“ erfassten Betriebsärzte der BVG eine Auswahl von Körpermaßen der Probanden.

Folgende Probandendaten wurden erhoben (anthropometrische Werte nach Definition der DIN 33402):

- Alter, Geschlecht, Händigkeit, Fahrpraxis im Linienbus
- Körperhöhe (mit/ohne Schuhe)
- Reichweite nach vorn
- Körpersitzhöhe
- Schulterhöhe im Sitzen
- Sitzflächenhöhe (mit/ohne Schuhe)
- Gesäß-Kniekehlenlänge
- Gesäß-Knielänge
- Gesäß-Beinlänge (mit/ohne Schuhe)
- Bauchtiefe
- Körpergewicht
- Vorerkrankungen des Muskel-Skelett-Systems

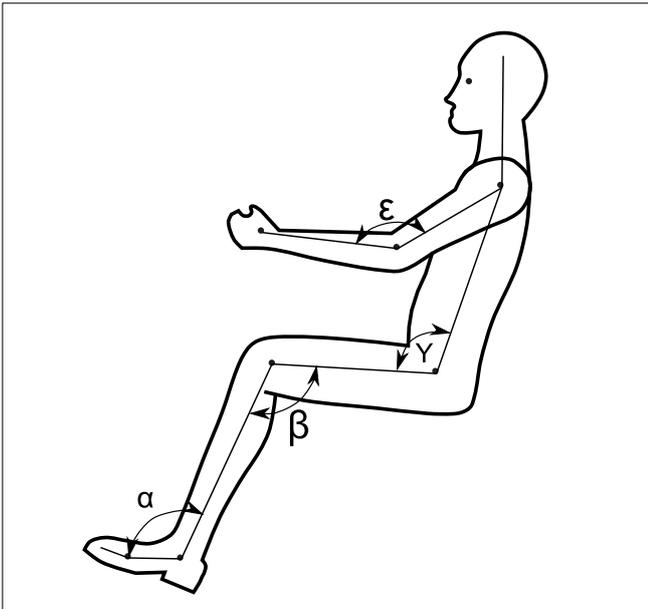
Anschließend wurden die persönlichen Sitzeinstellungen festgelegt.

2.4 Sitzeinstellungen

Nach den anthropometrischen Messungen wurden die Teilnehmer mit dem Memorysitzsystem vertraut gemacht und ihnen wurden dessen Funktionen erklärt. Die individuelle Einstellung des Fahrersitzes erfolgte jeweils unter Berücksichtigung der Vorgaben der VDV-Schrift 234 [3]. Die Spezifikationen dieser Schrift zur Geometrie des Fahrerarbeitsplatzes beruhen auf den Forschungsergebnissen des Instituts für Kraftfahrwesen (ika) [2] und sollen eine ergonomisch günstige Sitzposition mit entsprechenden physiologisch wenig belastenden Körperwinkeln bewirken. Diese Sitzposition wird im Folgenden vereinfacht als „Sitzposition gemäß den Vorgaben der VDV 234“ bzw. „nach VDV 234“ genannt (Abbildung 5).

Bei der Sitzeinstellung während der Erprobung wurden die Sitzposition, Sitzhöhe und Sitzflächenneigung so lange verändert, bis die geforderten Fußgelenk-, Knie- und Oberschenkelwinkel den Bereichen nach VDV 234 entsprachen. Hierfür wurde zunächst der Fuß am Fersenpunkt des Gaspedals positioniert und dann die Sitzposition und Sitzhöhe solange angepasst, bis die Gelenkwinkel des Fuß- und Kniegelenks sowie Unter- und Oberschenkelneigung den VDV-Anforderungen entsprachen. Abschließend wurde die Rückenlehnenneigung eingestellt, um die entsprechenden Oberkörperwinkel und Rückenneigung zu erreichen. Die dann vorliegende Sitzeinstellung wurde auf der persönlichen Speicherkarte auf Sitzposition 1 gespeichert. Unter Sitzposition 2 konnte bei Bedarf eine alternative Sitzeinstellung abgespeichert werden, die der Fahrer als bequemer bewertete. Auch hierbei wurde darauf geachtet, dass die Körperwinkelbereiche nach VDV 234 möglichst nicht verlassen wurden. Eine Ausstiegsposition zum bequemen Verlassen des Fahrersitzplatzes (Rückenlehne senkrecht, Sitz in maximal hinterer Position) wurde auf Speicherposition 3 gespeichert.

Abbildung 5:
Körperwinkel und Komfortwinkel nach VDV 234 (Quelle: [3])



Fußgelenkwinkel α	80° bis (90°) bis 105°
Kniewinkel β	110° bis 120°
Hüftwinkel γ	100° bis 115°
Ellbogenwinkel ϵ	95° bis 135°
Oberschenkelwinkel (Oberschenkel zur Horizontalen)	0° bis 15°
Oberkörperwinkel (Rumpf zur Senkrechten)	-10° bis -20°

Im Rahmen des Projektes wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, um aktuelle Erkenntnisse und Veröffentlichungen nach Abschluss des Vorgängerprojektes einbeziehen zu können. Die Suche beschränkte sich auf den Zeitraum von 2001 bis 2011 und die Schlagworte

- arbeitsbedingte Gesundheitsgefahren (work related health hazards/risks)
- Belastung (workload)
- (Linien-)Bus ((urban) bus)
- Busfahrerarbeitsplatz (bus driver workplace)
- Ergonomie (ergonomics)
- Ergonomische Gestaltung (ergonomic design)
- Fahrerarbeitsplatz (driver job)
- Fahrersitz (driver's seat, operator's seat)
- Messverfahren (measurement method)
- Messverfahren für Sitzkörperhaltungen (measurement methods for sitting posture)

- Sitzeinstellung (seat adjustment)
- Sitzmemory (seat memory)
- Transport (transportation, carriage)
- Verkehr (traffic)
- Gefährdungsbeurteilung (risk assessment)
- MSE (MSD)
- Wirbelsäule (spine)
- Wirbelsäulenbelastung (spine strain)
- Wirbelsäulenerkrankung (spinal disorders)

Die Suche in der Datenbank der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) und der Wissens-Datenbank TEMA ® – Technik und Management (WTI-Frankfurt e.g. – Wissenschaftlich-Technische Information, Frankfurt am Main) ergab 125 Treffer. Nach Sichtung der Titel wurden 60 Literaturquellen als möglicherweise relevant definiert. Eine Überprüfung der Kurzfassungen/Abstracts ließ lediglich 13 Veröffentlichungen (einige davon von Sitz- und Fahrzeugherstellern) als themenbezogen und projektrelevant erscheinen. Diese ließen sich in folgende thematische Kategorien einordnen:

- Vibration (5), z. B. [5],
- Komfort (-beurteilung) und Bewertungsverfahren/Checklisten (6), z. B. [6]
- Ermüdung (mit digitalen Mensch- und Sitzmodellen) (1) [7]
- Virtual Reality und Mixed Reality Methoden zur Sitzeinstellung (1) [8]

Neuere Erkenntnisse aus dem Bereich der Medizin, Biomechanik oder Anthropometrie zum sitzenden Menschen – insbesondere solche, die eine deutliche Abweichung der Körperwinkel von denen in der VDV 234 genannten begründet hätten – wurden nicht gefunden.

2.5 Körperhaltungs-Messsystem CUELA

Die Kontrolle und Überprüfung der Körperhaltungen und Gelenkwinkel der Probanden während der Sitzeinstellungsvorgänge erfolgte mit dem Körperhaltungs-Messsystem CUELA (Computerunterstützte Erfassung und Langzeit-Analyse von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems) [9]. Dieses am Körper auf der Kleidung getragene Messsystem ermöglicht eine gradgenaue Erfassung von Körperwinkeln, ohne den Träger bei seiner Arbeit zu beeinträchtigen. Verschiedene Sensoren (Potenziometer, Gyroskope, Inklinometer, Drehsensoren) erfassen die Stellung von Gelenken der Extremitäten und die Haltung des Oberkörpers und Kopfes mit einer Frequenz von 50 Hz. Die gemessenen Daten

können in Echtzeit auf einem Bildschirm ausgegeben (Online-modus) oder auch als Verlauf von bis zu mehreren Stunden auf einem Speichermedium aufgezeichnet und anschließend statistisch ausgewertet werden.

Das CUELA-System wurde für unterschiedliche Anwendungszwecke in verschiedenen Varianten entwickelt. Neben dem Basissystem sind Erweiterungen für den Kopf- und den Schulter-Arm-Bereich, ein Sitzsystem für sitzende Tätigkeiten sowie ein Inertialsystem zur Erfassung von bewegungsarmen Tätigkeiten verfügbar. Im Projekt wurde das CUELA-System für sitzende Tätigkeiten während der Einstellung der empfohlenen Sitzhaltung (Sitzposition 1 und 2) zur Kontrolle der Körperwinkel und der Sitzhaltung im Onlinemodus verwendet.

Abbildung 6:
CUELA-Messsystem



2.6 Statistische Methoden

Die erhobenen Daten der Körpermaße, der beiden gespeicherten Sitzeinstellungen und der Logdateien der Sitzverstellungen im Fahrbetrieb wurden statistisch ausgewertet [10]. Neben den arithmetischen Mittelwerten (MW) und Standardabweichungen (SD) wurde jeweils das 5- (P05), 50- (P50) und 95-Perzentil (P95) berechnet. Der P50-Wert entspricht dem Median (jeweils 50 % der Messwerte sind größer bzw. kleiner als der P50-Wert); der P5-Wert entspricht einem Wert, unterhalb dessen 5 % aller Messwerte lagen und der P95-Wert entspricht einem Wert, oberhalb dessen 5 % aller Messwerte lagen. Weiterhin sind jeweils der Minimal- (Min) und Maximalwert (Max) angegeben. Für einige Körpermaße und Sitzeinstellungen wurden Korrelationskoeffizienten und lineare Regressionen berechnet, um Zusammenhänge zwischen verschiedenen Variablen darzustellen.

2.7 Fragebögen

Die teilnehmenden Fahrer waren aufgefordert, jeweils vor und nach einer Fahrt mit einem Linienbus mit eingebauten Memorysitz einen Fragebogen (siehe Anhang B, Tagesfragebögen) auszufüllen. Mit diesem wurden aktuelle körperliche Beschwerden vor und nach der Fahrt, die Fahrtdauer mit dem Linienbus mit Memorysitz, selbst vorgenommene Verstellungen am Sitz sowie möglicherweise aufgetretene Schwierigkeiten mit dem Memorysitzsystem abgefragt. Nach Ende der sechswöchigen Versuchsdauer wurden in einem Abschlussfragebogen (Anhang C, Abschlussfragebogen 1) nach den allgemeinen Erfahrungen mit dem Memorysitzsystem gefragt und eine Bewertung des Memorysitzsystems erbeten. Einige Wochen nach Ende des Versuchs wurden die Probanden erneut aufgefordert, einen weiteren Fragebogen (Anhang D, Abschlussfragebogen 2) auszufüllen. In diesem sollten sie den Memorysitz mit einem gewissen zeitlichen Abstand nochmals mit den Standardsitzen vergleichen und eine weitere persönliche Beurteilung über den Sitz abgeben.

3 Ergebnisse

3.1 Probandendaten

Vier Linienbusse, die mit dem Memorysitzsystem ausgestattet wurden, waren auf zwei Betriebshöfen im Einsatz. Jeweils zwölf Fahrer wurden in die Bedienung des Sitzes eingewiesen und mit den verschiedenen Funktionen vertraut gemacht. In der Anthropometrie nach DIN 33402 unterwiesene Betriebsärzte der BVG haben die für die Untersuchung relevanten Probandendaten und Körpermaße erfasst und protokolliert (siehe Tabellen 1 und 2). Zwei Fahrer konnten wegen Krankheit nicht oder nur für einen kurzen Zeitraum an den Versuchen im Linienbetrieb teilnehmen und wurden bei der Auswertung der Fragebögen und Log-Dateien nicht berücksichtigt.

In Tabelle 2 sind die gemessenen Körpermaße dargestellt. Zur Einordnung der Werte sind für diese Maße auch die Perzentilwerte aus DIN 33402 aufgeführt. Mit Ausnahmen der P5-Werte für Reichweite nach vorn, Bauchtiefe und Körpergewicht, die den

P5-Wert der Norm nicht erreichen, decken die Werte der Probanden bei allen Maßen den Bereich von P5 bis P95 der männlichen deutschen Bevölkerung im Alter von 18 bis 65 Jahren ab.

Tabelle 1:
Probandenalter, Fahrpraxis, Körperhöhe, Gewicht und Body-Mass-Index (BMI, Quotient aus Körpermasse in kg und dem Quadrat der Körperhöhe in m)

n = 24	Alter in Jahren	Fahrpraxis in Jahren	Körperhöhe in mm	Gewicht in kg	BMI
MW	48	22,7	1760	89,0	30
SD	7,9	9,2	76	16,8	4,7
Min	26	1,5	1605	65,0	24
P5	31	3,2	1665	70,3	25
P50	49	24,0	1753	87,0	30
P95	59	31,0	1879	121,3	38
Max	59	43,0	1955	140,0	39

Tabelle 2:
Anthropometrische Werte des Probandenkollektivs mit Vergleichsdaten aus DIN 33402;
(* Normalgewichtigen wird ein BMI zwischen 18,5 und 25 zugeordnet, ein BMI ab 30 wird in verschiedene Adipositas-Grade eingestuft.)

n = 24		P5	P50	P95	Range
Körperhöhe in mm	DIN 33402 Probanden	1650 1665	1750 1753	1855 1883	1605 bis 1955
Reichweite nach vorn in mm	DIN 33402 Probanden	685 705	740 763	815 809	695 bis 810
Körpersitzhöhe in mm	DIN 33402 Probanden	855 851	910 900	965 980	850 bis 1005
Schulterhöhe im Sitzen in mm	DIN 33402 Probanden	570 576	625 605	670 689	550 bis 695
Sitzflächenhöhe in mm	DIN 33402 Probanden	410 415	450 440	490 495	385 bis 495
Sitztiefe in mm	DIN 33402 Probanden	450 451	495 510	540 575	420 bis 610
Gesäß-Knielänge in mm	DIN 33402 Probanden	565 560	610 603	655 660	530 bis 705
Gesäß-Beinlänge in mm	DIN 33402 Probanden	965 1006	1045 1070	1140 1150	925 bis 1230
Bauchtiefe in mm	DIN 33402 Probanden	200 241	280 298	330 364	235 bis 440
Körpergewicht in kg	DIN 33402 Probanden	63,5 70	79 87	100 124	65 bis 140
BMI (Body-Mass-Index, BMI)(*)	Probanden	25	30	38	24 bis 39

3.2 Sitzeinstellungsdaten

Die Verteilung der Sitzeinstellungen und Körperwinkel aller Fahrer sind in den Tabellen 3 bis 6 dargestellt. Drei Fahrer verzichteten auf eine Alternativposition (Sitzposition 2), da sie nach eigenen Angaben keine andere Sitzhaltung für erforderlich hielten und die Sitzposition 1 als für sie optimal beurteilten. Unter Position 3 wurde eine „Ausstiegsposition“ des Fahrersitzes gespeichert (Sitz in hinterster Position, Rückenlehne senkrecht), die ein komfortables Aussteigen ermöglichte.

Mit den verfügbaren Verstellbereichen des Sitzes in der vorgefundenen Einbausituation war es nicht immer möglich, eine Sitzhaltung mit allen nach VDV 234 empfohlenen Körperwinkeln einnehmen zu lassen, was in den meisten Fällen auf eine nicht ausreichende Verstellbarkeit der Sitzhöhe nach unten zurückzuführen war. Dies betraf insbesondere den Oberschenkelwinkel und resultierte aufgrund der Gelenkwinkelkette in Abweichungen weiterer Gelenkwinkel, z. B. Kniewinkel. Einige Fahrer wollten oder konnten die vorgeschlagene Sitzeinstellung nicht akzeptieren, was zumeist die Oberkörperhaltung bzw. den Oberkörperwinkel (und damit auch den Hüftwinkel) betraf, da die Fahrer allgemein eine aufrechtere Sitzhaltung als vorgeschlagen bevorzugten. In diesen Fällen musste eine Sitzhaltung für Sitzposition 1 akzeptiert werden, die den Vorgaben nur

möglichst nahe kommt. Auch die aus den Körperwinkelvorgaben resultierende tiefe Sitzposition kritisierten die Fahrer mehrfach. Vielfach genannte Gründe waren einerseits die verminderte Einsehbarkeit des Bereiches direkt vor dem Fahrzeug sowie die tiefe Sitzposition beim Kontakt mit den Fahrgästen (z. B. beim Fahrkartenverkauf und der Fahrkartenkontrolle, Haltestellenauskunft). Eine Sitzposition mindestens auf gleicher Augenhöhe mit den Fahrgästen wurde laut Aussage einiger Versuchsteilnehmer auch als psychologisch wichtig erachtet.

In Tabelle 4 sind die Verteilungen der Sitzdaten in Sitzposition 1 dargestellt. Herstellerseitig waren die Verstellbereiche jeweils in 1 000 Einheiten unterteilt. Bei der Horizontalposition des Sitzes mit einem Verstellbereich von 230 mm entspricht somit eine Einheit 0,23 mm usw. Die Rückenlehnenneigung (Winkel der Rückenlehne zur Senkrechten) musste aus dem Winkel der Sitzflächenneigung und dem Öffnungswinkel (Winkel zwischen Rückenlehne und Sitzfläche) berechnet werden, da sich die Sitzfläche technisch bedingt nicht unabhängig von der Rückenlehne verstellen ließ. Konkret bedeutet dies, dass sich bei einer Änderung der Sitzflächenneigung immer auch die Rückenlehnenneigung zur Senkrechten veränderte. Eine Änderung der Rückenlehnenneigung veränderte jedoch nicht die Sitzflächenneigung, sondern nur den Öffnungswinkel zwischen Sitzfläche und Rückenlehne.

Tabelle 3:
Körperwinkel der Probanden ($n = 24$) nach Sitzeinstellung nach VDV in Sitzposition 1; dargestellt ist auch der Anteil der Probanden, deren Sitzhaltung in Sitzposition 1 den Optimalbereichen entsprach oder darüber bzw. darunter lag

$n = 24$	Kniewinkel in °	Oberschenkelwinkel in °	Hüftwinkel in °	Oberkörperwinkel in °
VDV	110 bis 120	0 bis 15	100 bis 115	-10 bis -20
MW	114	0	102	-13
Min	94	-13	89	-20
P5	100	-10	92	-18
P50	116	0	102	-12
P95	123	8	116	-10
Max	141	9	119	-7
< Optimalbereich in %	21	66	33	0
Optimalbereich $\pm 2^\circ$ in %	71	33	58	96
> Optimalbereich in %	8	0	8	4

Tabelle 4:
Sitzeinstellungsdaten der Sitzposition 1 ($n = 24$) mit herstellerseitigen „Sitzeinheiten“ (die Verstellbereiche waren jeweils in 1 000 Einheiten unterteilt) und umgerechneten Winkelgraden bzw. mm. Eine Rückenlehnenneigung von 90° entspricht der Senkrechten.

$n = 24$	Horizontalposition in Sitzeinheiten/mm	Rückenlehnenneigung in °	Sitzflächenneigung in Sitzeinheiten/°	Öffnungswinkel (Winkel zwischen Rückenlehne und Sitzfläche) in Sitzeinheiten/°	Sitzflächenhöhe in Sitzeinheiten/mm
Verstellbereich	1 000/230		1 000/12,5	1000/45	1 000/120
MW	619/142	95	597/4,5	678/91	47/5
Min	190/44	90	30/-2,6	534/84	1/0
P5	334/77	92	31/-2,6	549/85	1/0
P50	630/145	95	692/5,6	670/90	1/0
P95	965/222	98	1 000/9,5	845/98	182/22
Max	1 000/230	100	1 000/9,5	855/98	617/74

Bei der alternativen Sitzposition 2 (Tabelle 5) wurden die Optimalbereiche relativ häufiger verlassen. Allgemein wurde ein größerer Kniewinkel als empfohlen eingenommen, was vermutlich auf die zumeist etwas weiter hinten eingestellte Sitzposition zurückzuführen ist (siehe Tabellen 4 und 6). Der Oberschenkelwinkel lag dagegen häufiger im empfohlenen Bereich (50 %). Die Verteilung der Hüftwinkel ist mit der Verteilung bei

Sitzposition 1 nahezu identisch. Die häufigste Abweichung vom Optimalbereich wurde beim Oberkörperwinkel verzeichnet. Etwa die Hälfte der Probanden bevorzugte eine weniger nach hinten geneigte, nahezu senkrechte Haltung des Oberkörpers. Dies kann evtl. auch auf eine Kompensation der allgemein niedrigen Sitzposition zurückzuführen sein, um auf diese Weise eine höhere Kopfposition zu erzielen.

n = 24	Kniewinkel in °	Oberschenkelwinkel in °	Hüftwinkel in °	Oberkörperwinkel in °
VDV	110 bis 120	0 bis 15	100 bis 115	-10 bis -20
MW	116	-2	101	-9
Min	89	-13	83	-17
P5	93	-12	87	-16
P50	117	-3	102	-9
P95	138	8	116	-1
Max	140	14	120	1
< Optimalbereich in %	17	50	33	0
Optimalbereich ± 2° in %	42	50	63	46
> Optimalbereich in %	42	0	4	54

Tabelle 5: Körperwinkel der Probanden (n = 24) nach Sitzeinstellung nach VDV in Sitzposition 2; dargestellt ist auch der Anteil der Probanden, deren Sitzhaltung in Sitzposition 2 den Optimalbereichen entsprach oder darüber bzw. darunter lag (drei Fahrer waren mit Position 1 so zufrieden, dass sie auf eine Position 2 verzichteten, für diese gilt Sitzposition 1 = Sitzposition 2).

Tabelle 6:

Sitzeinstellungsdaten der Sitzposition 2 (n = 24) mit herstellereitigen „Sitzeinheiten“ (der gesamte Verstellbereich ist in 1000 Einheiten unterteilt) und umgerechneten Winkelgraden bzw. mm (drei Fahrer waren mit der Position 1 so zufrieden, dass sie auf eine Position 2 verzichteten, für diese gilt Sitzposition 1 = Sitzposition 2)

n = 24	Horizontalposition in Sitzeinheiten/mm	Rückenlehnenneigung in °	Sitzflächenneigung in Sitzeinheiten/°	Öffnungswinkel (Winkel zwischen Rückenlehne und Sitzfläche) in Sitzeinheiten/°	Sitzflächenhöhe in Sitzeinheiten/mm
Verstellbereich	1 000/230		1 000/12,5	1000/45	1 000/120
MW	707/162	93	537/3,7	647/89	71/8
Min	331/76	89	31/-2,6	507/83	1/0
P5	416/95	89	33/-2,6	516/83	1/0
P50	709/163	93	542/3,8	599/87	1/0
P95	997/229	97	1 000/9,5	826/97	542/57
Max	1 000/230	99	1 000/9,5	855/98	725/87

Die Winkel der Sitzeinstellungen beziehen sich auf das „Gerüst“ des Sitzes und die vom Hersteller definierten Messpunkte, d. h. die Polsterung und deren Kontur und Verformung bei Belastungen können hierbei nicht berücksichtigt werden.

Allgemein wurde der Fahrersitz für die Sitzposition 2 in eine etwas weiter hinten liegende Position gebracht und bei etwa gleichbleibender Sitzhöhe somit der Kniewinkel vergrößert. Die Sitzflächenhöhe wurde zumeist beibehalten. Eine Änderung zu einer niedrigeren Sitzhöhe wäre in den meisten Fällen ohnehin technisch nicht möglich gewesen, da in über 50 % der Fälle schon die niedrigste Einstellung erreicht war. Die Rückenlehnenneigung wurde im Mittel um etwa 2° steiler eingestellt. Die Sitzfläche, die gemäß [3] nach vorne etwas ansteigen sollte, wurde im Mittel vorne deutlich tiefer eingestellt (MW Sitzposition 1 = -2,6°, MW Sitzposition 2 = +3,8°), sodass die Sitzfläche in Sitzposition 2 nach vorne etwas abfällt. Einige Fahrer begründeten diese Einstellung unter anderem damit, dass auf diese Weise die auf die Pedale aufzubringende Kraft mehr durch

Gewichts- als durch Muskelkraft erzielt werden kann oder eine vorne ansteigende Sitzfläche unbequem sei. Der Öffnungswinkel des Sitzes wurde im Mittel etwa um den Betrag der Änderung der Rückenlehnenneigung verkleinert.

Anhand der Körpermaße der Probanden und der individuellen Sitzeinstellungen, die zu der erwünschten ergonomisch optimierten Sitzhaltung führten, wurde eine Korrelationsmatrix erstellt (Tabelle 7). Der Korrelationskoeffizient r oder die Produkt-Moment-Korrelation nach *Pearson* ist ein dimensionsloses Maß für den Grad des linearen Zusammenhangs zwischen zwei Merkmalen und kann Werte zwischen -1 und +1 annehmen. Bei einem Wert von +1 oder -1 besteht ein vollständig positiver bzw. negativer linearer Zusammenhang zwischen den betrachteten Merkmalen. Weist der Korrelationskoeffizient den Wert 0 auf, hängen die beiden Merkmale überhaupt nicht linear voneinander ab. Diese Matrix soll demnach Zusammenhänge zwischen Körpermaßen und Sitzeinstellungen darstellen und die Voraussetzungen dafür liefern, dass eine individuelle und optimierte

Sitzhaltung anhand der reinen Körperteilmaße vorhersagbar ist und VDV-konforme Sitzeinstellungen automatisiert generiert werden können.

Bemerkenswerterweise konnten nur für fünf Kombinationen aus Körpermaß- und Sitzeinstellung nennenswerte erhöhte Korrelationswerte gezeigt werden. Insbesondere für die Sitzflächenhöhe der Probanden und die Sitzhöhe des Sitzes wäre eine hohe Korrelation zu erwarten gewesen. Als ein Erklärungsansatz für das Fehlen einer hohen Korrelation dieser beiden Werte können die Einschränkung bei der Einstellung der Sitzhöhe und die Rücksichtnahme auf die Wünsche und Belange der Fahrer bei der Sitzeinstellung herangezogen werden. Da die Sitzhöhe für 19 der

24 Probanden (ca. 80 %) auf niedrigster Position eingestellt werden musste, konnte mit dem während der Projektlaufzeit vorliegenden Sitzhöhenverstellbereich ein linearer Zusammenhang ohnehin nicht erwartet werden (Abbildung 7). Die ebenfalls relativ hohe Korrelation zwischen der Sitzhöhe und der Schulterhöhe im Sitzen kann aus den oben genannten Gründen ebenfalls nicht für ein Vorhersagemodell verwendet werden.

Im Gegensatz dazu ist zwischen der Körperhöhe und der Sitzposition in Längsrichtung mit einer Korrelationskoeffizienten von $r = 0,59$ eine Tendenz zu höherer Vorhersagewahrscheinlichkeit gegeben (Abbildung 8).

Tabelle 7: Korrelationsmatrix für Körpermaße und Sitzeinstellungen, angegeben ist jeweils der Korrelationskoeffizient r (Werte bis ca. $\pm 0,3$ können als klein angesehen, ab ca. $\pm 0,5$ als gut, bei Werten ab $\pm 0,7$ bis $-0,8$ kann von einer hohen Korrelation ausgegangen werden; Werte $> 0,5$ sind fett gedruckt).

$n = 24$	Sitzposition	Lehnenneigung	Sitzflächenneigung	Sitzhöhe
Körperhöhe	0,59	-0,25	0,37	0,47
Reichweite nach vorn	0,44	0,12	0,10	0,16
Körpersitzhöhe	0,48	-0,16	0,25	0,45
Schulterhöhe im Sitzen	0,41	-0,10	0,25	0,60
Sitzflächenhöhe	0,54	-0,29	0,42	0,14
Sitztiefe	0,34	-0,17	0,37	0,14
Knielänge	0,40	-0,29	0,45	0,26
Beinlänge	0,53	-0,33	0,50	0,29

Abbildung 7: Sitzflächenhöhe – Sitzhöhe

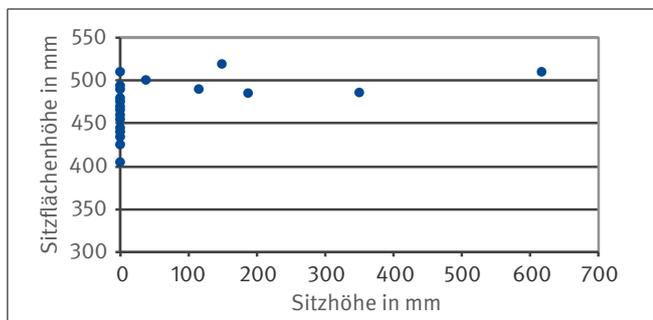
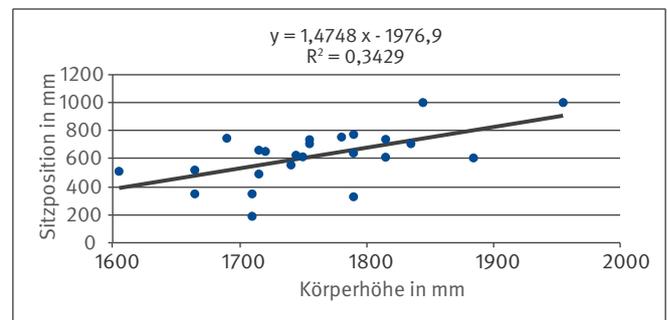


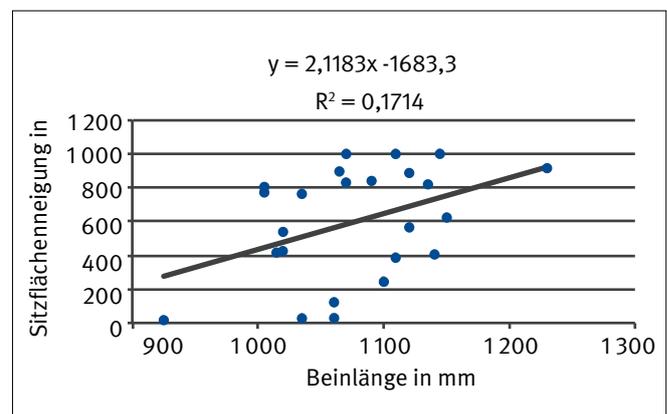
Abbildung 8: Körperhöhe – Sitzposition mit Regressionsgerade



Die Regressionsgerade mit der Gleichung $y(\text{Sitzposition}) = 1,4748 \cdot (\text{Körperhöhe in mm}) - 1976,9$

lieferte eine, wenn auch durch das geringe Bestimmtheitsmaß R^2 von 0,34 nur bedingt zuverlässige Möglichkeit, die Sitzposition anhand der Körperhöhe zu ermitteln. Das Bestimmtheitsmaß R^2 ist der Anteil der Varianz von y , der durch die lineare Regression erklärt wird und liegt zwischen 0 (kein linearer Zusammenhang) und 1 (perfekter linearer Zusammenhang). Die Beinlänge und Sitzflächenhöhe, Teilmaße der Körperhöhe, zeigen erwartungsgemäß eine ähnlich hohe Korrelation, sind aber in der Praxis aufwendiger zu messen, sodass in der Anwendung die Messung der Körperhöhe bevorzugt werden sollte. Die Höhe der Absätze der getragenen Schuhe ist allerdings ein weiterer Einfluss nehmender variierender Faktor für Sitzposition und Sitzhöhe, der nicht kontrolliert werden und zudem Veränderungen unterliegen kann. Der Zusammenhang von Sitzflächenneigung und Beinlänge ist in Abbildung 9 dargestellt.

Abbildung 9: Beinlänge – Sitzflächenneigung mit Regressionsgerade



Die Regressionsgleichung mit dem sehr kleinen Bestimmtheitsmaß R^2 von nur 0,1714 eignet sich, ausgehend vom Maß der Beinlänge, offensichtlich kaum für eine Prognose der Sitzflächenneigung.

Theoretisch sollte neben hohen Korrelationen zwischen Körpermaßen und Sitzeinstellungen auch ein deutlicher Zusammenhang zwischen

- dem Hüftwinkel (Winkel zwischen Oberkörper und Oberschenkel) und dem Winkel zwischen Rückenlehne und Sitzfläche des Sitzes, hier Öffnungswinkel des Sitzes genannt

- dem Oberschenkelwinkel (Winkel zwischen Waagerechter und Oberschenkel) und der Sitzflächenneigung
- sowie zwischen Oberkörperwinkel (Winkel zur Senkrechten) und Rückenlehnenneigung

zu erwarten sein. Die Korrelationen für Sitzposition 1 sind in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8:
Korrelationsmatrix für Körperwinkel und Sitzwinkel für Sitzposition 1, angegeben ist jeweils der Korrelationskoeffizient r

	Hüftwinkel Sitzposition 1	Oberschenkelwinkel Sitzposition 1	Oberkörperwinkel Sitzposition 1
Öffnungswinkel Sitz	0,07		
Sitzflächenneigung		0,29	
Rückenlehnenneigung			0,21

Auch aus dieser Matrix sind nur sehr geringe Korrelationen zwischen Sitzeinstellung und Körperhaltungen abzulesen. Augenscheinlich lassen sich aus einzelnen Körperwinkeln keine annähernd exakten Vorhersagen für die Sitzeinstellung ableiten. Allerdings geben die gemessenen Werte und Sitzeinstellungen zumindest Hinweise auf den genutzten Verstellbereich, die für eine schnellere Sitzeinstellung als bisher verwendet werden können.

Ein geforderter Oberschenkelwinkel zwischen 0 und 15° konnte wegen der nicht ausreichenden Höhenverstellbarkeit des Sitzes nach unten nur in etwa 50 % der Fälle erreicht werden. Der Verstellbereich der Sitzflächenneigung lag hierbei zwischen -2 und 10°.

In Abbildung 10 sind die Werte des Sitzöffnungswinkels und des Hüftwinkels der Sitzposition 1 ($r = 0,07$) für alle Probanden dargestellt. Der Bereich des empfohlenen Hüftwinkels ist grün markiert (+ 2° Messfehler, schraffiert). Die Bereiche oberhalb des Maximal- und unterhalb des Minimalwertes des Sitzöffnungswinkels sind rot gekennzeichnet. Ein Zusammenhang beider Werte ist zwar nicht anzunehmen, jedoch lässt sich der Bereich des Sitzöffnungswinkels bei dieser Probandengruppe auf ca. 15° (84 bis 98°) (Tabelle 4) eingrenzen. Analog zum erforderlichen Verstellbereich des Sitzöffnungswinkels wurde auch der notwendige Mindestverstellbereich für die Rückenlehnenneigung (Abbildung 11) und Sitzflächenneigung (Abbildung 12) dargestellt. Die Werte für die Rückenlehnenneigung lagen zwischen ca. 1° und -10°, um Oberkörperwinkel zwischen -10° und -20° (VDV-Empfehlung) zu erzielen.

Abbildung 11:
Oberkörperwinkel und Rückenlehnenneigung für Sitzposition 1

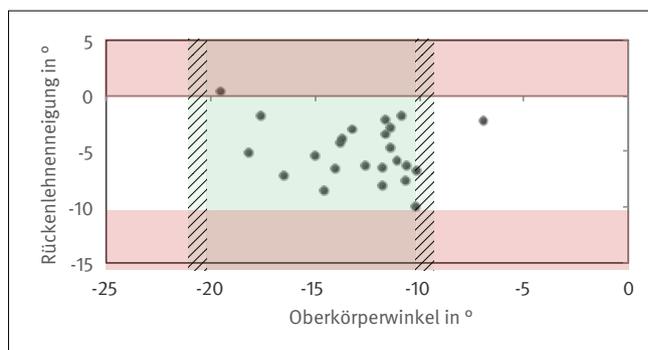


Abbildung 10:
Sitzöffnungswinkel und Hüftwinkel für Sitzposition 1

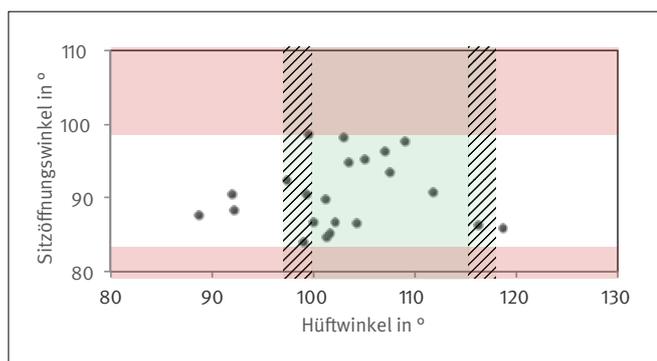
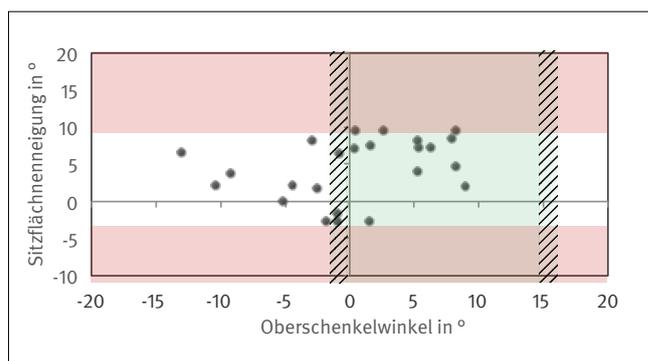


Abbildung 12:
Sitzflächenneigung und Oberschenkelwinkel für Sitzposition 1



3.3 Fragebogenergebnisse

Vor Versuchsbeginn wurde allen Probanden ein Ordner mit den in Abschnitt 2.7 beschriebenen Fragebögen überreicht. Die Fahrer wurden gebeten, vor und nach jeder Fahrt mit einem Linienbus einen Tagesfragebogen (Anhang B), sowie am Ende der Versuchslaufzeit nach der letzten Fahrt einen Abschlussfragebogen auszufüllen (Tabelle 9 und Anhang C).

Beide Tagesfragebögen enthielten Fragen zur augenblicklichen körperlichen Verfassung, explizit wurde nach körperlichen

Beschwerden in verschiedenen Körperbereichen gefragt (Tabelle 10). Die Fragebögen zur Bearbeitung nach dem Fahrtende bezogen sich zusätzlich auf die Schicht- bzw. Nutzungsdauer des Memorysitzsystems an diesem Tag und darauf, ob die automatische Einstellung des Memorysitzes fehlerfrei funktionierte. Weiterhin sollte angegeben werden, ob und welche Sitzparameter wie oft und in welche Richtung verstellt und somit die voreingestellten und empfohlenen Sitzpositionen manuell geändert wurden (Tabelle 11). Eine Übersicht über die prozentualen Angaben zur Nutzung der Speicherpositionen 1 und 2 der Fahrer der zwei Betriebshöfe liefert Tabelle 12.

Tabelle 9:
Ergebnisse Statistik Tagesfragebögen

	Betriebshof 1	Betriebshof 2	Gesamt
Anzahl Teilnehmer mit ausgefüllten Tagesfragebögen	11	11	22
Anzahl abgegebener Tagesfragebögen (je 2)	189	207	396
Anzahl Tagesfragebögen/Proband	4 bis 29	9 bis 26	4 bis 29
Anzahl Abschlussfragebögen (1)	8	11	19
Anzahl Abschlussfragebögen (2)	9	11	20
Anzahl Tage ohne technische Probleme	163 (86 %)	197 (95 %)	360 (91 %)
Anzahl Tage mit problematischem Memorysitzsystem	22 (12 %)	7 (5 %)	29 (7 %)
Anzahl Tage ohne nachträgliche manuelle Sitzverstellung	43 (23 %)	52 (25 %)	95 (24 %)

Tabelle 10:
Ergebnisse der Tagesfragebögen zu körperlichen Beschwerden; Anzahl Nennungen in %

n = 404	Anzahl der Nennungen							
	Keine Änderung		Besser		Schlechter		Keine Angaben	
	n	in %	n	in %	n	in %	n	in %
Oberer Rücken	293	73	7	2	87	22	17	4
Mittlerer Rücken	340	84	1	0	45	11	18	4
Unterer Rücken	337	83	11	3	39	10	17	4
Gesäß	355	88	2	0	30	7	17	4
Oberschenkel	325	80	2	0	60	15	17	4
Knie/Fuß	322	80	8	2	57	14	17	4

Tabelle 11:
Ergebnisse der Tagesfragebögen zu Sitzverstellungen: wie oft und in welche Richtungen

n = 404	Sitzverstellung vorgenommen								
	Nein	Ja	Keine Angaben	Einmal	Zwei- bis viermal	> viermal	Höher bzw. vor	Tiefer bzw. zurück	Beides
Sitzhöhe	206	180	18	83	88	9	61	68	47
Sitzlängseinstellung	203	180	21	120	52	8	44	99	35
Sitzflächenneigung	185	200	19	117	79	4	32	125	39
Rückenlehnenneigung	135	245	24	116	121	8	42	126	93

Tabelle 12:

Angaben zur Nutzung der Speicherpositionen 1 und 2 ohne manuelle Verststellungen laut Tagesfragebogen (100 % bedeutet, dass diese gespeicherte Sitzeinstellung manuell nie verstellt wurde; 0 % bedeutet, dass diese gespeicherte Sitzeinstellung an jedem Tag manuell verstellt wurde)

VP Nr.	Betriebshof 1, Angaben in %				VP Nr.	Betriebshof 2, Angaben in %			
	Sitzhöhe	Sitzposition	Sitzflächenneigung	Rückenlehnenneigung		Sitzhöhe	Sitzposition	Sitzflächenneigung	Rückenlehnenneigung
01	0	64	7	14	13	0	0	0	0
02	-	-	-	-	14	92	92	92	25
03	25	100	25	25	15	53	53	76	59
04	100	96	96	80	16	0	0	73	0
05	0	66	0	0	17	100	100	79	14
06	0	0	0	0	18	31	8	23	31
07	64	100	4	4	19	100	78	100	100
08	0	6	0	0	20	55	36	82	41
09	0	0	0	0	21	-	-	-	-
10	88	56	88	92	22	4	56	16	0
11	78	37	41	22	23	100	100	100	100
12	90	45	50	45	24	80	73	27	60

Mit dem Abschlussfragebogen nach Versuchsende wurde erhoben, ob und welche Grundeinstellungen des Memorysitzes (Sitzposition 1/2) als störend oder unbequem empfunden wurden. Weiterhin sollte die

- Funktionszuverlässigkeit des Memorysitzsystems,
- Position der Bedienelemente des Sitzes,

- Nützlichkeit einer elektronischen Speicherung der Sitzposition
- und Anordnung der Bedienelemente zur Einstellung des Sitzes beurteilt werden.

Abschließend sollte ein Vergleich zwischen dem Memorysitz und den Standardfahrersitzen vorgenommen werden (Tabelle 13).

Tabelle 13:

Ergebnisse der Abschlussfragebögen (1)

n = 19		Betriebshof 1	Betriebshof 2	Gesamt
Hat Sie etwas an der Grundeinstellung des Memorysitzes gestört?	Ja	6	7	13
	Nein	2	3	7
	Keine Angaben	0	1	1
Was hat Sie an der Grundeinstellung des Sitzes gestört?	Sitzhöhereinstellung	4	3	7
	Sitzlängereinstellung	4	3	7
	Sitzflächenneigung	3	1	4
	Rückenlehnenneigung	5	4	9
Wo hatten Sie Beschwerden?	Nacken/ Schulter, oberer Rücken	3	2	5
	Mittlerer Rückenbereich	2	1	3
	Unterer Rückenbereich	2	4	6
	Gesäß	1	1	2
	Oberschenkel	1	2	3
	Knie, Unterschenkel, Füße	2	2	4
Wie zuverlässig hat die automatische Einstellung des Sitzes funktioniert?	Sehr zuverlässig	3	6	9
	Zuverlässig	4	5	9
	Unzuverlässig	1	0	1
	Sehr unzuverlässig	0	0	0
Die Position der Bedienelemente des Sitzes ist ...	Gut erreichbar	1	3	4
	Akzeptabel	3	5	8
	Verbesserungswürdig	4	3	7
	Schlecht erreichbar	0	0	0

n = 19		Betriebshof 1	Betriebshof 2	Gesamt
Die elektronische Speicherung der Sitzposition (Sitzmemory) halte ich für ...	Sehr hilfreich (1)	3	5	8
	(2)	2	4	6
	(3)	1	1	2
	(4)	0	0	0
	(5)	0	1	1
	Nicht notwendig (6)	1	0	1
	Keine Angaben	1	0	1
Die Anordnung der einzelnen Bedienelemente zur Einstellung des Sitzes ist für mich ...	Einfach/logisch/selbsterklärend	7	10	17
	Nach häufigerer Benutzung erst einleuchtend	1	0	1
	Unlogisch/nicht einleuchtend	0	0	0
	Keine Angaben	0	1	1
Wie beurteilen Sie den Sitz im Vergleich zu den Standardfahrersitzen?	Viel schlechter	0	0	0
	Schlechter	0	2	2
	Eher schlechter	1	5	6
	Eher besser	6	3	9
	Besser	0	3	3
	Viel besser	1	0	1

Einige Wochen nach Versuchsende wurden die Probanden mit einem weiteren Fragebogen aufgefordert, den Memorysitz im Nachhinein erneut zu bewerten (Tabelle 14).

Bei beiden Abschlussfragebögen hatten die Probanden auch jeweils die Möglichkeit, z. B. ihre Erfahrungen (positive und negative) und Erwartungen (übertroffene und nicht erfüllte) in Form von Freitexten mitzuteilen. Diese sind in den Anhängen E und F wiedergegeben.

Tabelle 14:
Ergebnisse Abschlussfragebögen (2)

n = 20		Betriebshof 1	Betriebshof 2	Gesamt
Wie beurteilen Sie den Sitz im Vergleich zu den Standardfahrersitzen?	Viel schlechter	0	0	0
	Schlechter	1	0	1
	Eher schlechter	5	3	8
	Eher besser	1	3	4
	Besser	2	4	6
	Viel besser	0	1	1
Wenn Sie jetzt die Wahl hätten, würden Sie sich für einen Memorysitz entscheiden?	Ja	5	8	13
	Nein	3	2	5
	Ist mir egal	1	1	2
Die Sitzeinstellungen der Memorysitze waren auf Ihre persönlichen Körpermaße abgestimmt. Stellen Sie sich den Fahrersitz jetzt anders ein als vorher?	Nein	5	5	10
	Ja	4	6	10
	Weiß nicht genau	0	0	0

3.4 Auswertung der Log-Dateien des Memorysystems

Auf den internen Speichern der Memorysysteme der Fahrersitze wurden alle Verstellvorgänge in Log-Dateien abgespeichert und nach Versuchsende quantitativ ausgewertet. Hatte sich ein Fahrer mit seiner Speicherkarte am Sitz eingeloggt, wurde seine Kartenummer gespeichert und die nachfolgenden Verstellvorgänge konnten dieser zugeordnet werden.

Nach jedem abgeschlossenen Verstellvorgang wurden die resultierenden Sitzpositionen und Sitzwinkel in entsprechenden Einheiten (siehe Abschnitte 2.1 und 2.2) als Log-Datei gespeichert. Auf diese Weise ließ sich nachvollziehen, welcher Fahrer welche Einstellungen wie oft, wie weit und in welche Richtung vorgenommen hatte. So konnte für die vier memorisierten Sitzeinstellungen (Sitzhöhe, Sitzflächenneigung, Rückenlehnenneigung und horizontale Sitzposition) einerseits festgestellt werden, welche Einstellungen bevorzugt eingenommen wurden, und ob und wie die Sitzeinstellungen im Tagesverlauf verändert wurden.

In Tabelle 15 ist für jeden Probanden dargestellt, an wievielen Tagen jeweils Fahrten mit einem Linienbus mit Memorysitz durchgeführt wurden, die Anzahl der im System gespeicherten Sitzpositionen und der Anteil der gespeicherten Sitzeinstellungen, die den Sitzpositionen 1 oder 2 entsprachen. Da der Fahrer die Speicherposition 2 selbst ändern konnte, eine solche Änderung jedoch nicht im System gespeichert wurde, ist aus den Angaben für Speicherposition 2 nur der Anteil für die ursprüngliche Speicherposition 2 ersichtlich. Weiterhin ist zu beachten, dass die Prozentangaben keine Rückschlüsse auf die tatsächliche Verweildauer in der jeweiligen Sitzstellung zulassen, da das Speichersystem keine absoluten Zeitstempel verwendete.

Anhand der Logdateien lassen sich die Verteilungen der gespeicherten Sitzpositionen und Einstellungen darstellen.

Tabelle 15: Nutzungsdauer (in Tagen bzw. Schichten), Anzahl Veränderungen der Sitzposition, prozentualer Anteil der Sitzpositionen 1 und 2 an allen gespeicherten Sitzpositionen

VP Nr.	Anzahl Tage mit Fahrten mit Memorysitz	Betriebshof 1			VP Nr.	Anzahl Tage mit Fahrten mit Memorysitz	Betriebshof 2		
		Anzahl gespeicherter Sitzpositionen	Anteil in %, Sitzposition				Anzahl gespeicherter Sitzpositionen	Anteil in %, Sitzposition	
			1	2				1	2
01	14	327	16	1	13	26	295	8	3
02	-	-	-	-	14	12	102	12	3
03	5	79	9	8	15	17	170	34	4
04	28	876	41	5	16	15	83	14	0
05	6	118	14	0	17	15	220	20	7
06	10	234	4	4	18	26	1 021	7	0
07	30	1 400	10	0	19	9	217	27	1
08	18	311	7	5	20	22	315	6	1
09	4	-	-	-	21	-	-	-	-
10	25	183	29	7	22	25	174	14	0
11	27	501	26	9	23	25	186	34	34
12	22	710	6	2	24	15	85	14	1

In Abbildung 13 sind exemplarisch für einen Probanden die aus Rückenlehnenneigung und Sitzflächenneigung berechneten Sitzöffnungswinkel für den gesamten Versuchszeitraum dargestellt.

Die Winkel aus Sitzposition 1 und 2 sind rot bzw. grün markiert, die Werte der Log-Dateien blau. 40 % der insgesamt 162 gespeicherten Sitzeinstellungen dieses Probanden resultierten somit in einem Sitzöffnungswinkel, der dem der voreingestellten und empfohlenen Sitzeinstellung entsprach. 58 % der Sitzeinstellungen resultierten in einem größeren und 2 % in einem kleineren Öffnungswinkel. Dieser Proband bevorzugte also einen größeren Öffnungswinkel als ursprünglich eingestellt.

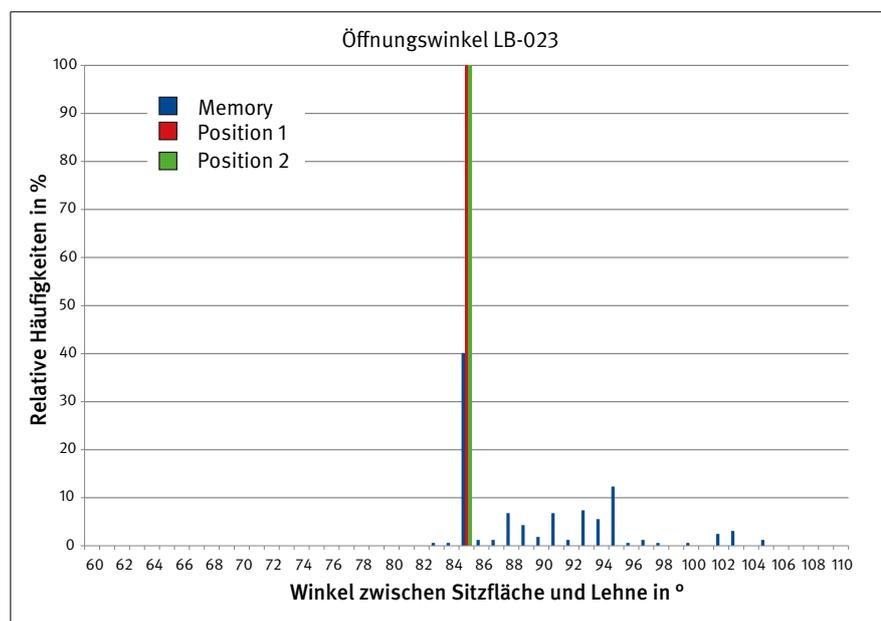


Abbildung 13: Verteilung der Öffnungswinkel zwischen Sitzfläche und Rückenlehne aller gespeicherten Einstellungen (n = 162) für einen Probanden in %

Abbildung 14 zeigt die in Abbildung 13 für nur einen Probanden dargestellten Werte für alle Probanden und alle memorisierten Sitzeinstellungen (Sitzflächenneigung, Sitzhöhe, Sitzposition sowie die berechneten Werte für den Sitzöffnungswinkel). Abweichungen zwischen 1 und 4° (bzw. 1 und 4 mm) von der Speicherposition 1 sind als gelbe Balken dargestellt, größere Abweichungen als 4° bzw. 4 mm als rote Balken.

Die Summe der Abweichungen kleiner oder gleich 4° bzw. 4 mm (Summe der grünen und gelben Balken), die als noch im Rahmen von Messungenauigkeiten liegend interpretiert werden können, beträgt 68 % (Sitzöffnungswinkel), 73 % (Sitzflächenneigung), 89 % (Sitzhöhe) und 71 % (Sitzposition). Die gemeinsam mit den Fahrern eingestellte Sitzposition 1 wurde somit zu einem Großteil angenommen und nur wenig verändert.

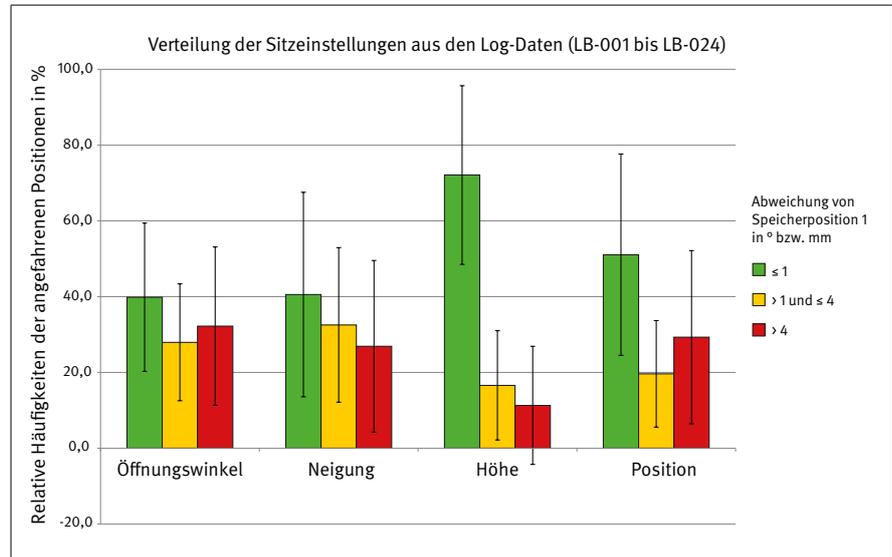


Abbildung 14: Übereinstimmung aller gespeicherten Sitzpositionsdaten im Fahrbetrieb mit den auf Speicherposition 1 gespeicherten Sitzdaten

4 Diskussion

Die 24 Linienbusfahrer, die an den Feldversuchen teilgenommen haben, deckten mit ihren Körpermaßen die in DIN 33402 angegebenen Perzentilbereiche der 18 bis 65 Jahre alten männlichen Bevölkerung in Deutschland nahezu vollständig ab. Lediglich die Maße der „Reichweite nach vorn“, der „Bauchtiefe“ und des „Körpergewichts“ wichen hiervon ab. Während bei der Armreichweite der Wert des 5-Perzentils nicht ganz erreicht ($P5_{\text{Probanden}} = 705 \text{ mm}$, $P5_{\text{DIN-Norm}} = 685 \text{ mm}$) wurde, zeigen die Verteilungen in der Bauchtiefe und im Körpergewicht eine deutliche Rechtsverschiebung des Mittelwerts hin zu höheren Werten. Angesichts des bewegungsarmen Tätigkeitsprofils eines Liniensbusfahrers und der Ergebnisse aus anderen Untersuchungen (z. B. Projekt 4086, siehe Teil B dieses Reports) ist dies jedoch kein überraschendes Ergebnis und man kann bei der Anthropometrie des Probandenkollektivs von einer repräsentativen Stichprobe ausgehen.

Die angestrebte Fahrersitzeinstellung beruhte auf den Vorgaben der VDV-Schrift 234, die eine aus arbeitsmedizinischer Sicht optimale Körperhaltung für eine sitzende Fahrtätigkeit empfiehlt. Es war jedoch nicht immer ausnahmslos möglich, alle empfohlenen Körperwinkel zu erreichen. Dies beruhte einerseits auf der vorgefundenen Kombination aus Einbauposition und -lage in den Fahrzeugen und den verwendeten Fahrersitzen. Andererseits musste auch auf das Empfinden der Fahrer Rücksicht genommen werden, die die empfohlene Körperhaltung und Gelenkwinkel teilweise nicht akzeptieren konnten und/oder wollten.

Ersteres betraf zu einem großen Teil die Sitzhöhe, die mehrfach deutlich tiefer hätte eingestellt werden müssen, um den geforderten Oberschenkel- und Kniewinkel zu erreichen. Hier wäre ein erweiterter Verstellbereich hin zu einer niedrigeren Sitzposition erforderlich gewesen, was auch aus der Verteilung der Sitzflächenhöhe (Tabelle 6) zu entnehmen ist. Der Maximalwert betrug 617 des 1 000 Einheiten großen Verstellbereichs der Sitzhöhe; nur fünf Probanden veränderten die minimal einstellbare Sitzhöhe der Sitzposition 1 überhaupt nach oben hin. Damit lässt sich auch die geringe Übereinstimmung (33 %) des geforderten Oberschenkelwinkels (siehe Tabelle 5) mit dem tatsächlichen Oberschenkelwinkel in Sitzposition 1 erklären. 66 % der Probanden wiesen demnach in Sitzposition 1 einen größeren als den geforderten Oberschenkelwinkel auf. Die scheinbar hohe Akzeptanz der Sitzhöhe (siehe Abbildung 14) muss unter diesen Bedingungen relativiert werden. Die geforderte tiefere Sitzposition steht zudem im Gegensatz zu der mehrfach von den Fahrern geäußerten Meinung, die tiefe Sitzposition schränke die Sicht auf Bereiche direkt vor dem Fahrzeug ein und wirke sich zudem unvorteilhaft auf den Kontakt mit den Fahrgästen aus.

Der Kniewinkel der gespeicherten Sitzposition 1 entsprach in 71 % der Fälle der VDV-Empfehlung von 110 bis 120°, bei 21 % der Probanden wurde auf deren Wunsch ein etwas kleinerer Winkel eingestellt. Der geforderte Oberkörperwinkel von -10 bis -20° wurde von nahezu allen Probanden (96 %) in Sitzposition 1 eingestellt und akzeptiert. Eine prozentual größere Abweichung

musste beim Hüftwinkel (Übereinstimmung in 58 % der Fälle der Sitzposition 1) realisiert werden (VDV-Empfehlung: 100 bis 115°). 33 % der Probanden forderten eine aufrechtere Sitzhaltung mit kleinerem Hüftwinkel.

Die Log-Dateien der Memorysitzsysteme, in denen im Fahrbetrieb jede Sitzverstellung aufgezeichnet wurde, wiesen darauf hin, dass vom Sitzverstellungssystem reger Gebrauch gemacht wurde, was auch den Angaben der Probanden (siehe Ergebnisse Tagesfragebögen, Tabellen 11 und 12) entspricht. Im Mittel wurden pro Schicht 17 Sitzverstellungen registriert (Min 7, Max 47). Dies belegt, dass eine einmal gewählte Sitzeinstellung nicht dauerhaft genutzt, sondern ein „aktives Sitzen“ mit mehreren unterschiedlichen Sitzeinstellungen bevorzugt wurde. Von allen gespeicherten Sitzeinstellungen während des Fahrbetriebs entsprachen dabei je Fahrer 4 bis 41 % der Sitzposition 1. Im Mittel wurde die Sitzposition 1 in 17 % aller Sitzeinstellungen eingenommen und erfuhr damit bemerkenswerterweise eine höhere Akzeptanz als die Sitzposition 2 (MW 5 %, Min 0%, Max 34%), die während des Sitzeinstellungsverfahrens von den Fahrern bevorzugt wurde. Die Ergebnisse aller gespeicherten Sitzpositionen in Abbildung 14 zeigen, dass die voreingestellten Sitzpositionen mit Abweichungen von bis zu 4° bzw. 4 mm (grüner und gelber Balken) 70 % (Sitzöffnungswinkel), 73 % (Sitzflächenneigung), 88 % (Sitzhöhe) und 70 % (Sitzposition) ausmachen, also grundsätzlich weitestgehend akzeptiert und nur wenig verändert wurden. Die Ergebnisse der zweiten Abschlussbefragung einige Wochen nach Versuchsende zeigen zudem eine relativ hohe Akzeptanz der vorgeschlagenen Sitzposition: 50 % der Probanden gaben an, dass sie ihren herkömmlichen Standard-sitzfahrersitz nun anders einstellen würden als vor der Versuchsreihe. Dies kann auch als Indiz dafür gewertet werden, dass den Fahrern im Linienbusbetrieb eine – möglicherweise auch in mehrjährigen Intervallen wiederholte – Schulung zur Sitzeinstellung für eine ergonomische Sitzhaltung angeboten werden sollte. Eine solche zeit- und personalaufwendige Schulung kann aber, wie in dieser Untersuchung gezeigt, durch ein Fahrersitzsystem mit Memoryfunktion ersetzt werden. Der Zeitaufwand bei Einsatz eines Sitzmemorysystems beschränkt sich dann auf das Verfahren zur individuellen Sitzeinstellung.

Um ein solches Verfahren zu vereinfachen, wäre es von großem Nutzen, wenn sich die Sitzeinstellung anhand der reinen anthropometrischen Daten eines Fahrers bestimmen ließe. Die Korrelationsmatrizen der anthropometrischen Daten und der korrespondierenden Sitzeinstellungen und Körperhaltung/-gelenkwinkeln legten jedoch nahe, dass einfache Zusammenhänge zwischen Körpermaßen und Sitzeinstellungen nicht anzunehmen sind.

Einerseits spielen vermutlich weitere, hier unberücksichtigte Faktoren wie z. B. anatomische Besonderheiten (Muskel- und Fettverteilung, Rundrücken), persönliche Vorlieben/Gewöhnung an bestimmte Sitzhaltungen und vieles mehr eine Rolle. Andererseits kann man auch nicht davon ausgehen, dass die gleiche Sitzeinstellung bei gleichem Fahrer zu unterschiedlichen

Zeitpunkten die exakt gleiche Körperhaltung hervorruft. Bei gleicher Sitzeinstellung bewirkt z. B. eine horizontale Verschiebung der Hüfte nach vorne (wenn der Fahrer etwas weiter vorne auf der Sitzfläche sitzt) eventuell eine Vergrößerung des Oberkörperwinkels, eine veränderte Rückenneigung und einen verringerten Knie- und Fußgelenkwinkel. Die in dieser Untersuchung ungenutzten weiteren Verstellmöglichkeiten des Sitzes (z. B. pneumatische Schulteranpassung und Rückenlehnenkontur) können bei Benutzung ebenfalls eine Änderung des Oberkörperwinkels und der Sitzhaltung hervorrufen. Ein weiterer Faktor ist die Verstellmöglichkeit der Lenkkonsole. Da diese in Höhe, Abstand und Winkel zwar variabel, aber nicht rekonstruierbar verändert werden kann, kann sich diese Variable ebenfalls auf die Körperhaltung auswirken. Auch die Tagesform/Körperspannung hat bei gleicher Sitzeinstellung einen Einfluss auf die Haltung z. B. des Oberkörpers. Dies sind aber grundsätzliche Probleme bei Sitzarbeitsplätzen, da der Beschäftigte nicht auf seinem Sitz fixiert werden sollte. Weiterhin haben die Bekleidung (z. B. Jacke und Pullover vs. Hemd) und die Schuhe (Absatzhöhe) einen Einfluss auf die Körperhaltung. Bei identischer Sitzeinstellung können durch solche Variablen durchaus abweichende Körperhaltungen resultieren.

Anzustreben ist in jedem Falle eine Grundeinstellung des Sitzes, die eine gesundheitlich unbedenkliche Sitzhaltung ermöglicht, begünstigt und unterstützt. Um diesem Ziel näher zu kommen, scheint es unter den vorliegenden Bedingungen und dem derzeitigen Datenbestand erforderlich, die persönliche Sitzeinstellung mit jedem Fahrer individuell zu erarbeiten und anzuwenden. Die Verwendung von ausschließlich anthropometrischen Werten zur Generierung einer Sitzeinstellung auf mathematischem Weg scheint aufgrund der oben genannten Einflussfaktoren nicht praktikabel zu sein.

Die Diagramme in den Abbildungen 8, 10, 11 und 12 zu den Zusammenhängen zwischen Sitzposition – Körperhöhe, Hüftwinkel – Sitzöffnungswinkel, Oberkörperwinkel – Rückenlehnenneigung und Oberschenkelwinkel – Sitzflächenneigung liefern jedoch jeweils Sitzeinstellbereiche, mit denen eine individuelle Sitzeinstellung begonnen werden kann. Diese Sitzeinstellbereiche können allerdings zunächst nur für die in dieser Studie verwendete Kombination aus Fahrzeug- und Fahrersitztyp verwendet werden. Bei abweichenden Positionen der Sitzbefestigungspunkte im Fahrzeug und/oder unterschiedlichen Fahrzeugsitzen (z. B. abweichende Geometrie, unterschiedliche Polsterung, andere Schwingungsdämpfung, abweichende Sitzbefestigungspunkte) können möglicherweise andere Sitzeinstellbereiche resultieren.

5 Vorgehensweise zur (teil-)automatischen individuellen Sitzeinstellung

In der Idealvorstellung sollte es möglich sein, die auf den Körperwinkeln basierende ergonomisch ideale Sitzhaltung, ausgehend von den individuellen anthropometrischen Werten, automatisch zu generieren. Das heißt, eine automatische Einstellung des Fahrersitzes sollte anhand einiger Körpermaße rein rechnerisch zu ermitteln sein. Beispielsweise sollte ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der idealen Höhe des Fahrersitzes und dem anthropometrischen Maß der Sitzflächenhöhe des Fahrers darstellbar sein. Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigten jedoch, dass dies unter den vorgegebenen Bedingungen nicht realisierbar ist. Eindeutige lineare Zusammenhänge zwischen einzelnen Körpermaßen und Sitzeinstellungen lagen nicht vor.

Deshalb scheint es erforderlich, die individuellen Sitzeinstellungen manuell am realen Bus oder einem Mock-Up vorzunehmen. Nachfolgend wird ein gestuftes Vorgehen für ein Sitzeinstellungsverfahren vorgeschlagen (die angegebenen Werte für die Sitzposition und Sitzhöhe können allerdings nur für die in dieser Studie verwendete Kombination aus Fahrzeug- und Sitztyp angewendet werden, da die Sitzmaße, Einbaupositionen und Verstellbereiche von Hersteller zu Hersteller variieren und dementsprechend abweichen könnten):

1. Der Fahrer nimmt auf dem Fahrersitz Platz. Dieser sollte in Nullposition (ganz hinten, ganz unten, Rückenlehne leicht nach hinten geneigt) stehen, um ein bequemes Einsteigen zu ermöglichen.
2. Einstellung der Sitzflächentiefe (Gesäß an Rückenlehne anstoßend, drei Fingerbreit Platz zwischen Kniekehle und Sitzvorderkante)
3. Festlegung und Einstellung einer vorläufigen Ausgangseinstellung des Sitzes:
 - Sitzhöhe¹ = 0
 - Sitzposition¹ = $1,4748 \cdot \text{Körperhöhe (mm)} - 1976,9$
 - Rückenlehnenneigung 4 bis 5° nach hinten
 - Sitzflächenneigung 4° vorne ansteigend
4. Positionierung des rechten Fußes auf dem Gaspedal in Fahrstellung (Ferse auf Fersenpunkt vor dem Gaspedal)
5. Sitzlängs- und SitzhöhenEinstellung variieren, bis
 - Fußgelenkwinkel zwischen 80 und 105°
 - Kniewinkel zwischen 110 und 120°

6. Kontrolle der Körperwinkel und Korrektur der Sitzeinstellung:
 - Oberkörperwinkel zwischen 10 und 20° nach hinten geneigt (Rückenlehne)
 - Oberschenkelwinkel zwischen 0 und 15° nach vorne ansteigend (Sitzhöhe, Sitzflächenneigung)
 - Hüftwinkel (Winkel zwischen Oberschenkel und Oberkörper) zwischen 100 und 115° (Rückenlehne, Sitzflächenneigung)
 - Kniewinkel zwischen 110 und 120° (Sitzhöhe, Sitzposition)
 - Fußgelenkwinkel zwischen 80 und 105° (Sitzhöhe, Sitzposition)
7. Einstellung der Lenkkonsole (Ellenbogenwinkel zwischen 95 und 135°)
8. Überprüfung aller Körperwinkel mit Körperwinkelschablone
9. ggf. Punkte 6. bis 8. wiederholen
10. Sitzdaten auf persönlicher Memorykarte speichern

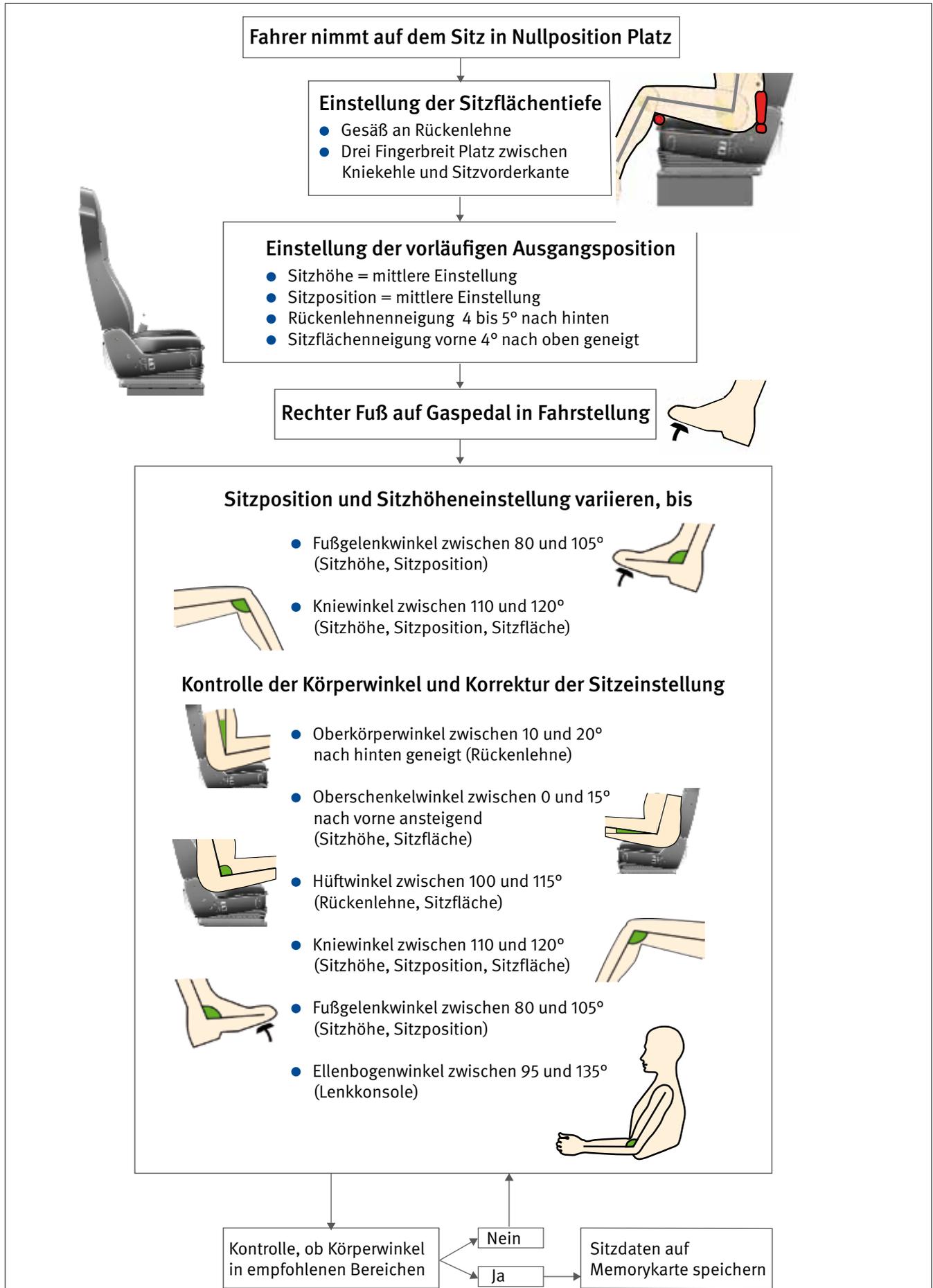
Das Ablaufdiagramm in Abbildung 15 können die Sitzeinstellung begleitende Personen (z.B. Betriebsarzt, Fahrlehrer, Ausbilder ...) als Merkblatt verwenden.

Eine Übertragbarkeit der Sitzeinstellung zu einem anderen Fahrzeug ist allerdings nur bei identischer Einbausituation der Sitze und gleichem Sitzfabrikat gegeben. Nur mit exakten Maßangaben oder standardisierten Sitzbefestigungspunkten (z. B. horizontaler und vertikaler Abstand der Sitzbefestigung vom Fersenpunkt im Fahrzeug) von Fahrzeugherstellern sowie der Kenntnis von z. B. horizontalem und vertikalem Abstand des Hüftpunktes von den Befestigungspunkten des Sitzes, ließen sich Sitzpositionen für andere Fahrzeuge/Sitze rechnerisch ermitteln. Eine Kontrolle der resultierenden Körperhaltung des Fahrers wäre aber aufgrund der vielen Einfluss nehmenden Variablen (siehe auch Kapitel 4) unverzichtbar.

Welchen Effekt unterschiedliche Körpermaße bei gleicher Sitzeinstellung und/oder Änderungen an den Sitzeinstellungen auf die Körperhaltung haben können, soll mit einem kleinen Tool demonstriert werden. Dieses Tool wird zur Präventionskampagne „Denke an mich. Dein Rücken.“ auf den Internetseiten des IFA (www.dguv.de/ifa) verfügbar sein.

¹ Wert nur gültig für die in dieser Studie verwendete Kombination aus Fahrzeugtyp und Sitztyp!

Abbildung 15:
Ablaufdiagramm für Sitzeinstellungsverfahren



6 Zusammenfassung

Im Projekt wurden bei 24 Linienbusfahrern die für eine Sitzeinstellung relevanten Körpermaße bestimmt. Anschließend wurde mit diesen Fahrern deren persönliche ergonomisch optimierte Sitzeinstellung, beruhend auf den Empfehlungen des VDV, ermittelt. Die resultierende Rückenlehnenneigung, Neigung der Sitzfläche, die Sitzflächenhöhe und horizontale Sitzposition wurden auf einem Sitz mit Memoryfunktion eingestellt und auf einer Speicherkarte gespeichert, die den Fahrern ausgehändigt wurde. Die Einstellungen und Änderungen der Sitzeinstellungen während des anschließenden Fahrbetriebs wurden zur nachfolgenden Auswertung aufgezeichnet. Mit täglich auszufüllenden Fragebögen und allgemeinen Abschlussfragebögen wurden die Erfahrungen mit dem Memorysitz und der persönlichen Sitzposition und -haltung abgefragt. Anhand der Körpermaße und der korrespondierenden Sitzeinstellungen sollte eine Methode zur schnellen und individuellen ergonomischen Sitzeinstellung entwickelt werden. Die Ergebnisse der Versuche und der begleitenden Fragebögen wurden statistisch ausgewertet.

Die Einstellung des Sitzes konnte nicht immer für alle Körperwinkel nach den VDV-Vorgaben erfolgen, da einerseits der Verstellbereich der Sitzhöhe nach unten nicht ausreichend groß war und andererseits einige Fahrer mit der empfohlenen Sitzeinstellung nicht einverstanden waren und diese ablehnten. In solchen Fällen wurde ein Kompromiss aus gewünschter und empfohlener Sitzeinstellung und Körperhaltung gefunden, der den VDV-Empfehlungen möglichst nahe kam.

Der Prototyp des Memorysitzsystems funktionierte im Linienbetrieb ausgesprochen störungsarm; technische Probleme wurden kaum registriert oder berichtet.

Die vorgegebenen persönlichen Sitzeinstellungen wurden nach der Versuchszeit zunächst relativ negativ beurteilt (13 negative Bewertungen, sieben positive Bewertungen, eine ohne Angaben). Sieben Fahrer bemängelten die Sitzhöhe, ebenso viele die Sitzlängseinstellung. Die Sitzflächenneigung empfanden vier Fahrer als unbequem und die eingestellte Rückenlehnenneigung stieß bei neun Fahrern auf Ablehnung.

Grundsätzlich wurde die elektronische Speicherung der Sitzeinstellung sehr positiv beurteilt (16 positive, drei negative Stimmen); vor allem die erfahrene Zeitersparnis bei Arbeitsbeginn und Fahrerwechsel wurde positiv hervorgehoben.

Im Vergleich mit den zurzeit verwendeten Standardsitzen schnitten die Memorysitze knapp positiv ab. Eine Beurteilung des Memorysitzsystems direkt im Anschluss an die Versuche ergab 13 positive und acht negative Bewertungen. Die wiederholte Befragung einige Wochen nach Versuchsende ergab ein ähnliches Bild (elf positive, neun negative Bewertungen).

Deutlich positiv war die Beurteilung, als die Fahrer einige Wochen nach Versuchsende vor die fiktive Wahl gestellt wurden, sich zwischen einem Standard- und einem Memorysitz zu entscheiden. 13 Fahrer hätten sich zu diesem Zeitpunkt für den

Sitz mit Memorysystem entschieden, fünf Fahrer hätten den bisherigen Fahrersitz bevorzugt und zwei Fahrer gaben keine eindeutige Präferenz an.

Die relativ geringe Akzeptanz und teilweise Ablehnung der Sitzeinstellungen zu Versuchsbeginn kann auf mehreren Faktoren beruhen:

- Die Umstellung von einer gewohnten, z. T. jahrelang eingenommenen herkömmlichen Sitzhaltung auf eine ergonomisch optimierte Sitzhaltung kann zu Problemen bei der Umstellung und einer ablehnenden Meinung zur neuen Sitzhaltung und zum Memorysitzsystem führen.
- Neben der Umstellung auf eine neue Sitzhaltung mussten sich die Fahrer gleichzeitig an ein neues Fahrersitzmodell mit z. T. anderer Polsterung, Schwingungsdämpfung und Oberflächenbeschaffenheit (Sitzbezug) gewöhnen.
- Die Sitzflächenhöhe konnte aufgrund des nach unten nicht ausreichenden Verstellbereichs teilweise nicht ideal eingestellt werden.

Eine automatische Berechnung individueller Sitzeinstellungen anhand anthropometrischer Maße ist bei derzeitiger Datenlage aufgrund nur geringer Korrelationen zwischen Körpermaßen und Sitzeinstellungen nur bedingt realisierbar. Eine expertenbetreute Einstellung des Fahrersitzes in der realen Arbeitsumgebung (z. B. bei Neueinstellung, Ausbildung und ähnlichen Gelegenheiten) oder in einem maßstabsgetreuen Modell der Fahrerkabine inklusive Sitz ist ohnehin unumgänglich, um sicherstellen zu können, dass die gespeicherte Sitzeinstellung die empfohlene Körperhaltung ermöglicht und unterstützt. Der Mehraufwand für Messgeräte, Messzeit und Messtraining, der durch anthropometrische Messungen verursacht würde, steht auch aus diesem Grund in einem Missverhältnis zum erwartbaren Mehrwert. Mit den gemessenen Verstellbereichen des repräsentativen Probandenkollektivs lassen sich jedoch näherungsweise Positionen und Winkelbereiche für die Rückenlehnenneigung, Sitzflächenneigung und Sitzposition ermitteln, die als Ausgangsbasis für den manuellen Einstellungsvorgang von den mit der ergonomischen Sitzeinstellung beauftragten Experten genutzt werden können. Bei anderen als in dieser Untersuchung verwendeten Kombinationen von Sitz- und Fahrzeugtypen können jedoch aufgrund von möglicherweise unterschiedlicher Einbaupositionen, Sitzverstellbereichen und Sitzbefestigungspunkten abweichende Werte für die hier ermittelte Ausgangsposition resultieren. Der individuellen Überprüfung der Körperwinkel nach Einstellung der ergonomischen Sitzposition kommt damit eine noch größere Bedeutung zu. Die beschriebene generelle Vorgehensweise zur individuellen Sitzeinstellung hat jedoch einen allgemeingültigen Charakter und kann bei jedem Busfahrerarbeitsplatz Anwendung finden.

7 Literatur

- [1] *Ell, W.*: Arbeitszeitverkürzung zur Belastungsreduzierung bei älteren Mitarbeitern im öffentlichen Personennahverkehr. In: *Karazman, R.; Geissler, H.; Kloimüller, I.; Winkler, N.* (Hrsg.): Betriebliche Gesundheitsförderung für älter werdende Arbeitnehmer. Gamburg: Verlag für Gesundheitsförderung G. Conrad 1995, S. 160-170
- [2] *Marx, M.*: Optimierung des Fahrer Arbeitsplatzes im Niederflur-Linienbus. Schriftenreihe Automobiltechnik des Instituts für Kraftfahrwesen Aachen, 1996
- [3] Fahrer Arbeitsplatz im Niederflur-Linienbus. VDV-Schrift 234. Hrsg.: Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), Köln 2000
- [4] DIN 33402-1: Ergonomie – Körpermaße des Menschen – Teil 1: Begriffe, Messverfahren. Beuth, Berlin 2008
- [5] *Okunribido, O. O.; Shimbles, S. J.; Magnusson, M.; Pope, M.*: City bus driving and low back pain: A study of the exposures to posture demands, manual material handling and whole-body vibration. *Appl. Ergon.* 38 (2007) Nr. 1, S. 29-38
- [6] *Dangelmaier, M.*: Ein Verfahren zur ergonomischen Bewertung des Fahrer Arbeitsplatzes von Personenkraftwagen. Dissertation Universität Stuttgart, 2001
- [7] *Grujicic, M.; Pandurangan, B.; Xie, X.; Gramopadhye, A. K.; Wagner, D.; Ozen, C.*: Musculoskeletal computational analysis of the influence of car-seat design/adjustments on long-distance driving fatigue. *Int. J. Ind. Ergonom.* 40 (2010), S. 345-355
- [8] *Lorenz, S.; Kaiser, R.; Assmann, E.; Engstler, F.; Zöllner, R.*: Ergonomieabsicherung im Fahrzeug mittels Mixed Reality: Beeinflussung der Sitzposition durch die Vorgehensweise bei der Sitzeinstellung. *Z. Arb. Wiss.* 62 (2008) Nr. 1, S. 3-14
- [9] *Ellegast, R.; Hermanns, I.; Schiefer, C.*: Feldmesssystem CUELA zur Langzeiterfassung und -analyse von Bewegungen an Arbeitsplätzen. *Z. Arb. Wiss.* 64 (2010) Nr. 2, S. 101-110
- [10] *Sachs, L.*: Angewandte Statistik. 11. Aufl. Springer, Berlin 2003
- [11] DIN 33402-2: Ergonomie – Körpermaße des Menschen – Teil 2: Werte. Beuth, Berlin 2005

Anhang A: Protokoll Probandendaten

Probanden-ID:

Persönliche Daten:

Alter Jahre

Geschlecht ♀ ♂

Händigkeit links rechts

Fahrpraxis (im Linienbus) Jahre

Körpermaße (nach DIN 33402-1)

1.4 Körperhöhe mm

1.1 Reichweite nach vorn (Griffachse) mm

2.1 Körpersitzhöhe mm

2.3 Schulterhöhe im Sitzen mm

2.6 Sitzflächenhöhe mm

2.8 Gesäß-Kniekehlen-Länge (Sitztiefe) mm

2.9 Gesäß-Knielänge mm

2.10 Gesäß-Beinlänge mm

Bauchtiefe mm

Körperhöhe (mit Schuhen) mm

Gesäß-Beinlänge (mit Schuhen) mm

Sitzflächenhöhe (mit Schuhen) mm

Körpergewicht kg

Vorerkrankungen des Muskel-Skelett-Systems

.....
.....

Anhang B: Fragebogen Tagesprotokoll vor Fahrtantritt und nach Fahrtende

B1: Fragebogen Tagesprotokoll vor Fahrtantritt

Probanden-ID:

Bitte beantworten Sie diese Fragen **vor** Fahrtantritt mit einem der Omnibusse mit Memorysitz.

Haben Sie körperliche Beschwerden bei Fahrtantritt?

	keine (a)	leichte (b)	mittlere (c)	starke (d)
Nacken, Schulter, oberer Rückenbereich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
mittlerer Rückenbereich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
unterer Rückenbereich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gesäß	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Oberschenkel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Knie, Unterschenkel und Füße	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

B2: Fragebogen Tagesprotokoll nach Fahrtende

Probanden-ID:

Bitte beantworten Sie diese Fragen **nach** Ende der Fahrt mit einem der Omnibusse mit Memorysitz.

Haben Sie heute Ihren Sitz evtl. mehrfach verstellt?

	keinmal	1 mal	2-4 mal	> 4 mal	Einstellungsrichtung (s. Abbildung auf der Rückseite)		
Sitzhöhe	<input type="checkbox"/> höher	<input type="checkbox"/> tiefer	<input type="checkbox"/> höher und tiefer				
Sitzlängseinstellung	<input type="checkbox"/> vor	<input type="checkbox"/> zurück	<input type="checkbox"/> vor und zurück				
Sitzflächenneigung	<input type="checkbox"/> vorne höher	<input type="checkbox"/> vorne tiefer	<input type="checkbox"/> höher und tiefer				
Rückenlehnenneigung	<input type="checkbox"/> nach vorne	<input type="checkbox"/> nach hinten	<input type="checkbox"/> vor und zurück				

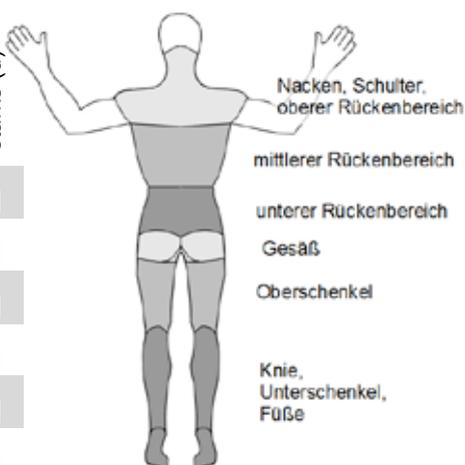
Wie lange haben Sie den Memorysitz heute genutzt? Stunden

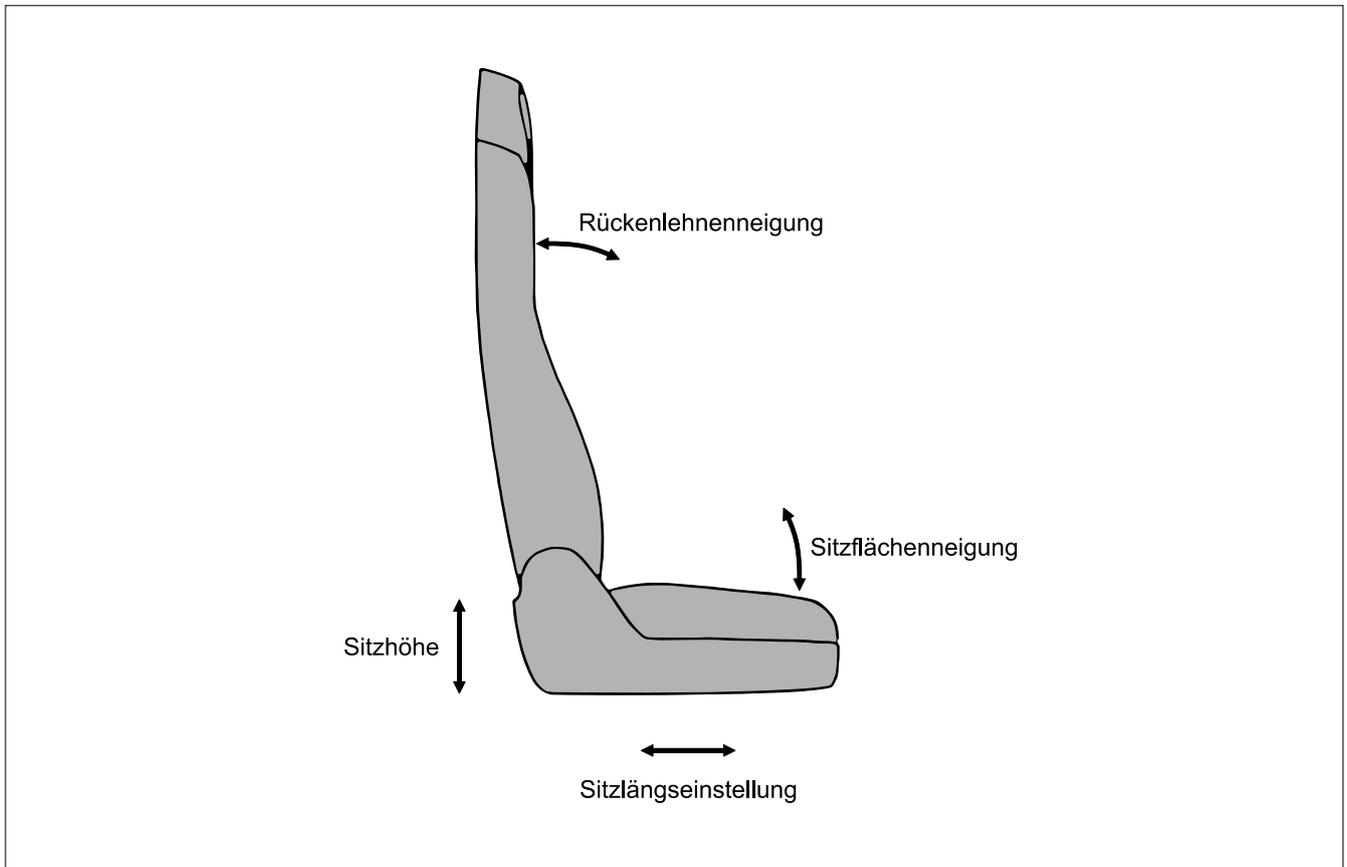
Hat die automatische Einstellung des Memorysitzes heute fehlerfrei funktioniert?

- Ja
- Nein, Folgendes hat nicht funktioniert.

Haben Sie körperliche Beschwerden nach Fahrtende?

	keine (a)	leichte (b)	mittlere (c)	starke (d)
Nacken, Schulter, oberer Rückenbereich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
mittlerer Rückenbereich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
unterer Rückenbereich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gesäß	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Oberschenkel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Knie, Unterschenkel und Füße	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>





Anhang C: Fragebogen Abschlussbefragung 1

Probanden-ID: «Proband»

Hat Sie etwas an der Grundeinstellung des Memorysitzes gestört?

Nein

Ja, die

Sitzhöhe

Sitzlängseinstellung

Sitzflächenneigung

Rückenlehnenneigung

Ich habe geändert:

Sitzhöhe

Sitzlängseinstellung

Sitzflächenneigung

Rückenlehnenneigung

Wo hatten Sie Beschwerden?

Nacken, Schulter, oberer Rückenbereich

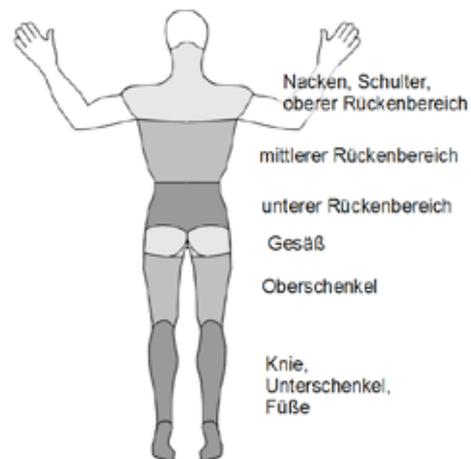
mittlerer Rückenbereich

unterer Rückenbereich

Gesäß

Oberschenkel

Knie, Unterschenkel und Füße



Wie zuverlässig hat die automatische Einstellung des Sitzes funktioniert?

sehr zuverlässig

zuverlässig

unzuverlässig

sehr unzuverlässig

Die Position der Bedienelemente des Sitzes ist ...

gut erreichbar.

akzeptabel.

verbesserungswürdig.

schlecht erreichbar.

Eine elektronische Speicherung der Sitzposition („Sitzmemory“) halte ich für ...

sehr hilfreich

1

2

3

4

5

6

nicht notwendig

Sollten weitere Funktionen des Sitzes memorisiert werden?

Nein

Sitzflächentiefe, weil

....., weil

Die Anordnung der einzelnen Bedienelemente zur Einstellung des Sitzes ist für mich, ...

- einfach/logisch/selbsterklärend
- nach häufigerer Benutzung erst einleuchtend
- unlogisch/nicht einleuchtend

**Wie beurteilen Sie den Memorysitz im Vergleich zu den BVG-Standard-Fahrersitzen?
Dieser Sitz ist:**

- viel schlechter, weil, ...
- schlechter,
- eher schlechter,
- eher besser,
- besser,
- viel besser,

Anhang D: Fragebogen Abschlussbefragung 2

Sehr geehrte Teilnehmer,

Sie hatten sich vor einiger Zeit dazu bereit erklärt, an der Untersuchung „Sitzmemory im Linienbus“ teilzunehmen. Nochmals vielen Dank dafür!

Nachdem nun einige Wochen seit Ihrer letzten Fahrt mit einem Linienbus mit Memorysitz vergangen sind, möchten wir Ihnen gerne erneut ein paar Fragen stellen:

Wie beurteilen Sie heute den Memorysitz im Vergleich zu den BVG-Standard-Fahrsitzen?

Dieser Sitz war:

- viel schlechter, schlechter, eher schlechter, eher besser, besser, viel besser,
- weil:

Wenn Sie jetzt die Wahl hätten, würden Sie sich für einen Memorysitz entscheiden?

- Nein Ja ist mir egal

Die Sitzeinstellungen der Memorysitze waren auf Ihre persönlichen Körpermaße abgestimmt. Stellen Sie sich Ihren Fahrersitz jetzt anders ein als vorher?

- Ja, ich achte jetzt mehr auf: Ich weiß nicht genau
- Nein, ich stelle mir den Sitz genauso ein wie vor der Untersuchung

Anhang E: Probandenangaben aus Abschlussfragebogen 1

Probandenantworten aus Abschlussfragebogen 1

- Die optimale Sitzposition stellt sich ein.

- Die Einstellung variiert zwar nach Tagesform, es geht aber trotzdem viel schneller, bis die richtige Sitzposition gefunden ist.

- Sitzhöhe müsste tiefer einzustellen gehen.
- weniger Einstellungsmöglichkeiten und die vorhandenen nicht so gut einstellbar

- Sitzhöhe müsste tiefer einzustellen gehen.
- Sitzflächenneigung müsste schräger nach unten einzustellen gehen.
- Sitzlängseinstellung müsste weiter nach hinten einzustellen gehen.

- Das lästige Einstellen mit den Hebeln und Tasten entfällt.

- Bin mit der Grundeinstellung des Sitzes auf Pos. 1 nicht zurechtgekommen, musste öfters nachstellen.
- halte aber die Memory-Funktion für gut, solange alles funktioniert.
- Den Sitzbezug finde ich nicht ideal, da im Sommer schweißtreibend.
- Den Nackenbereich kann man doch einstellen, hatte ich beim ersten Test bemängelt.
- Die Sitze in den neuen Low-Entry-Bussen sind für mich das Optimum, leichte Handhabung und haben alle Funktionen, die man als Fahrer braucht.

- gleichwertig

- Je länger der Dienst, umso öfter muss ich den Sitz verstellen.
- Habe teils/teils körperliche Beschwerden, was beim BVG-Standardfahrsitz nicht ist.

- moderner und elektrisch einzustellen.
- besser: Sitzkomfort weil neu
- Bedenken: bei elektrischen Defekt ist eine Einstellung nicht möglich? Ausfall des Fahrzeugs.
- Ansprechverhalten der Stellmotoren träge und nicht so sensibel wie bei manueller Einstellung dadurch öfter nachjustiert als bei alten Sitzen, auch an Haltestellen und beim Lenken.

- Einstellung oberer Rückenbereich schlecht justierbar
- Position Schalter für Luftkissen
- Sitzhärte auf der anderen Seite schlecht erreichbar
- Sitzheizung/-lüftung fehlt

- Ich bekam öfter Rückenschmerzen.

- gut gepolstert, gewaltlose Einstellung, Fazit: Super Sitz

Anhang F: Probandenangaben aus Abschlussfragebogen 2

Probandenangaben aus Abschlussfragebogen 2

- Die Sitzposition passte fast genau.
 - Ich konnte nicht tief genug sitzen und so nicht die Einstellungen, die ich normal mache, einstellen.
 - Außerdem funktionierten die von mir gespeicherten Einstellungen eher selten bei dem nächsten Wagen.
 - Es ist für mich genauer, mit Hebel einzustellen als mit dem schnell reagierenden elektrischen Knopf.
 - einfache Einstellung des Sitzes (da Automatik)
 - Der Sitz stellt sich automatisch auf meine Bedürfnisse ein.
 - Die Memoryfunktion erleichtert das Arbeiten besonders beim Ablösen.
 - Den Bezugsstoff fand ich aber nicht ideal, außerdem hat mir die Klimafunktion gefehlt. Ansonsten ist der Sitz ganz OK.
 - Sitzfläche zu schmal, je länger ich den Sitz benutzt habe, desto öfter musste ich den Sitz umstellen (das brauchte ich beim BVG-Standardsitz nicht tun).
 - Vorteile beim Ablösen
 - Luftkisseneinstellung für Wirbelsäule linksseitig schlecht bedienbar
 - Einstellung oberer Rückenbereich über Luft schlecht justierbar (Pneumatikschalter vorhanden)
 - Kombination aus Sitzheizung und -lüftung fehlt (Position 1 war für mich kaum Praxis umsetzbar)
 - gefühlt instabiler
 - Rückenlehneneinstellung nicht optimal
 - seitliche Schalter (am Sitz) schlecht erreichbar bzw. bedienbar
 - besserer Sitzkomfort
-

Anhang G: Messbericht Ganzkörpervibrationen (Niederflurlinienbusse)

Unabhängig von den in den Teilen A und B dieses Reports beschriebenen Projekten haben die Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung und in Kooperation mit ihrem Unfallversicherungsträger (Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, ehemalige BG BAHNEN) die Schwingungsbelastung ihrer Fahrer erfasst und bewertet. Dabei hatte das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) die Berufsgenossenschaft zuletzt im Januar 2010 messtechnisch unterstützt, worauf der folgende Messbericht im Abschnitt 5 Bezug nimmt.

Im Rahmen des Projektes zum Fahrersitzmemory sollte die Frage geklärt werden, ob die Sitze mit Memoryfunktion unter Betriebsbedingungen die gewünschte Dämpfungsfunktion zeigen, um etwa den Anforderungen der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung gerecht zu werden. Dazu hat das IFA im Mai 2011 Messungen vorgenommen, deren Ergebnisse in diesem Anhang zusammengefasst sind.

Die Schwingungsbelastung lag dabei in einem Bereich, der nach Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung keine Schutzmaßnahmen erforderlich machte. Die Sitzfläche war jedoch oft sehr niedrig eingestellt.

Bei den hier verwendeten Sitzen ist die Höheneinstellung an den Federweg gekoppelt, sodass ein Sitz, dessen Sitzfläche sehr niedrig eingestellt ist, weniger Schwingweg zur Verfügung hat als es bei einer optimalen Einstellung wünschenswert ist. In einer solchen Situation ist es wahrscheinlicher, dass der Sitz an seine Endanschläge stößt.

Messbericht Ganzkörper-Vibrationen (Niederflurlinienbusse)

Fachbereich: Arbeitsgestaltung
Physikalische Einwirkungen
Az.: 638.222/077-GKV/AVA
E 2011 20036
Riss/Neu

Messbericht Ganzkörper-Vibrationen (Niederflurlinienbusse)

1 Allgemeine Angaben

Betrieb:	Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) Cicerostraße 47 – 48 10709 Berlin	
Messtage:	3. bis 5. Mai 2011	
Unfallversicherungsträger:	Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG)	
Teilnehmer:	Herr Wehner	BVG
	Herr Meyer	Firma Isringhausen
	Herr Göres Herr Sayn	Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) Fachbereich Arbeitsgestaltung – Physikali- sche Einwirkungen
Bemerkungen:	Die Berufsgenossenschaft hat in Abstimmung mit dem Unternehmen das IFA um Unterstützung bei der objektiven Ermittlung der Belastung von Busfahrern durch Ganzkörper-Vibrationen gebeten. Der Bericht fasst die Messergebnisse für die Ganzkörper-Vibrationen zusammen und bewertet sie zum einen im Sinne der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung. Zum anderen erfolgt ein Vergleich mit einer früheren Messung bei der BVG (Bericht vom 25.01.2010).	

2

2 Formelzeichen

x	Schwingungsrichtung (Rücken-Brust)
y	Schwingungsrichtung (Schulter-Schulter)
z	Schwingungsrichtung (Richtung der Wirbelsäule)
$a_{we,\{x, y, z\}}$	energieäquivalenter Mittelwert der frequenzbewerteten Beschleunigung
T	Einwirkungsdauer, Kontaktdauer mit der vibrierenden Sitzfläche
$k_x = k_y = 1,4 ; k_z = 1,0$	Faktoren für die frequenzbewerteten Beschleunigungen beim Kriterium Gesundheit nach VDI 2057-1:2002
$A_{\{x, y, z\}}(8)$	Auf acht Stunden normierte Tages-Schwingungsbelastung
A(8)	Tages-Vibrationsexpositionswert, das ist die Tages-Schwingungsbelastung in der Richtung, die am meisten belastend ist. (Anlageblatt 33).
SEAT _{x, y, z}	Sitzübertragungsfaktor: Dämpfung der Anregung, falls SEAT kleiner ist als 1,0 Verstärkung der Anregung, falls SEAT größer ist als 1,0

3 Regelwerke

Eine Übersicht über die verwendeten Normen gibt das Anlagenblatt 32. Die Messungen erfolgten auf der Grundlage der Richtlinie VDI 2057-1:2002. Für die Messaufgaben erfüllten die Messgeräte die Anforderungen der DIN EN ISO 8041:2005.

Die Messergebnisse sind frequenzbewertete Beschleunigungen $a_{we,\{x, y, z\}}$ in den drei Schwingungsrichtungen x, y und z, aus denen, zusammen mit der zugehörigen Einwirkungsdauer T und den Bewertungsfaktoren für das Kriterium Gesundheit die Tages-Schwingungsbelastungen $A_i(8)$ in den Schwingungsrichtungen $I=\{x, y, z\}$ gebildet werden. Sie sind in den Anlageblättern für drei verschiedene Varianten angegeben:

Variante 1: Es liegt nur die gemessene Belastung ($T, a_{we,\{x, y, z\}}$) während einer Schicht vor.

Variante 2: Es liegt während acht Stunden dasselbe Verhältnis aus Einwirkungsdauer und schwingungsfreier Zeit vor wie bei der Messung.

Variante 3 : Die Einwirkungsdauer für die gemessene Beschleunigung beträgt acht Stunden.

Der Teil A der Anlage enthält als Übersicht die frequenzbewerteten Beschleunigungen und die Tages-Schwingungsbelastungen (nach Variante 2) in den drei Schwingungsrichtungen. Aus den Tages-Schwingungsbelastungen wird der Tages-Vibrationsexpositionswert A(8) gebildet (Anlageblatt 33). Er ist die Grundlage für die Bewertung der Schwingungsbelastung nach der Lärm- und Vibrations-Arbeitschutzverordnung (Anlageblatt 34). Zusätzlich enthält die Anlage A auch noch die frequenzbewerteten Beschleunigungen der Sitzmontagepunkte und die sich daraus ergebenden Sitzübertragungsfaktoren für die Messungen (Anlageblatt A2).

Der A(8) wird verglichen mit dem Auslösewert und den Expositionsgrenzwerten (Anlageblatt 34). Falls der Auslösewert überschritten wird ($A(8) = 0,50 \text{ m/s}^2$), müssen Vibrationschutzmaßnahmen ergriffen, arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen angeboten und die Beschäftigten über die Gefährdungen durch ihre Schwingungsbelastung unterwiesen werden. Wird ein Expositionsgrenzwert (in x- und y-Richtung $A(8) = 1,15 \text{ m/s}^2$ in z-Richtung $A(8) = 0,80 \text{ m/s}^2$) überschritten, müssen in diesem Fall unverzüglich Maßnahmen ergriffen werden, um die Belastung unter den Expositionsgrenzwert zu senken und eine arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung muss erfolgen.

4 Feststellungen zu den Messergebnissen

Die Beschleunigungen wurden auf der Sitzfläche und am Sitzmontagepunkt erfasst, so dass auch das Dämpfungsverhalten der Sitze beschrieben wurde. Die Messungen erfolgten während des regulären Linienbetriebs auf der Linie 110 und beinhalten Zeiten geringer Schwingungsbelastung während der Haltephasen.

Die Fahrzeuge waren mit einem baugleichen Fahrersitz von der Firma Isringhausen ausgestattet. In der vertikalen Schwingungsrichtung (z-Richtung) verfügen die Sitze für die Schwingungsdämpfung über eine Luftfeder und einen Öldämpfer. Für die horizontalen Richtungen (x,y) ist kein Federungselement vorhanden.

Die Sitzhöhe wurde von den drei Fahrern individuell eingestellt. Die Einstellung erfolgte rein nach dem persönlichen Empfinden der Fahrer bei den Gegebenheiten der Messung und war nicht durch das Memory-Sitz-Projekt vorgegeben. Im einzelnen betragen die Sitzhöhen bei Fahrer A 85 mm, und beim Fahrer C 45 mm vom unteren Anschlagpunkt, wenn der Sitz mit dem Fahrer belastet ist. Bei allen anderen Fahrern war der Sitz 25 mm vom unteren Anschlagpunkt entfernt, was der tiefsten möglichen Einstellung entspricht.

Die geringen Anregungen am Sitzmontagepunkt in z-Richtung konnte bei den Messungen leicht gedämpft werden. (SEATz lag zwischen 0,83 und 0,97.) Dadurch, dass die Haltephasen bei der Mittelung mit berücksichtigt werden, sind diese Werte höher als bei der Analyse reiner Fahranteile. Hier liegen die Sitzübertragungsfaktoren in z-Richtung um 0,05 bis 0,15 niedriger. Die ebenfalls geringen Anregungen am Sitzmontagepunkt in den horizontalen Richtung (x,y) wurden nur leicht verstärkt, was sich durch die Mechanik des Sitzes erklären lässt. Die Anregung zeigt in der spektralen Leistungsdichte ein Maximum bei etwa 1 Hz, und die Dämpfung setzt etwa bei 5 Hz ein.

Beim Fahrer B wurde die Messung einmal mit weichem und einmal mit fast hartem Dämpfer durchgeführt, ohne dass ein deutlicher Effekt zu messen gewesen wäre.

5. Vergleich mit früherer Messung (Bericht 25.01.2010)

Das IFA hat auf Veranlassung der damaligen Berufsgenossenschaft der Straßen-, U-Bahnen und Eisenbahnen bei der BVG die Belastung der Fahrer durch Ganzkörper-Vibrationen bei einer früheren Messung bestimmt (Bericht vom 25.01.2010, IFA-Zeichen: 2010 20008). Dabei wurde sowohl im Linienbetrieb als auch während Leerfahrten mit simulierten Stopps gemessen, und es wurde auch ein Bus vom Typ MAN NL 263 untersucht.

Die Anregungen und Belastungen auf den Sitzflächen sind bei beiden Messungen vergleichbar, sowohl was die Höhe der Messwerte betrifft, als auch die Zusammensetzung der spektralen Leistungsdichte.

Bei den früheren Messungen stand die Frage im Mittelpunkt, unter welchen Umständen bei den Sitzen Endanschläge zu bemerken sind. Damals haben wir angeregt, die Konsole unter den Sitzen zu verringern, um bei der typischen Sitzeinstellung durch den Fahrer mehr Schwingweg zur Verfügung zu haben. Diese Anregung bleibt bestehen. Auch die neuen Sitze werden meist in den unteren Bereich des Schwingwegs eingestellt: bei unseren Messungen sogar oft auf die tiefste mögliche Position. Dies begünstigt das Auftreten von Endanschlägen, wie es in unserem letzten Bericht beschrieben wurde.

6. Bewertung – Empfehlungen

Für die Bewertung wird angenommen, dass die gemessenen Betriebsabläufe repräsentativ sind, und dass die Schwingungsbelastung nur durch die von uns gemessenen Betriebsabläufe hervorgerufen wird.

Es ist dann die z-Richtung ausschlaggebend für den A(8)-Wert. Weder der Expositionsgrenzwert noch der Auslösewert wird bei den von uns gemessenen Belastungen während einer Arbeitsschicht von acht Stunden erreicht. Es müssen daher nach Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung keine Vibrationsschutzmaßnahmen getroffen werden. Diese Einschätzung ist zu überprüfen, falls sich die Betriebsabläufe ändern sollten.

Um die Wahrscheinlichkeit von Endanschlägen zu verringern, ist es darüber hinaus sinnvoll, die Konsole unter dem Sitz zu verringern, was bei derselben Sitzeinstellung zur Folge hat, dass dem Sitz mehr Schwingweg zur Verfügung steht.

7. Anlagen

Übersicht der Schwingungsbelastung
Messdokumentation der einzelnen Fahrzeuge
Hinweise zu Messgeräten und Normen

Sankt Augustin, 21. Juli 2011

Jörg Rissler



Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
 Fachbereich: Arbeitsgestaltung – Physikalische Einwirkungen, Referat: Vibration
 Alte Heerstraße 111, 53757 Sankt Augustin

GANZKÖRPER-SCHWINGUNGSUNTERSUCHUNGEN AN ARBEITSPLÄTZEN AUF LANDFAHRZEUGEN (Niederflurlinienbusse)

Berliner Verkehrsbetriebe (BVG)
Cicerostraße 47-48
10709 Berlin

Inhalt

Blatt

A1 – A2 Fahrzeugübersicht mit Schwingbeschleunigung a_{we} und Tages-Schwingungsbelastung $A_{(x, y, z)}(8)$ (nach Variante 2) (Blatt A1) und den Sitzübertragungsfaktoren (SEAT) (Blatt A2)

Messdokumentation und Messergebnisse

1 – 22 IFA – Messnummer.: 1231/ Niederflurlinienbus
 Hersteller: MAN
 Typ: NL263 Betriebsnummer: 1416

23 - 30 IFA – Messnummer.: 1232/ Niederflurlinienbus
 Hersteller: MAN
 Typ: NL263 Betriebsnummer: 1412

Anhang

31 Auszüge aus der Bedienungsanleitung des Fahrersitzes
 32 Liste der verwendeten Mess- und Auswertegeräte sowie der Normen und Messvorschriften
 33 Hinweise zur Berechnung der Ganzkörperschwingungsbelastung
 34 Die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung

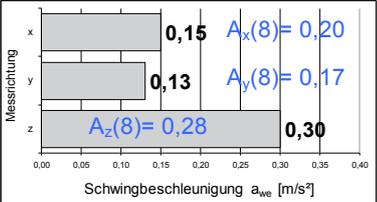
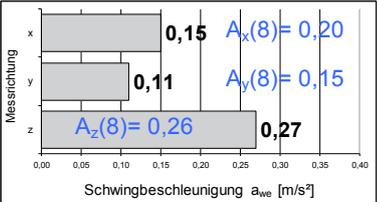
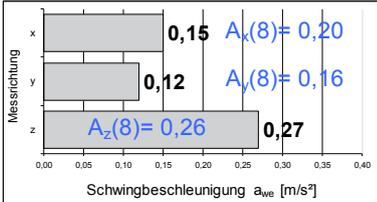
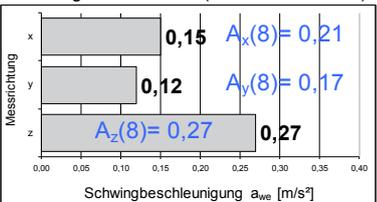
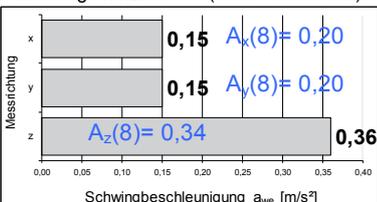


IFA – Messnummer: 000230 **1231/00.0** 11000
 und IFA – Messnummer: 000230 **1132/00.0** 11000

Anlage zum Messbericht: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostraße 47-48, 10709 Berlin

Fahrzeuge: Niederflurlinienbusse

Fahrzeugübersicht und Ganzkörperschwingungsbelastungen für die Fahrer

IFA – Messnummer und Fahrzeugdaten	Schwingbeschleunigung a_{we} auf dem Sitz während der Einwirkdauer (Messzeit) und Tages-Schwingungsbelastung $A_{(x,y,z)}(8)$ (nach Variante 2)	
1231/ Niederflurlinienbus Hersteller: MAN Typ: NL263  Betriebsnummer: 1416	Einwirkdauer: 55 min Messtag: 3.5.2011 (12:06 – 13:07 Uhr)  Fahrer A 1231/01.0 vertikaler Sitz-Schwingungsdämpfer: mittel Sitz-Höheneinstellung: ca. 85 mm	
	Einwirkdauer: 50 min Messtag: 3.5.2011 (13:09 – 14:05 Uhr)  Fahrer B 1231/02.1 vertikaler Sitz-Schwingungsdämpfer: weich Sitz-Höheneinstellung: ca. 25 mm	Einwirkdauer: 50 min Messtag: 3.5.2011 (14:09 – 15:04 Uhr)  Fahrer B 1231/02.2 vertikaler Sitz-Schwingungsdämpfer: fast hart Sitz-Höheneinstellung: ca. 25 mm
	Einwirkdauer: 1 h 2 min Messtag: 3.5.2011 (15:07 – 16:10 Uhr)  Fahrer C 1231/03.0 vertikaler Sitz-Schwingungsdämpfer: mittel Sitz-Höheneinstellung: ca. 45 mm	
1232/ Niederflurlinienbus Hersteller: MAN Typ: NL263  Betriebsnummer: 1412	Einwirkdauer: 1 h 4 min Messtag: 4.5.2011 (9:48 – 10:58 Uhr)  Fahrer D 1232/01.0 vertikaler Sitz-Schwingungsdämpfer: fast hart Sitz-Höheneinstellung: ca. 25 mm	

Berechnung der Tages-Schwingungsbelastung A(8)

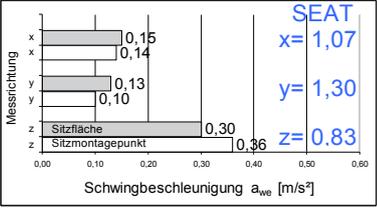
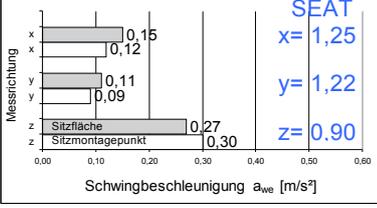
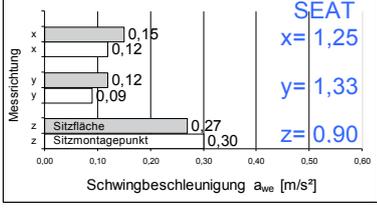
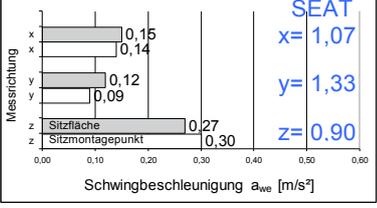
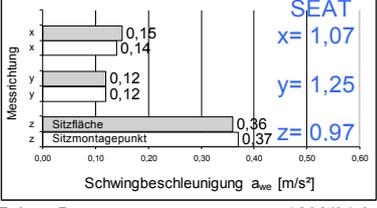
Beispiele für die Berechnung finden sich bei den Zusammenstellungen der Messergebnisse zu den Fahrzeugen und in den Hinweisen zur Berechnung der Ganzkörperschwingungsbelastung.

IFA – Messnummer: 000230 **1231/00.0** 11000
 und IFA – Messnummer: 000230 **1132/00.0** 11000

Anlage zum Messbericht: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostaße 47-48, 10709 Berlin

Fahrzeuge: Niederflurlinienbusse

Fahrzeugübersicht und Sitzübertragungsfaktoren SEAT

IFA – Messnummer und Fahrzeugdaten	Schwingbeschleunigung a_{we} auf dem Sitz und am Sitzmontagepunkt während der Einwirkdauer (Messzeit) mit dem Sitzübertragungsfaktor SEAT	
1231/ Niederflurlinienbus Hersteller: MAN Typ: NL263  Betriebsnummer: 1416	Einwirkdauer: 55 min Messtag: 3.5.2011 (12:06 – 13:07 Uhr)  Fahrer A 1231/01.0 vertikaler Sitz-Schwingungsdämpfer: mittel Sitz-Höheneinstellung: ca. 85 mm	
	Einwirkdauer: 50 min Messtag: 3.5.2011 (13:09 – 14:05 Uhr)  Fahrer B 1231/02.1 vertikaler Sitz-Schwingungsdämpfer: weich Sitz-Höheneinstellung: ca. 25 mm	Einwirkdauer: 50 min Messtag: 3.5.2011 (14:09 – 15:04 Uhr)  Fahrer B 1231/02.2 vertikaler Sitz-Schwingungsdämpfer: fast hart Sitz-Höheneinstellung: ca. 25 mm
	Einwirkdauer: 1 h 2 min Messtag: 3.5.2011 (15:07 – 16:10 Uhr)  Fahrer C 1231/03.0 vertikaler Sitz-Schwingungsdämpfer: mittel Sitz-Höheneinstellung: ca. 45 mm	
1232/ Niederflurlinienbus Hersteller: MAN Typ: NL263  Betriebsnummer: 1412	Einwirkdauer: 1 h 4 min Messtag: 4.5.2011 (9:48 – 10:58 Uhr)  Fahrer D 1232/01.0 vertikaler Sitz-Schwingungsdämpfer: fast hart Sitz-Höheneinstellung: ca. 25 mm	



Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
 Fachbereich: Arbeitsgestaltung – Physikalische Einwirkungen, Referat: Vibration
 Alte Heerstraße 111, 53757 Sankt Augustin

Blatt 1

MESSPROTOKOLL FÜR GANZKÖRPER- SCHWINGUNGSUNTERSUCHUNGEN AN ARBEITSPLÄTZEN AUF LANDFAHRZEUGEN

E-Bogen: E2011 20036 Bearbeiter: Gö / Sy IFA – Messnummer: 000230 **1231/00.0** 11000

1. Allgemeine Angaben

Messtag: 3.5.2011 BG/Unfallkasse/Auftraggeber: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft

Firmenanschrift: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostaße 47-48, 10709 Berlin

Teilnehmer an der Messung: Herr Wehner, BVG Fahrdienstleiter
Herr Meyer, Firma Isringhausen

Herr Göres und Herr Sayn, IFA Sankt Augustin

2. Beschreibung des Arbeitsplatzes

Fahrer A: Alter 57 Jahre Größe 178 cm Gewicht 86 kg Schwingungswahrnehmung: gerade gut stark sehr stark
 Fahrer B: Alter 50 Jahre Größe 185 cm Gewicht 85 kg gerade gut stark sehr stark
 Fahrer C: Alter 59 Jahre Größe 197 cm Gewicht 120 kg gerade gut stark sehr stark
 Fahr- und Arbeitsweise: 1 2 3 4 5 6
 Umgebungseinflüsse: Abgase Lärm Temperatur ca. 12 °C Staub
 Arbeitsbereich: Buslinie 110 in Berlin, zwischen den Endhaltestellen Hertzallee und Oskar-Helene-Heim

3. Beschreibung des Fahrzeuges

Hersteller: MAN
 Fahrzeugtyp: NL263
 Fahrzeugart (Oberbegriff): Busse
 Fahrzeugart (Unterbegriff): Niederflurlinienbus
 Fahrzeugident.-Nr.: WMAA21ZZ74B024024
 Betriebsnummer: 1416 polizeil. Kennzeichen: B – V 1416
 Baujahr: 4/2004 Leistungsklasse: 191 kW
 Betriebsstunden: -kilometer: 487 153 km
 Eigengewicht: 12 000 kg
 Zul. Gesamtgewicht: 18 000 kg
 Nenntragfähigkeit: 6 000 kg
 Antriebsart: Verbrennungsmotor
 Anzahl der Sitz- oder Stehplätze: 30 / 49
 Abweichung vom maschinenspezifischen Normalzustand: 1 2 3 4 5 6
 Sonstiges: Fahrzeugnummer: A213083



3.1 Beschreibung des Fahrwerkes

Fahrzeugfederung: Luftfedern mit Öldämpfern
 Fortbewegungssystem: Räder Art der Bereifung: Luftreifen
 Anzahl der Räder: 6 angetrieben: 4 Anzahl der Achsen: 2 angetrieben: 1
 Reifen-Nennbreite: 275 mm Felgendurchmesser: 22,5 Zoll
 Raddurchmesser:
 Ist-Reifenluftdruck: vorne 7,5 bar hinten 7,5 bar Sollreifenluftdruck: vorne 7,5 bar hinten 7,5 bar
 Sonstiges: Reifengröße: 275/70 R 22,5



IFA – Messnummer: 000230 **1231/00.0** 11000

4.1 Beschreibung des Fahrersitzes

Hersteller: **Isringhausen** Typ: **6860/ 880E NTS2 (Prototyp)**
 Feder-Dämpfer-System (x-Richtung): **kein Federsystem** Schwingweg(x): **0 mm**
 Feder-Dämpfer-System (y-Richtung): **kein Federsystem** Schwingweg(y): **0 mm**
 Feder-Dämpfer-System (z-Richtung): **Luftfeder - Öldämpfer** Schwingweg(z): **ca. 160 mm**
 Aufbau der Sitzfläche: **Stahlblechwanne / Polster / Stoffbezug**
 Kinematik der Sitzführung (z-Richtung): **Scheren-Schwingsystem**
 Baujahr: **2011** Gewichtseinstellung: ja: **automatisch** nein Geprüft: _____
 Sitzverstellung: vertikal: **ca. 110 mm (Höheneinstellung)** horizontal: **> 150 mm**
 Rückenlehnenverstellung: nach vorne: **ja** nach hinten: **ja**
 Sonstiges: **Sitzkissentiefe einstellbar, obere Rückenlehnenhälfte einstellbar, pneumatisch einstellbare Lendenwirbelstützen (obere und untere) und Seitenwülste, Sitzneigung einstellbar. Die Dämpfung des vertikalen Schwingungsdämpfers ist stufenlos verstellbar (weich bis hart), Vertikale Sitzverstellung und Gewichtseinstellung sind gekoppelt. Bei tiefster oder höchster Höhenverstellung bleibt ein Restschwingweg von ca. 25 mm vorhanden.**

Funktionsbeschreibung aus der Bedienungsanleitung des Sitzes: (siehe auch Blatt 31)
 Der elektromotorische ISRI-Bussitz ist ausgelegt für das Abspeichern und Anfahren der folgenden elektromotorisch angetriebenen Sitzeinstellungen: - Neigungseinstellung, - Horizontaleinstellung, -Höheneinstellung, - Rückenlehneinstellung
 Diese Sitzeinstellungen werden mittels Memorytasten und zusätzlich auf einer persönlichen Chipkarte gespeichert.
 Hierdurch hat der Fahrer die Möglichkeit, seine Sitzposition auch in anderen Fahrzeugen mit gleichen ISRI-Bussitzen aufzurufen.
 Steckt der Fahrer die Chipkarte ins Lesegerät, werden die Daten von der Karte an den Sitz übertragen und dieser fährt automatisch die erste gespeicherte Position an. Ändert der Fahrer die Sitzposition, oder speichert er eine neue Position mit den Memorytasten ab, werden die neuen Positionsdaten automatisch an die Chipkarte übertragen und gespeichert. Die Memoryposition kann nur in Verbindung mit einem speziellen Programmieradapter geändert / gespeichert werden. Der Adapter ist hierzu zwischen Sitz und Bedieneinheit anzuschließen.

4.2 Beschreibung der Führerhausfederung

ja nein
 Art der Federung: vorne: _____
 hinten: _____

5. Angaben zur Messung

Art der Messung: **Betriebsmessung**
 Ort des Messpunktes (Einleitungsstelle): **Sitzfläche und Sitzmontagepunkt mit der Messeinrichtung KBD1**
 Anbringung der Aufnehmer u. Koordinatensystem: **x -, y - und z - Richtung**

Beschreibung der Betriebszustände

Lfd. Nr.: **1231/01.0 1231/02.1 1231/02.2 1231/03.0**
 Beschreibung des Arbeitsganges (Betriebszustand): **Fahrt im regulären Linienbetrieb (Linie 110)**

Fahrbahn: **gute bis mittlere Fahrbahn**
 Maximale Expositionszeit pro Jahr: _____ pro Tag: _____
 Nutzlast: **3 bis ca. 50 Fahrgäste** Fahrgeschwindigkeit: **0 – 50 km/h**
 Körperhaltung: **sitzen** Oberkörper: normal verdreht seitgeneigt vorgebeugt
 Kopf: normal verdreht seitgeneigt vorgebeugt überstreckt
 Fahr- und Arbeitsweise: **normale zügige Fahrt**
 Sitzeinstellung: **Höheneinstellung individuell vom Fahrer: ca. 25 bis 85 mm vom unteren Anschlag (mit sitzendem Fahrer) Einstellung des vertikalen Schwingungsdämpfers: weich bis hart**

	1231/01.0	1231/02.1	1231/02.2	1231/03.0
Höheneinstellung:	ca. 85 mm	ca. 25 mm	ca. 25 mm	ca. 45 mm
Dämpfereinstellung:	mittel	weich	fast hart	mittel



Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
Fachbereich: Arbeitsgestaltung – Physikalische Einwirkungen, Referat: Vibration
Alte Heerstraße 111, 53757 Sankt Augustin

Blatt 3

IFA – Messnummer: 000230 **1231/00.0** 11000

Anlage zum Messbericht: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostraße 47-48, 10709 Berlin

Fahrzeug: Niederflurlinienbus
Hersteller: MAN Typ: NL263 Betriebsnummer: **1416**

Dokumentation der Messsituation und Anbringung der Beschleunigungsaufnehmer



Niederflurlinienbus



Beschleunigungsaufnehmer auf der Fahrersitzfläche und am Fahrersitzmontagepunkt

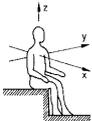


IFA – Messnummer: 000230 **1231/01.0** 11000

Anlage zum Messbericht: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostaße 47-48, 10709 Berlin

Fahrzeug: Niederflurlinienbus
 Hersteller: MAN Typ: NL263 Betriebsnummer: **1416**

Messort: **Fahrerarbeitsplatz (Fahrer A)**
Messpunkt: Sitzfläche und Sitzmontagepunkt
Messgerät: KBD1 Messtag: **3.5.2011** (ca. 12:06 – 13:07 Uhr)
Betriebszustand: Fahrt im regulären Linienbetrieb (Linie 110)
Sitzeinstellungen: verstellbarer vertikaler Schwingungsdämpfer: mittel
 Höheneinstellung: ca. 85 mm vom unteren Anschlag (mit sitzendem Fahrer)



**Messergebnisse nach VDI 2057-1:2002
 und Beurteilung nach der Lärm- und Vibrations- Arbeitsschutzverordnung**

IFA – Messnummer	Einwirkdauer T _e	energieäquivalenter Mittelwert der frequenz- bewerteten Schwingbeschleunigung a _{we} (in m/s ²)						Übertragungsfaktor (SEAT) des Sitzes (SEAT=a _{we} Sitzfläche / a _{we} Sitzmontagepunkt)		
		Sitzfläche Messrichtungen			Sitzmontagepunkt Messrichtungen			Messrichtungen:		
		x	y	z	x	y	z	x	y	z
Das Fahrzeug wurde am Messtag von ca. 12:06 – 13:07 Uhr messtechnisch begleitet. 1 h 1 min Benutzungsdauer = 55 min Einwirkdauer + 6 min Tätigkeit ohne Schwingungsbelastung										
1231/01.0	55min	0,15	0,13	0,30	0,14	0,10	0,36	1,07	1,30	0,83

Messwerte: energieäquivalente bewertete Schwingbeschleunigung a_{we} (m/s²) nach VDI 2057-1:2002;
 für die Messrichtung x und y nach der Bewertungskurve W_d und für die Messrichtung z nach der Bewertungskurve W_k
Ohne Faktor für die Messrichtung x und y (k_x=k_y=1,4)

Schwingungsbelastung auf der Sitzfläche nach der Lärm- und Vibrations- Arbeitsschutzverordnung vom 6. März 2007 (nationale Umsetzung: 2002/44/EG)			
1,4a _{wx} , 1,4 a _{wy} , a _{wz} (Kriterium Gesundheit) (Messwerte in m/s ²)			
Messwerte für die Einwirkdauer	Variante 1	Variante 2	Variante 3
		Die gemessene Belastung ist die einzige Schwingungsbelastung während der täglichen Arbeitszeit.	Das Fahrzeug wird während der täglichen Arbeitszeit mit demselben Verhältnis aus Benutzungsdauer und Einwirkdauer (wie gemessen) benutzt.
	Tages-Schwingungsbelastung (errechnet für die tägliche Arbeitszeit 8h)		
55 min	Einwirkdauer: 55 min	errechnete Einwirkdauer: 7 h 12 min	Einwirkdauer: 8 h
a _w x = 0,15	A _x (8)= 0,07	A_x(8)= 0,20	A _x (8)= 0,21
a _w y = 0,13	A _y (8)= 0,06	A_y(8)= 0,17	A _y (8)= 0,18
a _w z = 0,30	A _z (8)= 0,10	A_z(8)= 0,28	A _z (8)= 0,30

Für den Messtag gehen wir davon aus, dass das Fahrzeug während der Arbeitszeit mit demselben Verhältnis aus Benutzungsdauer und Einwirkdauer (wie gemessen) benutzt wurde. (Variante 2)

Bemerkung: Die vorstehenden Aussagen gelten nur unter der Voraussetzung, dass die während der Messzeit aufgetretene Belastung für die Tätigkeit der **gesamten Arbeitsschicht typisch und repräsentativ ist**. Im Einzelfall empfiehlt sich die kritische Überprüfung des Schichtprofils hinsichtlich Belastungshöhe und zugehöriger Schwingungseinwirkzeit

$$A_i(8) = k_i \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{l=1}^n a_{w,l,i}^2 \cdot T_l}$$

$l = \{x,y,z\}$ $k_x = k_y = 1,4$ $k_z = 1,0$
 $T_0 = 8 \text{ h}$ $i = \text{Expositionsabschnitt}$
 $T_i = (\text{Einwirk})\text{dauer des } i\text{-ten Expositionsabschnittes}$
 $a_{w,l,i} = \text{Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung des } i\text{-ten Expositionsabschnittes}$



Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
 Fachbereich: Arbeitsgestaltung – Physikalische Einwirkungen, Referat: Vibration
 Alte Heerstraße 111, 53757 Sankt Augustin

Blatt 5

IFA – Messnummer: 000230 **1231/01.0** 11000

Anlage zum Messbericht: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostraße 47-48, 10709 Berlin

Fahrzeug: Niederflurlinienbus
 Hersteller: MAN Typ: NL263 Betriebsnummer: **1416**

Messort: **Fahrerarbeitsplatz (Fahrer A)**
 Messpunkt: Sitzfläche und Sitzmontagepunkt
 Messgerät: KBD1 Messtag: **3.5.2011** (ca. 12:06 – 13:07 Uhr)
 Betriebszustand: Fahrt im regulären Linienbetrieb (Linie 110)
 Sitzeinstellungen: verstellbarer vertikaler Schwingungsdämpfer: mittel
 Höheneinstellung: ca. 85 mm vom unteren Anschlag (mit sitzendem Fahrer)



Messrichtungen

Zusammenstellung der Messergebnisse

IFA – Messnummer	Einwirk- dauer T_e	energieäquivalenter Mittelwert der frequenz- bewerteten Schwingbeschleunigung a_{we} (in m/s^2)						Übertragungsfaktor (SEAT) des Sitzes (SEAT= a_{we} Sitzfläche / a_{we} Sitzmontagepunkt)		
		Sitzfläche Messrichtungen			Sitzmontagepunkt Messrichtung			Messrichtungen:		
		x	y	z	x	y	z	x	y	z

Gesamtfahrt im regulären Linienbetrieb (Linie 110)
 von Endhaltestelle Hertzallee zur Endhaltestelle Oskar-Helene-Heim und zurück bis Haltestelle Hochmeisterplatz

1231/01.0	55min	0,15	0,13	0,30	0,14	0,10	0,36	1,07	1,30	0,83
-----------	-------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Fahrabschnitte zwischen den Haltestellen ohne Haltestellenstopps

1231/01.1	6min 14s	0,16	0,18	0,49	0,14	0,15	0,61	1,26	1,23	0,79
-----------	----------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Messwerte: energieäquivalente bewertete Schwingbeschleunigung a_w (m/s^2) nach VDI 2057-1:2002;
 für die Messrichtung x und y nach der Bewertungskurve W_d und für die Messrichtung z nach der Bewertungskurve W_k
Ohne Faktor für die Messrichtung x und y ($k_x=k_y=1,4$)



Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
 Fachbereich: Arbeitsgestaltung – Physikalische Einwirkungen, Referat: Vibration
 Alte Heerstraße 111, 53757 Sankt Augustin

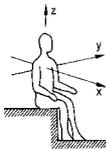
Blatt 6

IFA – Messnummer: 000230 **1231/01.0** 11000

Anlage zum Messbericht: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostaße 47-48, 10709 Berlin

Fahrzeug: Niederflurlinienbus
 Hersteller: MAN Typ: NL263 Betriebsnummer: **1416**

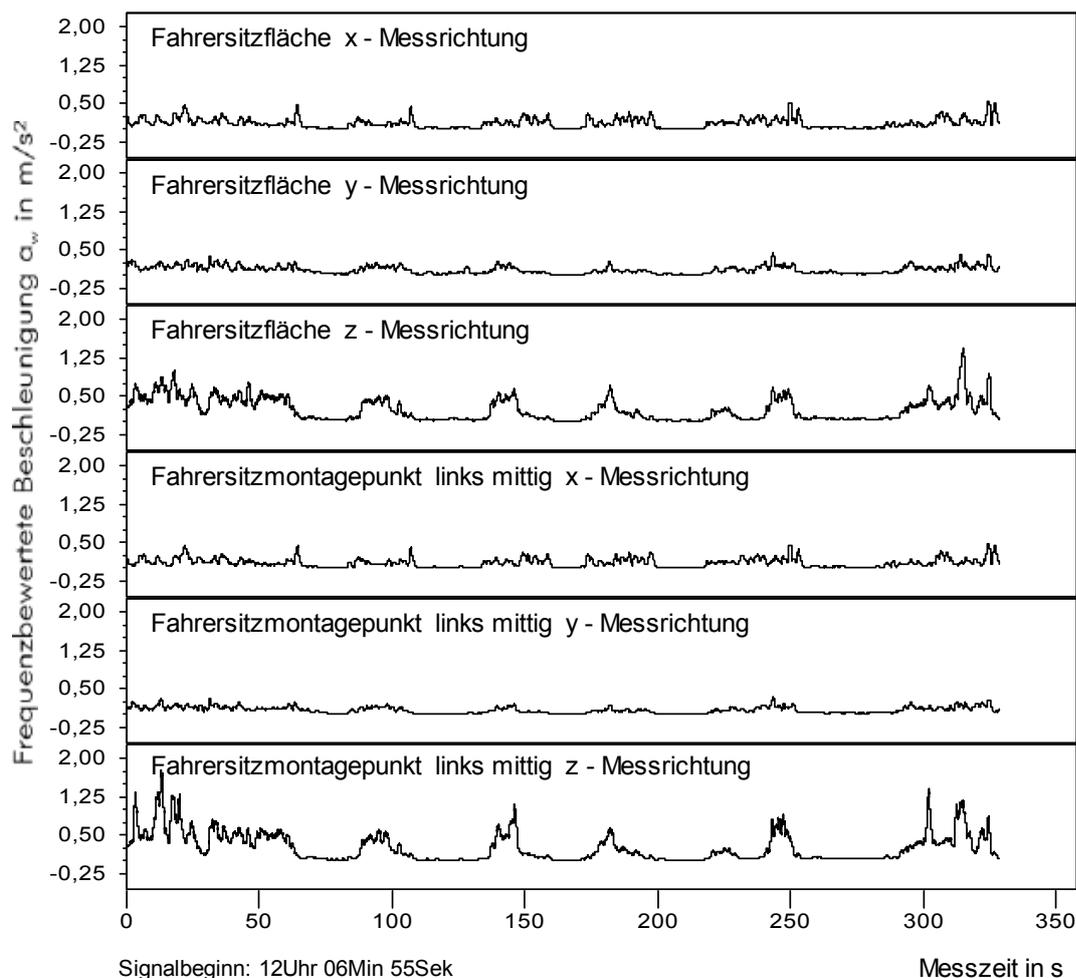
Messort: **Fahrerarbeitsplatz (Fahrer A)**
 Messpunkt: Sitzfläche und Sitzmontagepunkt
 Messgerät: KBD1 Messtag: **3.5.2011** (ca. 12:06 – 13:07 Uhr)
 Betriebszustand: Fahrt im regulären Linienbetrieb (Linie 110)
 Sitzeinstellungen: verstellbarer vertikaler Schwingungsdämpfer: mittel
 Höheneinstellung: ca. 85 mm vom unteren Anschlag (mit sitzendem Fahrer)



Messrichtungen

Frequenzbewerteter zeitlicher Schwingungsverlauf

Ausschnitt aus dem frequenzbewerteten zeitlichen Schwingungsverlauf für Ganzkörper - Schwingungseinwirkung; Integrationszeitkonstante $\tau = 1$ s



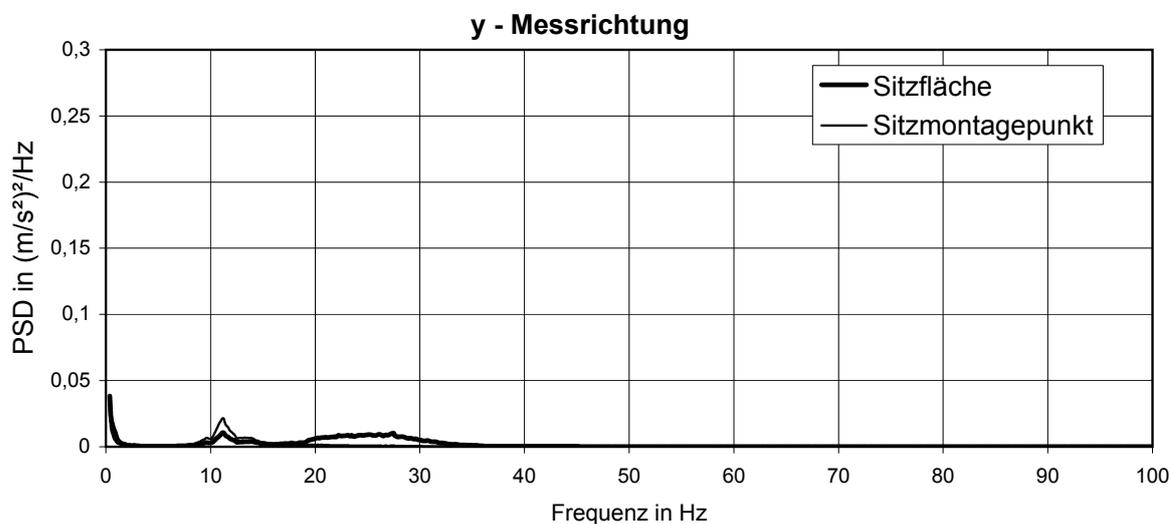
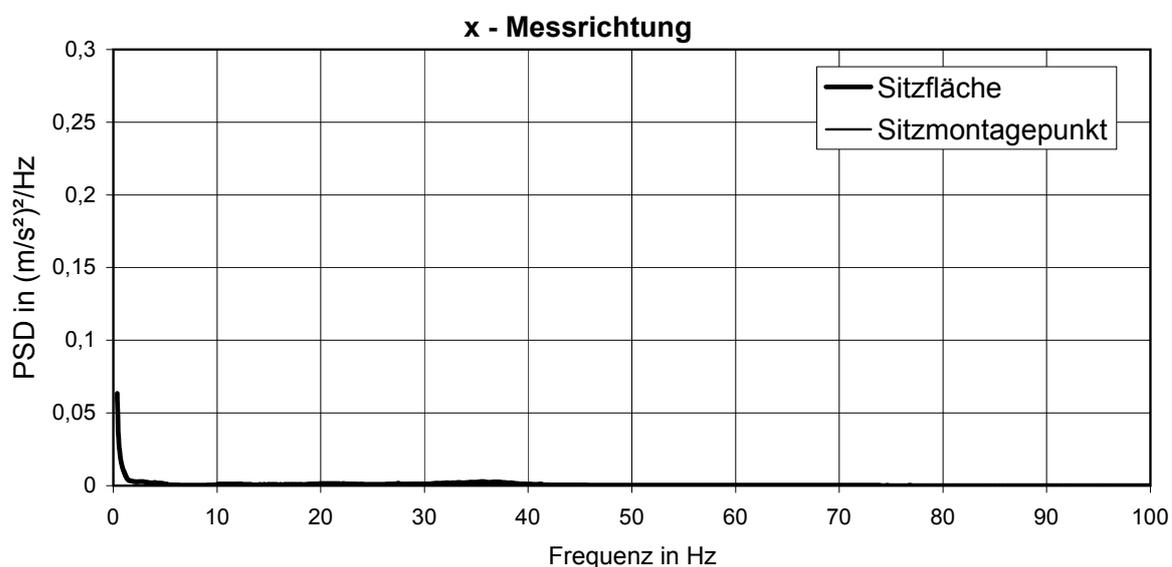
IFA - Messnummer: 000230 **1231/01.0** 11000Anlage zum Messbericht: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostraße 47-48, 10709 Berlin

Fahrzeug: Niederflurlinienbus
 Hersteller: MAN Typ: NL263 Betriebsnummer: **1416**
 Messort: **Fahrerarbeitsplatz** (Fahrer A)
 Messpunkt: Sitzfläche und Sitzmontagepunkt
 Messgerät: KBD1 Messtag: **3.5.2011** (ca. 12:06 – 13:07 Uhr)
 Betriebszustand: Gesamtmessung, Fahrt im regulären Linienbetrieb (Linie 110)
 Sitzeinstellungen: verstellbarer vertikaler Schwingungsdämpfer: mittig
 Höheneinstellung: ca. 85 mm vom unteren Anschlag (mit sitzendem Fahrer)



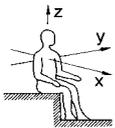
Messrichtungen

Darstellung der spektralen Leistungsdichte (PSD)



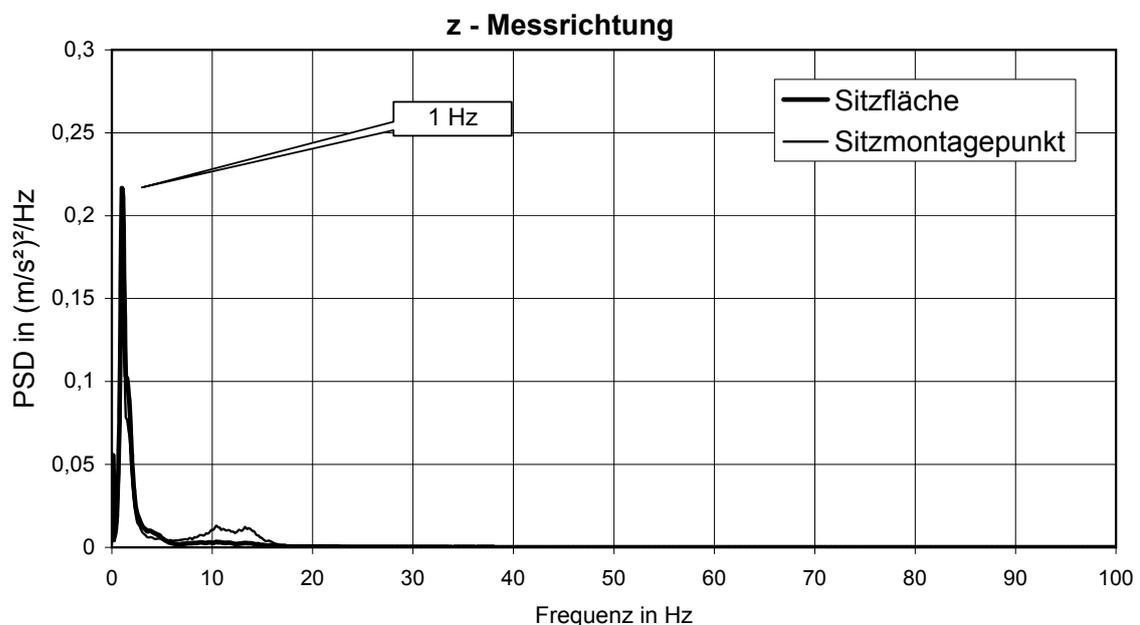
IFA - Messnummer: 000230 **1231/01.0** 11000Anlage zum Messbericht: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostraße 47-48, 10709 Berlin

Fahrzeug: Niederflurlinienbus
 Hersteller: MAN Typ: NL263 Betriebsnummer: 1416
 Messort: **Fahrerarbeitsplatz** (Fahrer A)
 Messpunkt: Sitzfläche und Sitzmontagepunkt
 Messgerät: KBD1 Messtag: 3.5.2011 (ca. 12:06 – 13:07 Uhr)
 Betriebszustand: Gesamtmessung, Fahrt im regulären Linienbetrieb (Linie 110)
 Sitzeinstellungen: verstellbarer vertikaler Schwingungsdämpfer: mittig
 Höheneinstellung: ca. 85 mm vom unteren Anschlag (mit sitzendem Fahrer)

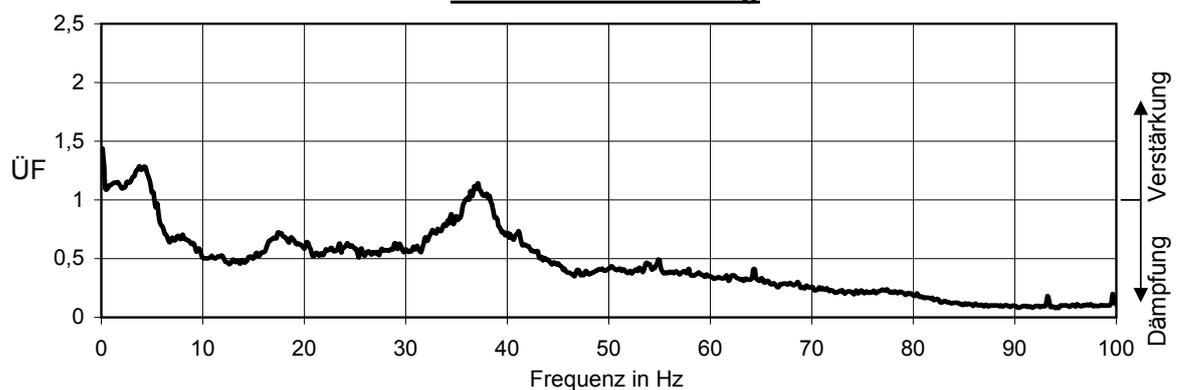


Messrichtungen

Darstellung der spektralen Leistungsdichte (PSD)



Darstellung der Übertragungsfunktion (ÜF) für die z-Messrichtung



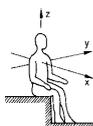


IFA – Messnummer: 000230 **1231/02.1** 11000

Anlage zum Messbericht: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostaße 47-48, 10709 Berlin

Fahrzeug: Niederflurlinienbus
 Hersteller: MAN Typ: NL263 Betriebsnummer: **1416**

Messort: **Fahrerarbeitsplatz (Fahrer B)**
 Messpunkt: Sitzfläche und Sitzmontagepunkt
 Messgerät: KBD1 Messtag: **3.5.2011** (ca. 13:09 – 14:05 Uhr)
 Betriebszustand: Fahrt im regulären Linienbetrieb (Linie 110)
 Sitzeinstellungen: verstellbarer vertikaler Schwingungsdämpfer: weich
 Höheneinstellung: ca. 25 mm vom unteren Anschlag (mit sitzendem Fahrer)



**Messergebnisse nach VDI 2057-1:2002
 und Beurteilung nach der Lärm- und Vibrations- Arbeitsschutzverordnung**

IFA – Messnummer	Einwirkdauer T_e	energieäquivalenter Mittelwert der frequenzbewerteten Schwingbeschleunigung a_{we} (in m/s^2)						Übertragungsfaktor (SEAT) des Sitzes (SEAT= a_{we} Sitzfläche / a_{we} Sitzmontagepunkt)		
		Sitzfläche Messrichtungen			Sitzmontagepunkt Messrichtungen			Messrichtungen:		
		x	y	z	x	y	z	x	y	z
1231/02.1	50min	0,15	0,11	0,27	0,12	0,09	0,30	1,25	1,22	0,90

Das Fahrzeug wurde am Messtag von ca. 13:09 – 14:05 Uhr messtechnisch begleitet.
 56 min Benutzungsdauer = 50 min Einwirkdauer + 6 min Tätigkeit ohne Schwingungsbelastung

Messwerte: energieäquivalente bewertete Schwingbeschleunigung a_{we} (m/s^2) nach VDI 2057-1:2002;
 für die Messrichtung x und y nach der Bewertungskurve W_d und für die Messrichtung z nach der Bewertungskurve W_k
Ohne Faktor für die Messrichtung x und y ($k_x=k_y=1,4$)

Messwerte für die Einwirkdauer	Schwingungsbelastung auf der Sitzfläche nach der Lärm- und Vibrations- Arbeitsschutzverordnung vom 6. März 2007 (nationale Umsetzung: 2002/44/EG) $1,4a_{wx}, 1,4 a_{wy}, a_{wz}$ (Kriterium Gesundheit) (Messwerte in m/s^2)		
	Variante 1 Die gemessene Belastung ist die einzige Schwingungsbelastung während der täglichen Arbeitszeit.	Variante 2 Das Fahrzeug wird während der täglichen Arbeitszeit mit demselben Verhältnis aus Benutzungsdauer und Einwirkdauer (wie gemessen) benutzt.	Variante 3 Falls die Einwirkdauer 8 h beträgt.
	Tages-Schwingungsbelastung (errechnet für die tägliche Arbeitszeit 8h)		
50 min	Einwirkdauer: 50 min	errechnete Einwirkdauer: 7 h 08 min	Einwirkdauer: 8 h
$a_w x = 0,15$	$A_x(8) = 0,07$	$A_x(8) = 0,20$	$A_x(8) = 0,21$
$a_w y = 0,11$	$A_y(8) = 0,05$	$A_y(8) = 0,15$	$A_y(8) = 0,15$
$a_w z = 0,27$	$A_z(8) = 0,09$	$A_z(8) = 0,26$	$A_z(8) = 0,27$

Für den Messtag gehen wir davon aus, dass das Fahrzeug während der Arbeitszeit mit demselben Verhältnis aus Benutzungsdauer und Einwirkdauer (wie gemessen) benutzt wurde. (Variante 2)

Bemerkung: Die vorstehenden Aussagen gelten nur unter der Voraussetzung, dass die während der Messzeit aufgetretene Belastung für die Tätigkeit der **gesamten Arbeitsschicht typisch und repräsentativ ist**. Im Einzelfall empfiehlt sich die kritische Überprüfung des Schichtprofils hinsichtlich Belastungshöhe und zugehöriger Schwingungseinwirkzeit

$$A_i(8) = k_i \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{j=1}^n a_{w,i,j}^2 \cdot T_i}$$

$l = \{x, y, z\}$ $k_x = k_y = 1,4$ $k_z = 1,0$
 $T_0 = 8 \text{ h}$ $i = \text{Expositionsabschnitt}$
 $T_i = (\text{Einwirk})\text{dauer des } i\text{-ten Expositionsabschnittes}$
 $a_{w,i,j} = \text{Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung des } i\text{-ten Expositionsabschnittes}$



IFA – Messnummer: 000230 **1231/02.2** 11000

Anlage zum Messbericht: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostraße 47-48, 10709 Berlin

Fahrzeug: Niederflurlinienbus
 Hersteller: MAN Typ: NL263 Betriebsnummer: **1416**

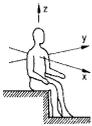
Messort: **Fahrerarbeitsplatz (Fahrer B)**

Messpunkt: Sitzfläche und Sitzmontagepunkt

Messgerät: KBD1 Messtag: **3.5.2011** (ca. 14:09 – 15:04 Uhr)

Betriebszustand: Fahrt im regulären Linienbetrieb (Linie 110)

Sitzeinstellungen: verstellbarer vertikaler Schwingungsdämpfer: fast hart
 Höheneinstellung: ca. 25 mm vom unteren Anschlag (mit sitzendem Fahrer)



**Messergebnisse nach VDI 2057-1:2002
 und Beurteilung nach der Lärm- und Vibrations- Arbeitsschutzverordnung**

IFA – Messnummer	Einwirkdauer T_e	energieäquivalenter Mittelwert der frequenzbewerteten Schwingbeschleunigung a_{we} (in m/s^2)						Übertragungsfaktor (SEAT) des Sitzes (SEAT= a_{we} Sitzfläche / a_{we} Sitzmontagepunkt)		
		Sitzfläche Messrichtungen			Sitzmontagepunkt Messrichtungen			Messrichtungen:		
		x	y	z	x	y	z	x	y	z
1231/02.2	50min	0,15	0,12	0,27	0,12	0,09	0,30	1,25	1,33	0,90

Das Fahrzeug wurde am Messtag von ca. 14:09 – 15:04 Uhr messtechnisch begleitet.
 55 min Benutzungsdauer = 50 min Einwirkdauer + 5 min Tätigkeit ohne Schwingungsbelastung

Messwerte: energieäquivalente bewertete Schwingbeschleunigung a_{we} (m/s^2) nach VDI 2057-1:2002;
 für die Messrichtung x und y nach der Bewertungskurve W_d und für die Messrichtung z nach der Bewertungskurve W_k
Ohne Faktor für die Messrichtung x und y ($k_x=k_y=1,4$)

Messwerte für die Einwirkdauer	Schwingungsbelastung auf der Sitzfläche nach der Lärm- und Vibrations- Arbeitsschutzverordnung vom 6. März 2007 (nationale Umsetzung: 2002/44/EG)		
	$1,4a_{wx}, 1,4 a_{wy}, a_{wz}$ (Kriterium Gesundheit) (Messwerte in m/s^2)		
	Variante 1 Die gemessene Belastung ist die einzige Schwingungsbelastung während der täglichen Arbeitszeit.	Variante 2 Das Fahrzeug wird während der täglichen Arbeitszeit mit demselben Verhältnis aus Benutzungsdauer und Einwirkdauer (wie gemessen) benutzt.	Variante 3 Falls die Einwirkdauer 8 h beträgt.
50 min	Tages-Schwingungsbelastung (errechnet für die tägliche Arbeitszeit 8h)		
	Einwirkdauer: 50 min	errechnete Einwirkdauer: 7 h 16 min	Einwirkdauer: 8 h
$a_w x = 0,15$	$A_x(8) = 0,07$	$A_x(8) = 0,20$	$A_x(8) = 0,21$
$a_w y = 0,12$	$A_y(8) = 0,05$	$A_y(8) = 0,16$	$A_y(8) = 0,17$
$a_w z = 0,27$	$A_z(8) = 0,09$	$A_z(8) = 0,26$	$A_z(8) = 0,27$

Für den Messtag gehen wir davon aus, dass das Fahrzeug während der Arbeitszeit mit demselben Verhältnis aus Benutzungsdauer und Einwirkdauer (wie gemessen) benutzt wurde. (Variante 2)

Bemerkung: Die vorstehenden Aussagen gelten nur unter der Voraussetzung, dass die während der Messzeit aufgetretene Belastung für die Tätigkeit der **gesamten Arbeitsschicht typisch und repräsentativ ist**. Im Einzelfall empfiehlt sich die kritische Überprüfung des Schichtprofils hinsichtlich Belastungshöhe und zugehöriger Schwingungseinwirkzeit

$$A_i(8) = k_i \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{t=1}^n a_{w,i,t}^2 \cdot T_i}$$

$I = \{x, y, z\}$ $k_x = k_y = 1,4$ $k_z = 1,0$
 $T_0 = 8 \text{ h}$ $i = \text{Expositionsabschnitt}$
 $T_i = (\text{Einwirk})\text{dauer des } i\text{-ten Expositionsabschnittes}$
 $a_{w,i,t} = \text{Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung des } i\text{-ten Expositionsabschnittes}$



Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
 Fachbereich: Arbeitsgestaltung – Physikalische Einwirkungen, Referat: Vibration
 Alte Heerstraße 111, 53757 Sankt Augustin

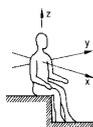
Blatt 11

IFA – Messnummer: 000230 **1231/02.0** 11000

Anlage zum Messbericht: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostraße 47-48, 10709 Berlin

Fahrzeug: Niederflurlinienbus
 Hersteller: MAN Typ: NL263 Betriebsnummer: **1416**

Messort: **Fahrer Arbeitsplatz (Fahrer B)**
 Messpunkt: Sitzfläche und Sitzmontagepunkt
 Messgerät: KBD1 Messtag: **3.5.2011** (ca. 13:09 – 15:04 Uhr)
 Betriebszustand: Fahrt im regulären Linienbetrieb (Linie 110)
 Sitzeinstellungen: verstellbarer vertikaler Schwingungsdämpfer: weich und fast hart
 Höheneinstellung: ca. 25 mm vom unteren Anschlag (mit sitzendem Fahrer)



Zusammenstellung der Messergebnisse

IFA – Messnummer	Einwirkdauer T_e	energieäquivalenter Mittelwert der frequenzbewerteten Schwingbeschleunigung a_{we} (in m/s^2)						Übertragungsfaktor (SEAT) des Sitzes (SEAT= a_{we} Sitzfläche / a_{we} Sitzmontagepunkt)		
		Sitzfläche Messrichtungen			Sitzmontagepunkt Messrichtung			Messrichtungen:		
		x	y	z	x	y	z	x	y	z

Gesamtfahrt im regulären Linienbetrieb (Linie 110)
 von Haltestelle Hochmeisterplatz zur Endhaltestelle Hertzallee und bis Endhaltestelle Oskar-Helene-Heim

verstellbarer vertikaler Schwingungsdämpfer: **weich**

1231/02.1	50min	0,15	0,11	0,27	0,12	0,09	0,30	1,25	1,22	0,90
-----------	-------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Fahrabschnitte zwischen den Haltestellen ohne Haltestellenstopps

1231/02.3	2min 46s	0,21	0,14	0,49	0,13	0,12	0,58	1,62	1,17	0,84
-----------	----------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Gesamtfahrt im regulären Linienbetrieb (Linie 110)
 von Endhaltestelle Oskar-Helene-Heim zur Endhaltestelle Hertzallee und zurück bis Haltestelle Hochmeisterplatz

verstellbarer vertikaler Schwingungsdämpfer: **fast hart**

1231/02.2	50min	0,15	0,12	0,27	0,12	0,09	0,30	1,25	1,33	0,90
-----------	-------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Fahrabschnitte zwischen den Haltestellen ohne Haltestellenstopps

1231/02.4	3min 6s	0,20	0,16	0,44	0,14	0,13	0,52	1,43	1,23	0,85
-----------	---------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

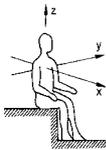
Messwerte: energieäquivalente bewertete Schwingbeschleunigung a_w (m/s^2) nach VDI 2057-1:2002;
 für die Messrichtung x und y nach der Bewertungskurve W_d und für die Messrichtung z nach der Bewertungskurve W_k
Ohne Faktor für die Messrichtung x und y ($k_x=k_y=1,4$)

IFA – Messnummer: 000230 **1231/02.1** 11000

Anlage zum Messbericht: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostaße 47-48, 10709 Berlin

Fahrzeug: Niederflurlinienbus
 Hersteller: MAN Typ: NL263 Betriebsnummer: **1416**

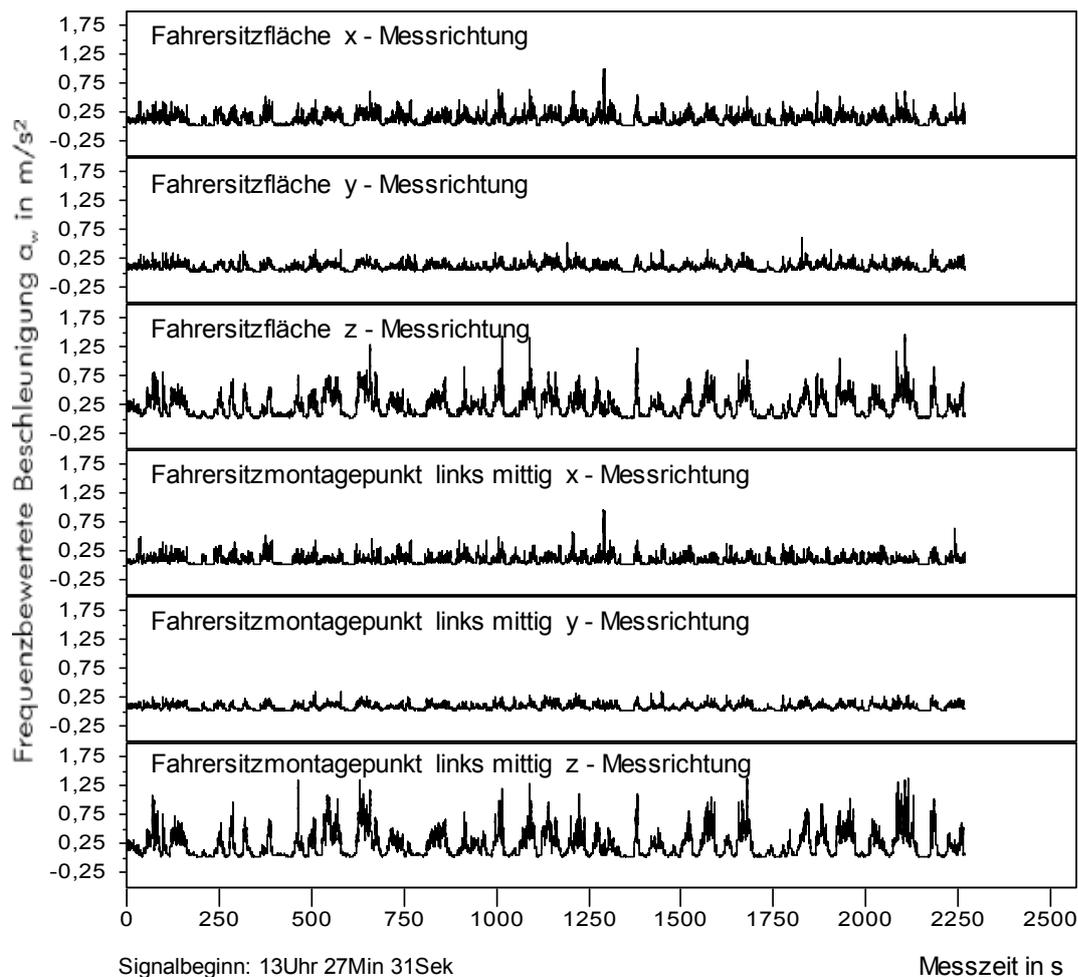
Messort: **Fahrerarbeitsplatz (Fahrer B)**
 Messpunkt: Sitzfläche und Sitzmontagepunkt
 Messgerät: KBD1 Messtag: **3.5.2011** (ca. 13:09 – 14:05 Uhr)
 Betriebszustand: Fahrt im regulären Linienbetrieb (Linie 110)
 Sitzeinstellungen: verstellbarer vertikaler Schwingungsdämpfer: weich
 Höheneinstellung: ca. 25 mm vom unteren Anschlag (mit sitzendem Fahrer)



Messrichtungen

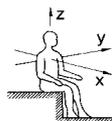
Frequenzbewerteter zeitlicher Schwingungsverlauf

Ausschnitt aus dem frequenzbewerteten zeitlichen Schwingungsverlauf für Ganzkörper - Schwingungseinwirkung; Integrationszeitkonstante $\tau = 1s$



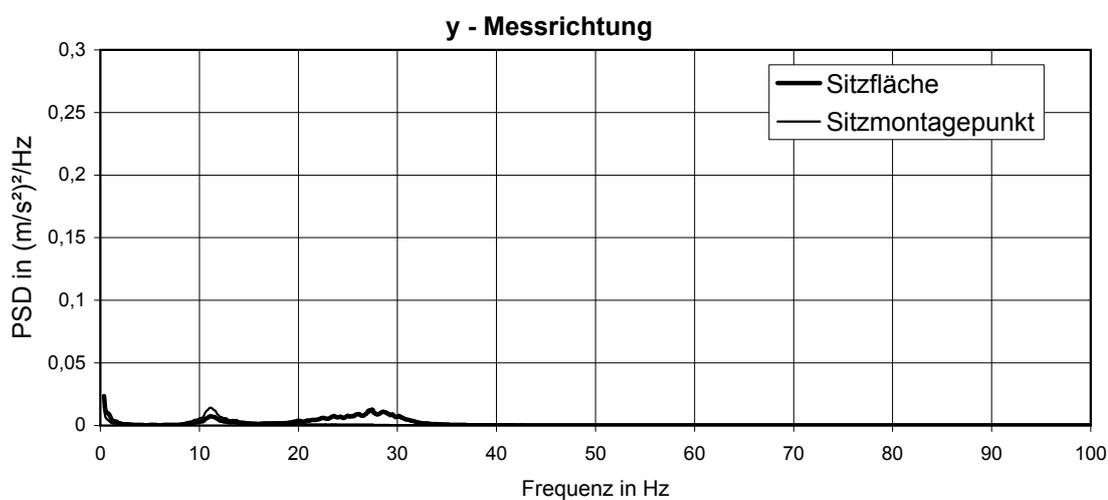
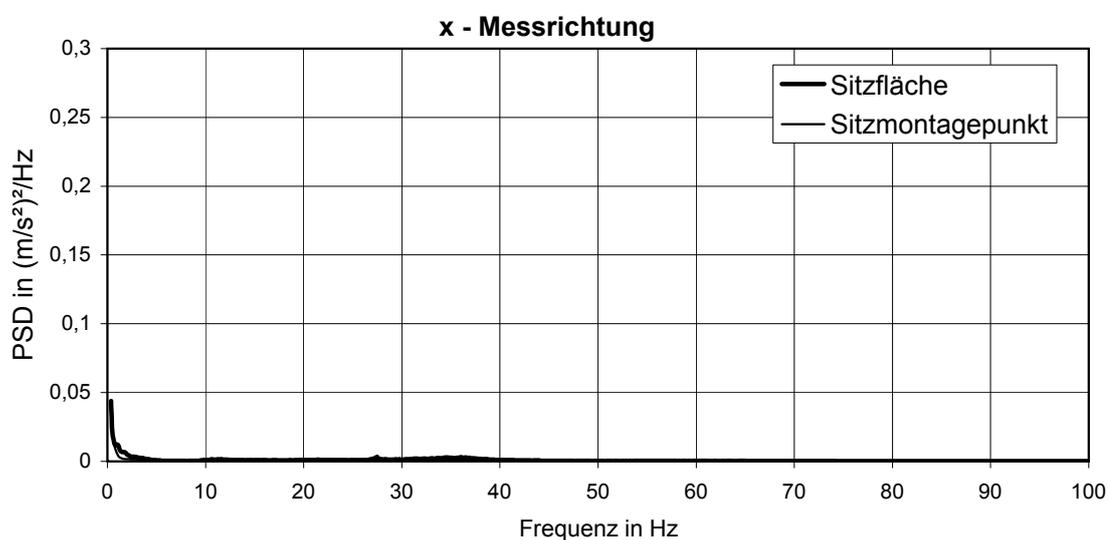
IFA - Messnummer: 000230 **1231/02.1** 11000Anlage zum Messbericht: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostraße 47-48, 10709 Berlin

Fahrzeug: Niederflurlinienbus
 Hersteller: MAN Typ: NL263 Betriebsnummer: 1416
 Messort: **Fahrerarbeitsplatz** (Fahrer B)
 Messpunkt: Sitzfläche und Sitzmontagepunkt
 Messgerät: KBD1 Messtag: **3.5.2011** (ca.13:09 – 14:05 Uhr)
 Betriebszustand: Gesamtmessung, Fahrt im regulären Linienbetrieb (Linie 110)
 Sitzeinstellungen: verstellbarer vertikaler Schwingungsdämpfer: weich
 Höheneinstellung: ca. 25 mm vom unteren Anschlag (mit sitzendem Fahrer)



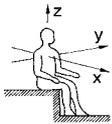
Messrichtungen

Darstellung der spektralen Leistungsdichte (PSD)



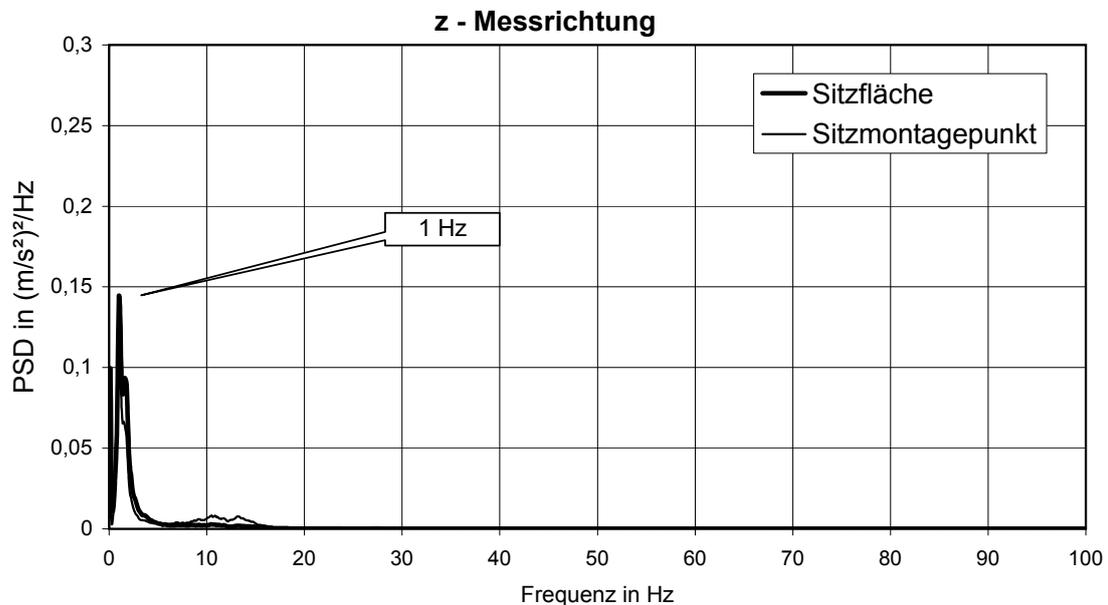
IFA - Messnummer: 000230 **1231/02.1** 11000Anlage zum Messbericht: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostaße 47-48, 10709 Berlin

Fahrzeug: Niederflurlinienbus
 Hersteller: MAN Typ: NL263 Betriebsnummer: 1416
 Messort: **Fahrerarbeitsplatz** (Fahrer B)
 Messpunkt: Sitzfläche und Sitzmontagepunkt
 Messgerät: KBD1 Messtag: 3.5.2011 (ca.13:09 – 14:05 Uhr)
 Betriebszustand: Gesamtmessung, Fahrt im regulären Linienbetrieb (Linie 110)
 Sitzeinstellungen: verstellbarer vertikaler Schwingungsdämpfer: weich
 Höheneinstellung: ca. 25 mm vom unteren Anschlag (mit sitzendem Fahrer)

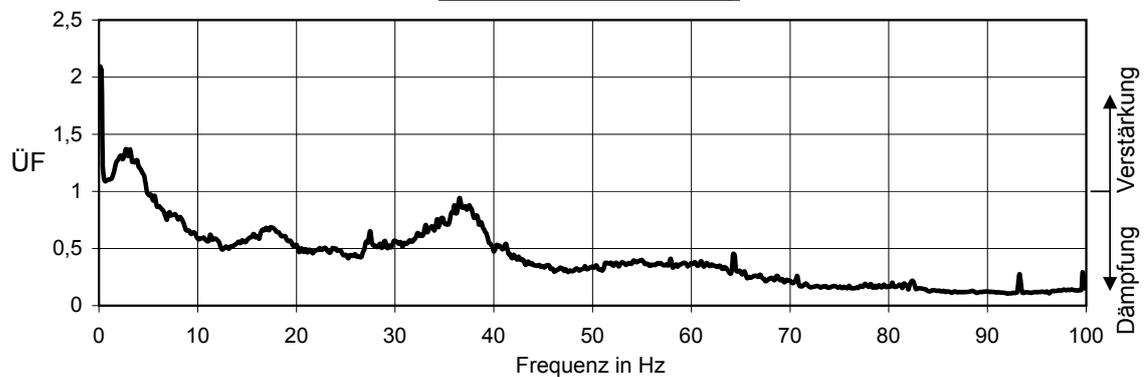


Messrichtungen

Darstellung der spektralen Leistungsdichte (PSD)



Darstellung der Übertragungsfunktion (ÜF) für die z-Messrichtung





Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
 Fachbereich: Arbeitsgestaltung – Physikalische Einwirkungen, Referat: Vibration
 Alte Heerstraße 111, 53757 Sankt Augustin

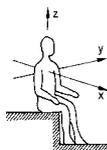
Blatt 15

IFA – Messnummer: 000230 **1231/02.2** 11000

Anlage zum Messbericht: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostraße 47-48, 10709 Berlin

Fahrzeug: Niederflurlinienbus
 Hersteller: MAN Typ: NL263 Betriebsnummer: **1416**

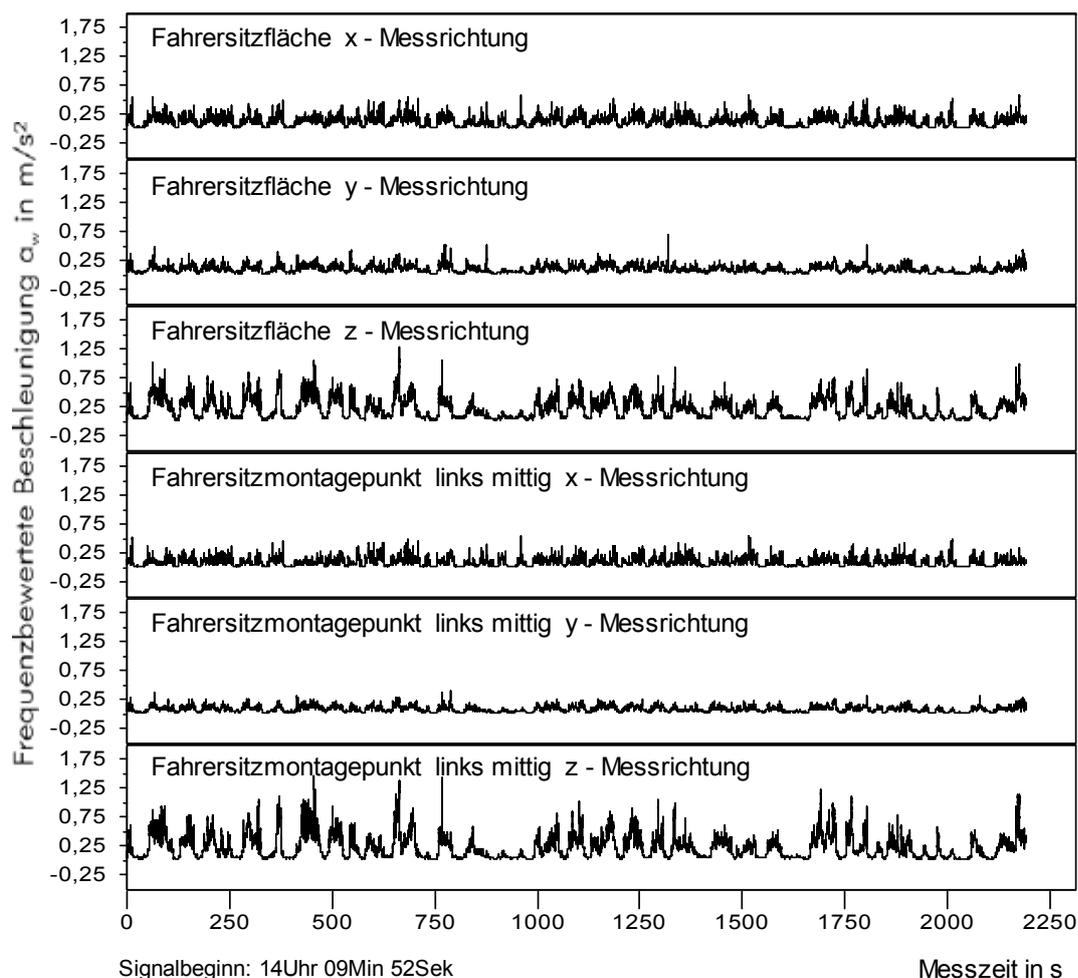
Messort: **Fahrerarbeitsplatz (Fahrer B)**
 Messpunkt: Sitzfläche und Sitzmontagepunkt
 Messgerät: KBD1 Messtag: **3.5.2011** (ca. 14:09 – 15:04 Uhr)
 Betriebszustand: Fahrt im regulären Linienbetrieb (Linie 110)
 Sitzeinstellungen: verstellbarer vertikaler Schwingungsdämpfer: fast hart
 Höheneinstellung: ca. 25 mm vom unteren Anschlag (mit sitzendem Fahrer)



Messrichtungen

Frequenzbewerteter zeitlicher Schwingungsverlauf

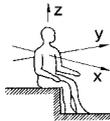
Ausschnitt aus dem frequenzbewerteten zeitlichen Schwingungsverlauf für Ganzkörper - Schwingungseinwirkung; Integrationszeitkonstante $\tau = 1s$



IFA - Messnummer: 000230 **1231/02.2** 11000

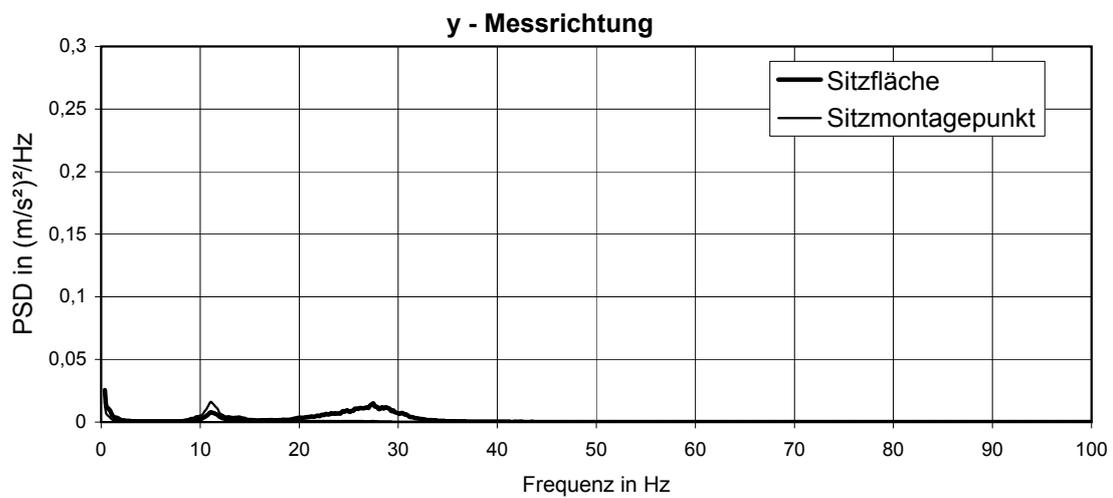
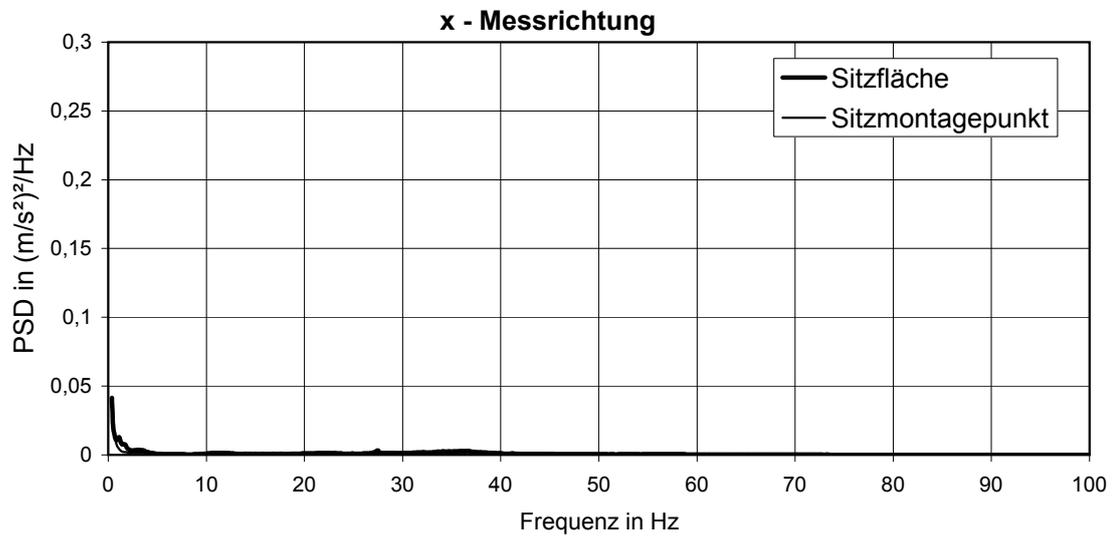
Anlage zum Messbericht: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostraße 47-48, 10709 Berlin

Fahrzeug: Niederflurlinienbus
 Hersteller: MAN Typ: NL263 Betriebsnummer: **1416**
 Messort: **Fahrerarbeitsplatz** (Fahrer B)
 Messpunkt: Sitzfläche und Sitzmontagepunkt
 Messgerät: KBD1 Messtag: **3.5.2011** (ca. 14:09 – 15:04 Uhr)
 Betriebszustand: Gesamtmessung, Fahrt im regulären Linienbetrieb (Linie 110)
 Sitzeinstellungen: verstellbarer vertikaler Schwingungsdämpfer: fast hart
 Höheneinstellung: ca. 25 mm vom unteren Anschlag (mit sitzendem Fahrer)



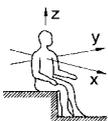
Messrichtungen

Darstellung der spektralen Leistungsdichte (PSD)



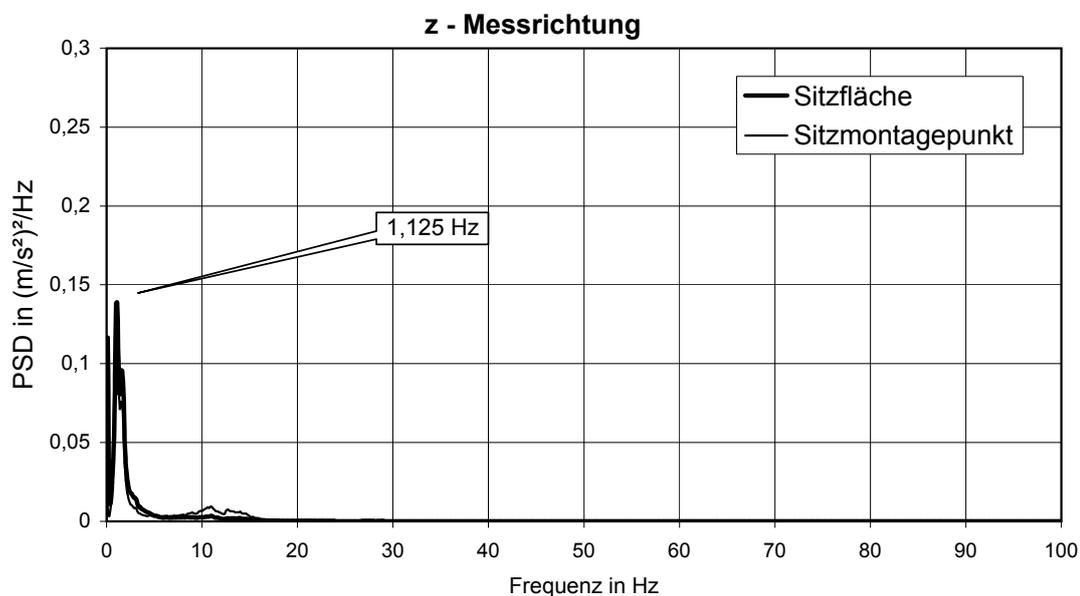
IFA - Messnummer: 000230 **1231/02.2** 11000Anlage zum Messbericht: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostaße 47-48, 10709 Berlin

Fahrzeug: Niederflurlinienbus
 Hersteller: MAN Typ: NL263 Betriebsnummer: 1416
 Messort: **Fahrer Arbeitsplatz** (Fahrer B)
 Messpunkt: Sitzfläche und Sitzmontagepunkt
 Messgerät: KBD1 Messtag: 3.5.2011 (ca. 14:09 – 15:04 Uhr)
 Betriebszustand: Gesamtmessung, Fahrt im regulären Linienbetrieb (Linie 110)
 Sitzeinstellungen: verstellbarer vertikaler Schwingungsdämpfer: fast hart
 Höheneinstellung: ca. 25 mm vom unteren Anschlag (mit sitzendem Fahrer)

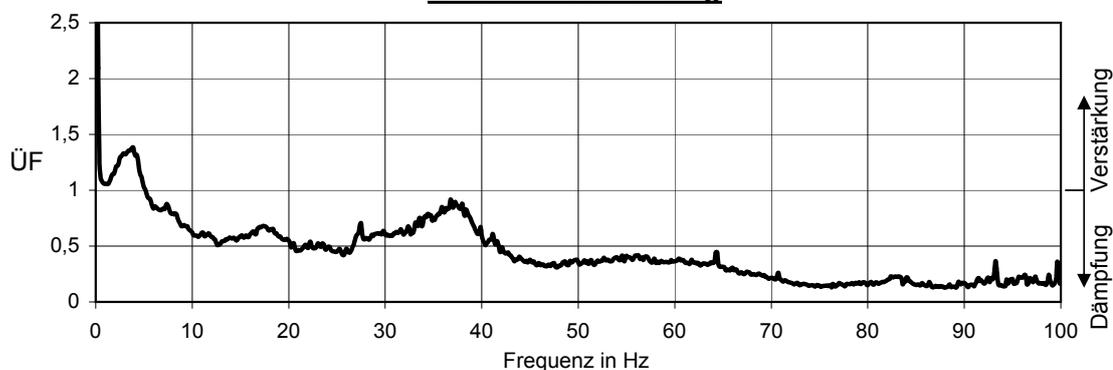


Messrichtungen

Darstellung der spektralen Leistungsdichte (PSD)



Darstellung der Übertragungsfunktion (ÜF) für die z-Messrichtung





IFA – Messnummer: 000230 **1231/03.0** 11000

Anlage zum Messbericht: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostaße 47-48, 10709 Berlin

Fahrzeug: Niederflurlinienbus
Hersteller: MAN **Typ:** NL263 **Betriebsnummer:** 1416

Messort: **Fahrerarbeitsplatz (Fahrer C)**
Messpunkt: Sitzfläche und Sitzmontagepunkt
Messgerät: KBD1 **Messtag:** 3.5.2011 (ca. 15:07 – 16:10 Uhr)
Betriebszustand: Fahrt im regulären Linienbetrieb (Linie 110)
Sitzeinstellungen: verstellbarer vertikaler Schwingungsdämpfer: mittel
 Höheneinstellung: ca. 45 mm vom unteren Anschlag (mit sitzendem Fahrer)



**Messergebnisse nach VDI 2057-1:2002
 und Beurteilung nach der Lärm- und Vibrations- Arbeitsschutzverordnung**

IFA – Messnummer	Einwirkdauer T _e	energieäquivalenter Mittelwert der frequenz- bewerteten Schwingbeschleunigung a _{we} (in m/s ²)						Übertragungsfaktor (SEAT) des Sitzes (SEAT=a _{we} Sitzfläche / a _{we} Sitzmontagepunkt)		
		Sitzfläche Messrichtungen			Sitzmontagepunkt Messrichtungen			Messrichtungen:		
		x	y	z	x	y	z	x	y	z
1231/03.0	1h 2min	0,15	0,12	0,27	0,14	0,09	0,30	1,07	1,33	0,90

Das Fahrzeug wurde am Messtag von ca. 15:07 – 16:10 Uhr messtechnisch begleitet.
 1h 3 min Benutzungsdauer = 1h 2 min Einwirkdauer + 1 min Tätigkeit ohne Schwingungsbelastung

Messwerte: energieäquivalente bewertete Schwingbeschleunigung a_{we} (m/s²) nach VDI 2057-1:2002;
 für die Messrichtung x und y nach der Bewertungskurve W_d und für die Messrichtung z nach der Bewertungskurve W_k
Ohne Faktor für die Messrichtung x und y (k_x=k_y=1,4)

Messwerte für die Einwirkdauer	Schwingungsbelastung auf der Sitzfläche nach der Lärm- und Vibrations- Arbeitsschutzverordnung vom 6. März 2007 (nationale Umsetzung: 2002/44/EG)		
	1,4a _{wx} , 1,4 a _{wy} , a _{wz} (Kriterium Gesundheit) (Messwerte in m/s ²)		
	Variante 1 Die gemessene Belastung ist die einzige Schwingungsbelastung während der täglichen Arbeitszeit.	Variante 2 Das Fahrzeug wird während der täglichen Arbeitszeit mit demselben Verhältnis aus Benutzungsdauer und Einwirkdauer (wie gemessen) benutzt.	Variante 3 Falls die Einwirkdauer 8 h beträgt.
1 h 02 min	Tages-Schwingungsbelastung (errechnet für die tägliche Arbeitszeit 8h)		
	Einwirkdauer: 1 h 02 min	errechnete Einwirkdauer: 7 h 52 min	Einwirkdauer: 8 h
a _w x = 0,15	A _x (8) = 0,08	A_x(8) = 0,21	A _x (8) = 0,21
a _w y = 0,12	A _y (8) = 0,06	A_y(8) = 0,17	A _y (8) = 0,17
a _w z = 0,27	A _z (8) = 0,10	A_z(8) = 0,27	A _z (8) = 0,27

Für den Messtag gehen wir davon aus, dass das Fahrzeug während der Arbeitszeit mit demselben Verhältnis aus Benutzungsdauer und Einwirkdauer (wie gemessen) benutzt wurde. (Variante 2)

Bemerkung: Die vorstehenden Aussagen gelten nur unter der Voraussetzung, dass die während der Messzeit aufgetretene Belastung für die Tätigkeit der **gesamten Arbeitsschicht typisch und repräsentativ ist**. Im Einzelfall empfiehlt sich die kritische Überprüfung des Schichtprofils hinsichtlich Belastungshöhe und zugehöriger Schwingungseinwirkzeit

$$A_i(8) = k_i \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{l=1}^n a_{w,l,i}^2 \cdot T_l}$$

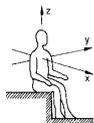
$l = \{x,y,z\}$ $k_x = k_y = 1,4$ $k_z = 1,0$
 $T_0 = 8 \text{ h}$ $i = \text{Expositionsabschnitt}$
 $T_l = (\text{Einwirk})\text{dauer des } l\text{-ten Expositionsabschnittes}$
 $a_{w,l,i} = \text{Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung des } l\text{-ten Expositionsabschnittes}$

IFA – Messnummer: 000230 **1231/03.0** 11000

Anlage zum Messbericht: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostraße 47-48, 10709 Berlin

Fahrzeug: Niederflurlinienbus
 Hersteller: MAN Typ: NL263 Betriebsnummer: **1416**

Messort: **Fahrerarbeitsplatz (Fahrer C)**
 Messpunkt: Sitzfläche und Sitzmontagepunkt
 Messgerät: KBD1 Messtag: **3.5.2011** (ca. 15:07 – 16:10 Uhr)
 Betriebszustand: Fahrt im regulären Linienbetrieb (Linie 110)
 Sitzeinstellungen: verstellbarer vertikaler Schwingungsdämpfer: mittel
 Höheneinstellung: ca. 45 mm vom unteren Anschlag (mit sitzendem Fahrer)



Zusammenstellung der Messergebnisse

Messrichtungen	Einwirk- dauer T_e	energieäquivalenter Mittelwert der frequenz- bewerteten Schwingbeschleunigung a_{we} (in m/s^2)						Übertragungsfaktor (SEAT) des Sitzes (SEAT= a_{we} Sitzfläche / a_{we} Sitzmontagepunkt)		
		Sitzfläche Messrichtungen			Sitzmontagepunkt Messrichtung			Messrichtungen:		
IFA – Messnummer		x	y	z	x	y	z	x	y	z

Gesamtfahrt im regulären Linienbetrieb (Linie 110)
 von Haltestelle Hochmeisterplatz zur Endhaltestelle Oskar-Helene-Heim und bis Endhaltestelle Hertzallee

1231/03.0	1h 2min	0,15	0,12	0,27	0,14	0,09	0,30	1,07	1,33	0,90
-----------	---------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Fahrabschnitte zwischen den Haltestellen ohne Haltestellenstopps

1231/03.1	4min 43s	0,18	0,16	0,48	0,14	0,13	0,59	1,29	1,23	0,81
-----------	----------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

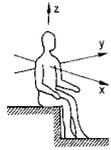
Messwerte: energieäquivalente bewertete Schwingbeschleunigung a_w (m/s^2) nach VDI 2057-1:2002;
 für die Messrichtung x und y nach der Bewertungskurve W_d und für die Messrichtung z nach der Bewertungskurve W_k
Ohne Faktor für die Messrichtung x und y ($k_x=k_y=1,4$)

IFA – Messnummer: 000230 **1231/03.0** 11000

Anlage zum Messbericht: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostaße 47-48, 10709 Berlin

Fahrzeug: Niederflurlinienbus
 Hersteller: MAN Typ: NL263 Betriebsnummer: **1416**

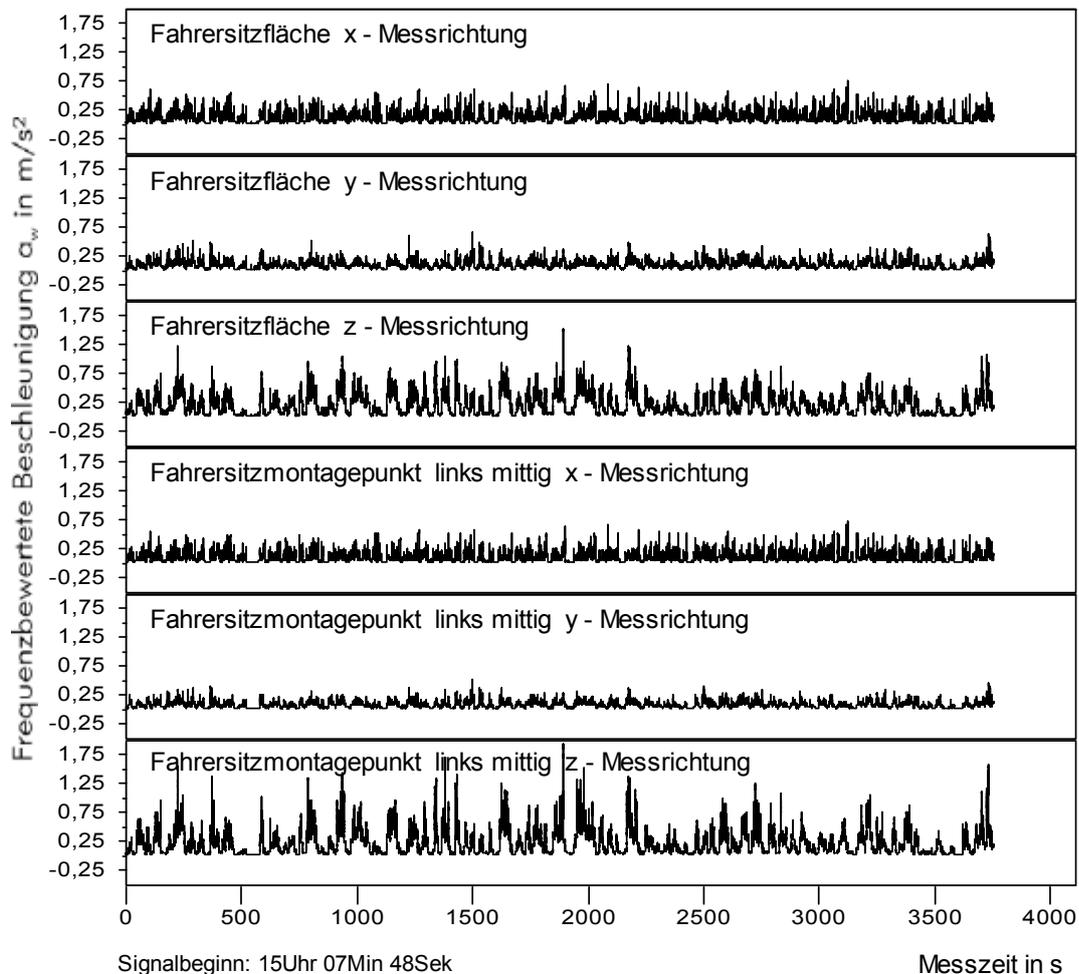
Messort: **Fahrer Arbeitsplatz (Fahrer C)**
 Messpunkt: Sitzfläche und Sitzmontagepunkt
 Messgerät: KBD1 Messtag: **3.5.2011** (ca. 15:07 – 16:10 Uhr)
 Betriebszustand: Fahrt im regulären Linienbetrieb (Linie 110)
 Sitzeinstellungen: verstellbarer vertikaler Schwingungsdämpfer: mittel
 Höheneinstellung: ca. 45 mm vom unteren Anschlag (mit sitzendem Fahrer)



Messrichtungen

Frequenzbewerteter zeitlicher Schwingungsverlauf

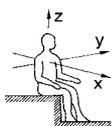
Ausschnitt aus dem frequenzbewerteten zeitlichen Schwingungsverlauf für Ganzkörper - Schwingungseinwirkung; Integrationszeitkonstante $\tau = 1s$



IFA - Messnummer: 000230 **1231/03.0** 11000

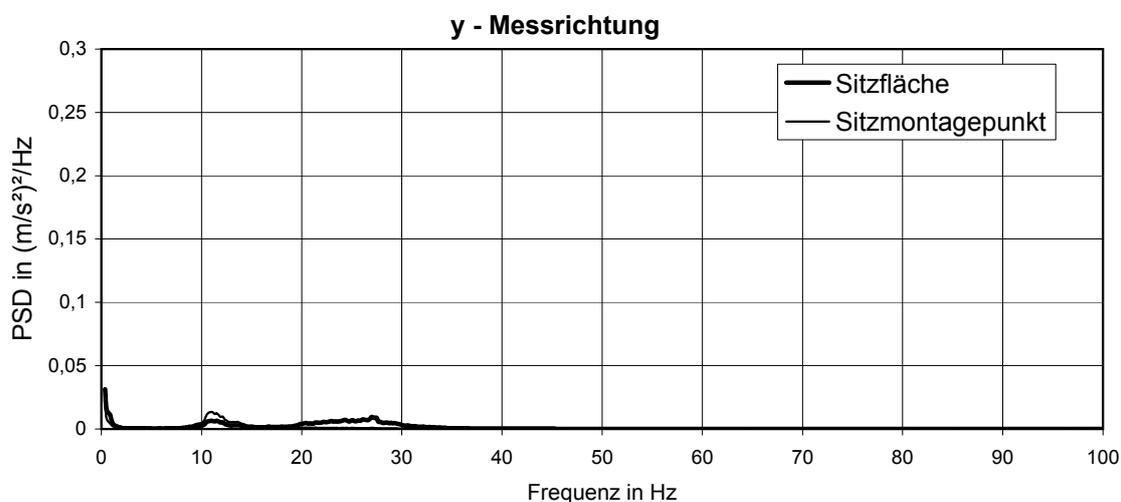
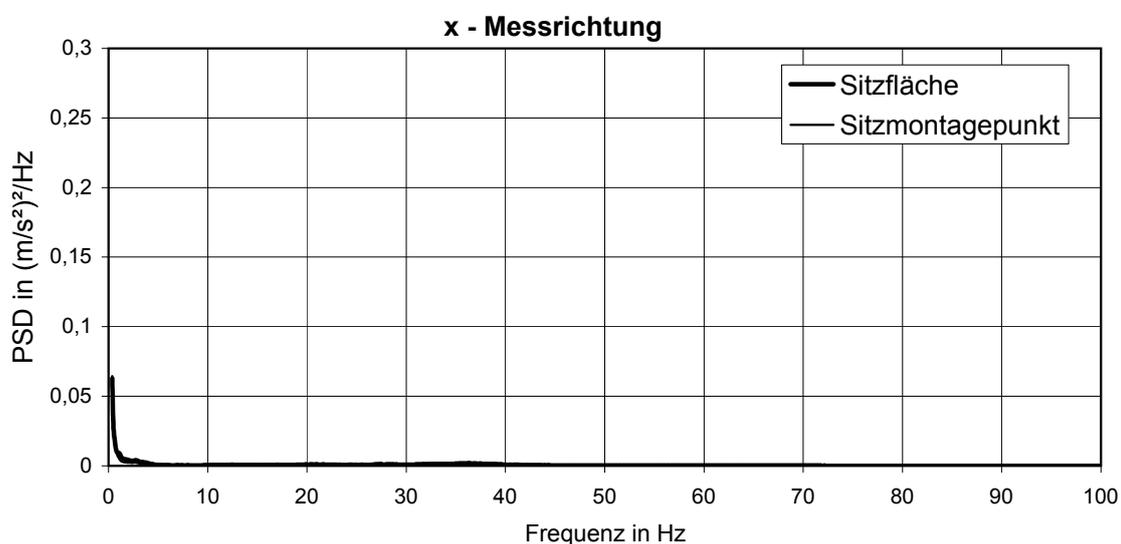
Anlage zum Messbericht: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostraße 47-48, 10709 Berlin

Fahrzeug: Niederflurlinienbus
 Hersteller: MAN Typ: NL263 Betriebsnummer: **1416**
 Messort: **Fahrerarbeitsplatz** (Fahrer C)
 Messpunkt: Sitzfläche und Sitzmontagepunkt
 Messgerät: KBD1 Messtag: **3.5.2011** (ca. 15:07 – 16:10 Uhr)
 Betriebszustand: Gesamtmessung, Fahrt im regulären Linienbetrieb (Linie 110)
 Sitzeinstellungen: verstellbarer vertikaler Schwingungsdämpfer: mittig
 Höheneinstellung: ca. 45 mm vom unteren Anschlag (mit sitzendem Fahrer)



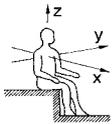
Messrichtungen

Darstellung der spektralen Leistungsdichte (PSD)



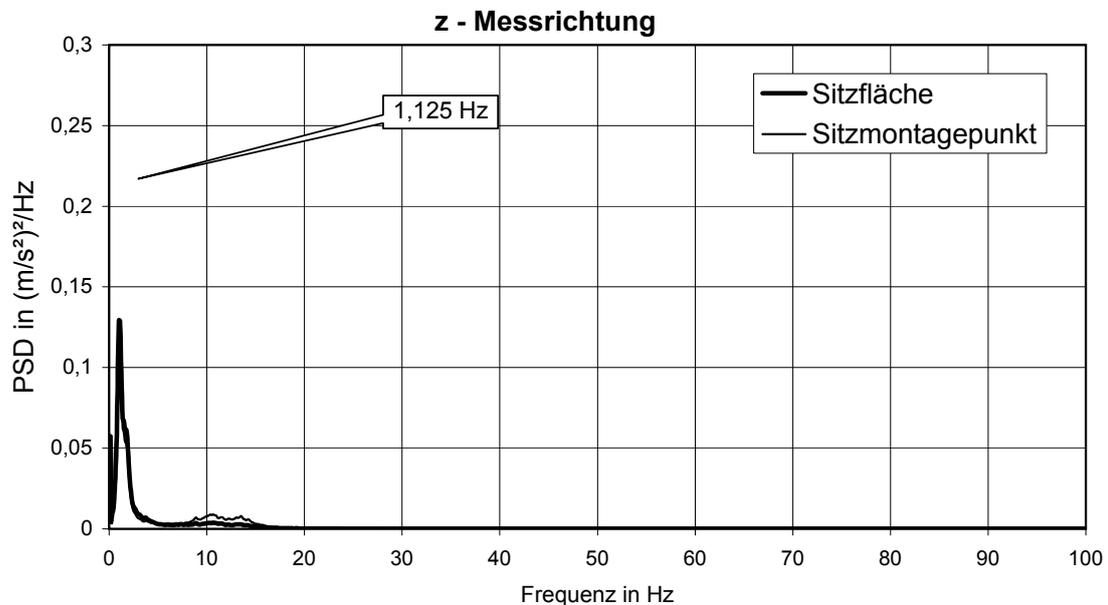
IFA - Messnummer: 000230 **1231/03.0** 11000Anlage zum Messbericht: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostaße 47-48, 10709 Berlin

Fahrzeug: Niederflurlinienbus
 Hersteller: MAN Typ: NL263 Betriebsnummer: 1416
 Messort: **Fahrerarbeitsplatz** (Fahrer C)
 Messpunkt: Sitzfläche und Sitzmontagepunkt
 Messgerät: KBD1 Messtag: 3.5.2011 (ca. 15:07 – 16:10 Uhr)
 Betriebszustand: Gesamtmessung, Fahrt im regulären Linienbetrieb (Linie 110)
 Sitzeinstellungen: verstellbarer vertikaler Schwingungsdämpfer: mittig
 Höheneinstellung: ca. 45 mm vom unteren Anschlag (mit sitzendem Fahrer)

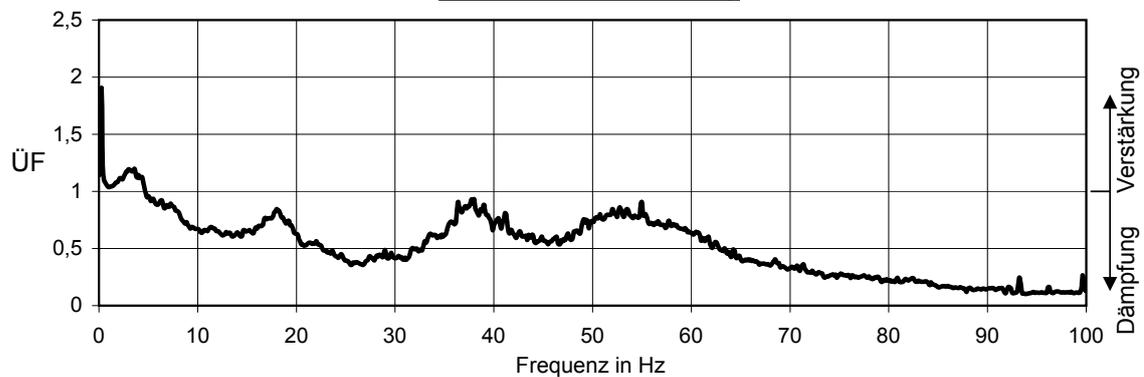


Messrichtungen

Darstellung der spektralen Leistungsdichte (PSD)



Darstellung der Übertragungsfunktion (ÜF) für die z-Messrichtung





MESSPROTOKOLL FÜR GANZKÖRPER- SCHWINGUNGSUNTERSUCHUNGEN AN ARBEITSPLÄTZEN AUF LANDFAHRZEUGEN

E-Bogen: E2011 20036 Bearbeiter: Gö / Sy IFA – Messnummer: 000230 **1232/00.0** 11000

1. Allgemeine Angaben

Messtag: 4.5.2011 BG/Unfallkasse/Auftraggeber: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft

Firmenanschrift: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostraße 47-48, 10709 Berlin

Teilnehmer an der Messung: Herr Wehner, BVG Fahrdienstleiter

Herr Meyer, Firma Isringhausen

Herr Göres und Herr Sayn, IFA Sankt Augustin

2. Beschreibung des Arbeitsplatzes

Fahrer D: Alter 30 Jahre Größe 178 cm Gewicht 74 kg Schwingungswahrnehmung: gerade gut stark sehr stark

Fahr- und Arbeitsweise: 1 2 3 4 5 6

Umgebungseinflüsse: Abgase Lärm

Temperatur ca. 12 °C Staub

Arbeitsbereich: Buslinie 110 in Berlin, zwischen den Endhaltestellen Hertzallee und Oskar-Helene-Heim

3. Beschreibung des Fahrzeuges

Hersteller: MAN

Fahrzeugtyp: NL263

Fahrzeugart (Oberbegriff): Busse

Fahrzeugart (Unterbegriff): Niederflurlinienbus

Fahrzeugident.-Nr.: WMAA21ZZ04B024012

Betriebsnummer: 1412 polizeil. Kennzeichen: B – V 1412

Baujahr: 4/2004 Leistungsklasse: 191 kW

Betriebsstunden: _____ -kilometer: 494 360 km

Eigengewicht: 12 000 kg

Zul. Gesamtgewicht: 18 000 kg

Nenntragfähigkeit: 6 000 kg

Antriebsart: Verbrennungsmotor

Anzahl der Sitz- oder Stehplätze: 30 / 49

Abweichung vom maschinenspezifischen Normalzustand: 1 2 3 4 5 6

Sonstiges: Fahrzeugnummer: A213079



3.1 Beschreibung des Fahrwerkes

Fahrzeugfederung: Luftfedern mit Öldämpfern

Fortbewegungssystem: Räder

Art der Bereifung: Luftreifen

Anzahl der Räder: 6 angetrieben: 4

Anzahl der Achsen: 2 angetrieben: 1

Reifen-Nennbreite: 275 mm

Felgendurchmesser: 22,5 Zoll

Raddurchmesser:

Ist-Reifenluftdruck: vorne 7,5 bar hinten 7,5 bar

Sollreifenluftdruck: vorne 7,5 bar hinten 7,5 bar

Sonstiges: Reifengröße: 275/70 R 22,5

IFA – Messnummer: 000230 **1232/00.0** 11000**4.1 Beschreibung des Fahrersitzes**

Hersteller: **Isringhausen** Typ: **6860/ 880E NTS2 (Prototyp)**

Feder-Dämpfer-System (x-Richtung): **kein Federsystem** Schwingweg(x): **0 mm**

Feder-Dämpfer-System (y-Richtung): **kein Federsystem** Schwingweg(y): **0 mm**

Feder-Dämpfer-System (z-Richtung): **Luftfeder - Öldämpfer** Schwingweg(z): **ca. 160 mm**

Aufbau der Sitzfläche: **Stahlblechwanne / Polster / Stoffbezug**

Kinematik der Sitzführung (z-Richtung): **Scheren-Schwingsystem**

Baujahr: **2011** Gewichtseinstellung: ja: **automatisch** nein Geprüft: _____

Sitzverstellung: vertikal: **ca. 110 mm (Höheneinstellung)** horizontal: **> 150 mm**

Rückenlehnenverstellung: nach vorne: **ja** nach hinten: **ja**

Sonstiges: **Sitzkissentiefe einstellbar, obere Rückenlehnenhälfte einstellbar, pneumatisch einstellbare Lendenwirbelstützen (obere und untere) und Seitenwülste, Sitzneigung einstellbar.**
Die Dämpfung des vertikalen Schwingungsdämpfers ist stufenlos verstellbar (weich bis hart), Vertikale Sitzverstellung und Gewichtseinstellung sind gekoppelt.
Bei tiefster oder höchster Höhenverstellung bleibt ein Restschwingweg von ca. 25 mm vorhanden.

Funktionsbeschreibung aus der Bedienungsanleitung des Sitzes: (siehe auch Blatt 31)

Der elektromotorische ISRI-Bussitz ist ausgelegt für das Abspeichern und Anfahren der folgenden elektromotorisch angetriebenen Sitzeinstellungen: - Neigungseinstellung, - Horizontaleinstellung, - Höheneinstellung, - Rückenlehneneinstellung
 Diese Sitzeinstellungen werden mittels Memorytasten und zusätzlich auf einer persönlichen Chipkarte gespeichert.
 Hierdurch hat der Fahrer die Möglichkeit, seine Sitzposition auch in anderen Fahrzeugen mit gleichen ISRI-Bussitzen aufzurufen.
 Steckt der Fahrer die Chipkarte ins Lesegerät, werden die Daten von der Karte an den Sitz übertragen und dieser fährt automatisch die erste gespeicherte Position an. Ändert der Fahrer die Sitzposition, oder speichert er eine neue Position mit den Memorytasten ab, werden die neuen Positionsdaten automatisch an die Chipkarte übertragen und gespeichert. Die Memoryposition kann nur in Verbindung mit einem speziellen Programmieradapter geändert / gespeichert werden. Der Adapter ist hierzu zwischen Sitz und Bedieneinheit anzuschließen.

4.2 Beschreibung der Führerhausfederung

ja nein

Art der Federung: vorne: _____

hinten: _____

5. Angaben zur Messung

Art der Messung: **Betriebsmessung**

Ort des Messpunktes (Einleitungsstelle): **Sitzfläche und Sitzmontagepunkt mit der Messeinrichtung KBD1**

Anbringung der Aufnehmer u. Koordinatensystem: **x -, y - und z - Richtung**

Beschreibung der Betriebszustände

Lfd. Nr.: **1232/01.0**

Beschreibung des Arbeitsganges (Betriebszustand): **Fahrt im regulären Linienbetrieb (Linie 110)**

Fahrbahn: **gute bis mittlere Fahrbahn**

Maximale Expositionszeit pro Jahr: _____ pro Tag: _____

Nutzlast: **3 bis ca. 50 Fahrgäste**

Fahrgeschwindigkeit: **0 – 50 km/h**

Körperhaltung: **sitzen**

Oberkörper: normal verdreht seitgeneigt vorgebeugt

Kopf: normal verdreht seitgeneigt vorgebeugt überstreckt

Fahr- und Arbeitsweise: **normale zügige Fahrt**

Sitzeinstellung: **Höheneinstellung individuell vom Fahrer:**

ca. 25 mm vom unteren Anschlag (mit sitzendem Fahrer)

Einstellung des vertikalen Schwingungsdämpfers: fast hart



Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
Fachbereich: Arbeitsgestaltung – Physikalische Einwirkungen, Referat: Vibration
Alte Heerstraße 111, 53757 Sankt Augustin

Blatt 25

IFA – Messnummer: 000230 **1232/00.0** 11000

Anlage zum Messbericht: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostraße 47-48, 10709 Berlin

Fahrzeug: Niederflurlinienbus
Hersteller: MAN Typ: NL263 Betriebsnummer: **1412**

Dokumentation der Messsituation und Anbringung der Beschleunigungsaufnehmer



Niederflurlinienbus



Beschleunigungsaufnehmer auf der Fahrersitzfläche und am Fahrersitzmontagepunkt



IFA – Messnummer: 000230 **1232/01.0** 11000

Anlage zum Messbericht: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostaße 47-48, 10709 Berlin

Fahrzeug: Niederflurlinienbus
 Hersteller: MAN Typ: NL263 Betriebsnummer: **1412**

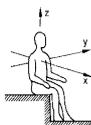
Messort: **Fahrerarbeitsplatz (Fahrer D)**

Messpunkt: Sitzfläche und Sitzmontagepunkt

Messgerät: KBD1 Messtag: **4.5.2011** (ca. 9:48 – 10:58 Uhr)

Betriebszustand: Fahrt im regulären Linienbetrieb (Linie 110)

Sitzeinstellungen: verstellbarer vertikaler Schwingungsdämpfer: fast hart
 Höheneinstellung: ca. 25 mm vom unteren Anschlag (mit sitzendem Fahrer)



**Messergebnisse nach VDI 2057-1:2002
 und Beurteilung nach der Lärm- und Vibrations- Arbeitsschutzverordnung**

IFA – Messnummer	Einwirkdauer T _e	energieäquivalenter Mittelwert der frequenzbewerteten Schwingbeschleunigung a _{we} (in m/s ²)						Übertragungsfaktor (SEAT) des Sitzes (SEAT=a _{we} Sitzfläche / a _{we} Sitzmontagepunkt)		
		Sitzfläche Messrichtungen			Sitzmontagepunkt Messrichtungen			Messrichtungen:		
		x	y	z	x	y	z	x	y	z
1232/01.0	1h 4min	0,15	0,15	0,36	0,14	0,12	0,37	1,07	1,25	0,97

Das Fahrzeug wurde am Messtag von ca. 9:48 – 10:58 Uhr messtechnisch begleitet.
 1h 10 min Benutzungsdauer = 1h 4 min Einwirkdauer + 6 min Tätigkeit ohne Schwingungsbelastung

Messwerte: energieäquivalente bewertete Schwingbeschleunigung a_{we} (m/s²) nach VDI 2057-1:2002;
 für die Messrichtung x und y nach der Bewertungskurve W₀ und für die Messrichtung z nach der Bewertungskurve W_k
Ohne Faktor für die Messrichtung x und y (k_x=k_y=1,4)

Schwingungsbelastung auf der Sitzfläche nach der Lärm- und Vibrations- Arbeitsschutzverordnung vom 6. März 2007 (nationale Umsetzung: 2002/44/EG)			
1,4a _{wx} , 1,4 a _{wy} , a _{wz} (Kriterium Gesundheit) (Messwerte in m/s ²)			
Messwerte für die Einwirkdauer	Variante 1	Variante 2	Variante 3
		Die gemessene Belastung ist die einzige Schwingungsbelastung während der täglichen Arbeitszeit.	Das Fahrzeug wird während der täglichen Arbeitszeit mit demselben Verhältnis aus Benutzungsdauer und Einwirkdauer (wie gemessen) benutzt.
	Tages-Schwingungsbelastung (errechnet für die tägliche Arbeitszeit 8h)		
1 h 04 min	Einwirkdauer: 1 h 04 min	errechnete Einwirkdauer: 7 h 18 min	Einwirkdauer: 8 h
a _w x = 0,15	A _x (8)= 0,08	A_x(8)= 0,20	A _x (8)= 0,21
a _w y = 0,15	A _y (8)= 0,08	A_y(8)= 0,20	A _y (8)= 0,21
a _w z = 0,36	A _z (8)= 0,13	A_z(8)= 0,34	A _z (8)= 0,36

Für den Messtag gehen wir davon aus, dass das Fahrzeug während der Arbeitszeit mit demselben Verhältnis aus Benutzungsdauer und Einwirkdauer (wie gemessen) benutzt wurde. (Variante 2)

Bemerkung: Die vorstehenden Aussagen gelten nur unter der Voraussetzung, dass die während der Messzeit aufgetretene Belastung für die Tätigkeit der **gesamten Arbeitsschicht typisch und repräsentativ ist**. Im Einzelfall empfiehlt sich die kritische Überprüfung des Schichtprofils hinsichtlich Belastungshöhe und zugehöriger Schwingungseinwirkzeit

$$A_i(8) = k_i \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{l=1}^n a_{w,l,i}^2 \cdot T_l}$$

I = {x,y,z} k_x = k_y = 1,4 k_z = 1,0
 T₀ = 8 h i = Expositionsabschnitt
 T_l = (Einwirk)dauer des i-ten Expositionsabschnittes
 a_{w,l,i} = Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung des i-ten Expositionsabschnittes



Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
 Fachbereich: Arbeitsgestaltung – Physikalische Einwirkungen, Referat: Vibration
 Alte Heerstraße 111, 53757 Sankt Augustin

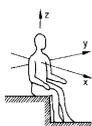
Blatt 27

IFA – Messnummer: 000230 **1232/01.0** 11000

Anlage zum Messbericht: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostaße 47-48, 10709 Berlin

Fahrzeug: Niederflurlinienbus
 Hersteller: MAN Typ: NL263 Betriebsnummer: **1412**

Messort: **Fahrerarbeitsplatz (Fahrer D)**
 Messpunkt: Sitzfläche und Sitzmontagepunkt
 Messgerät: KBD1 Messtag: **4.5.2011** (ca. 9:48 – 10:58 Uhr)
 Betriebszustand: Fahrt im regulären Linienbetrieb (Linie 110)
 Sitzeinstellungen: verstellbarer vertikaler Schwingungsdämpfer: fast hart
 Höheneinstellung: ca. 25 mm vom unteren Anschlag (mit sitzendem Fahrer)



Zusammenstellung der Messergebnisse

IFA – Messnummer	Einwirk- dauer T_e	energieäquivalenter Mittelwert der frequenz- bewerteten Schwingbeschleunigung a_{we} (in m/s^2)						Übertragungsfaktor (SEAT) des Sitzes (SEAT= a_{we} Sitzfläche / a_{we} Sitzmontagepunkt)		
		Sitzfläche Messrichtungen			Sitzmontagepunkt Messrichtung			Messrichtungen:		
		x	y	z	x	y	z	x	y	z

Gesamtfahrt im regulären Linienbetrieb (Linie 110)
 von Endhaltestelle Hertzallee zur Endhaltestelle Oskar-Helene-Heim und zurück bis Endhaltestelle Hertzallee

1232/01.0	1h 4min	0,15	0,15	0,36	0,14	0,12	0,37	1,07	1,25	0,97
-----------	---------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Fahrabschnitte zwischen den Haltestellen ohne Haltestellenstopps

1232/01.1	4min 56s	0,14	0,19	0,59	0,13	0,16	0,65	1,08	1,19	0,91
-----------	----------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

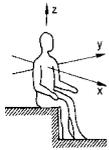
Messwerte: energieäquivalente bewertete Schwingbeschleunigung a_w (m/s^2) nach VDI 2057-1:2002;
 für die Messrichtung x und y nach der Bewertungskurve W_d und für die Messrichtung z nach der Bewertungskurve W_k
Ohne Faktor für die Messrichtung x und y ($k_x=k_y=1,4$)

IFA – Messnummer: 000230 **1232/01.0** 11000

Anlage zum Messbericht: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostraße 47-48, 10709 Berlin

Fahrzeug: Niederflurlinienbus
 Hersteller: MAN Typ: NL263 Betriebsnummer: **1412**

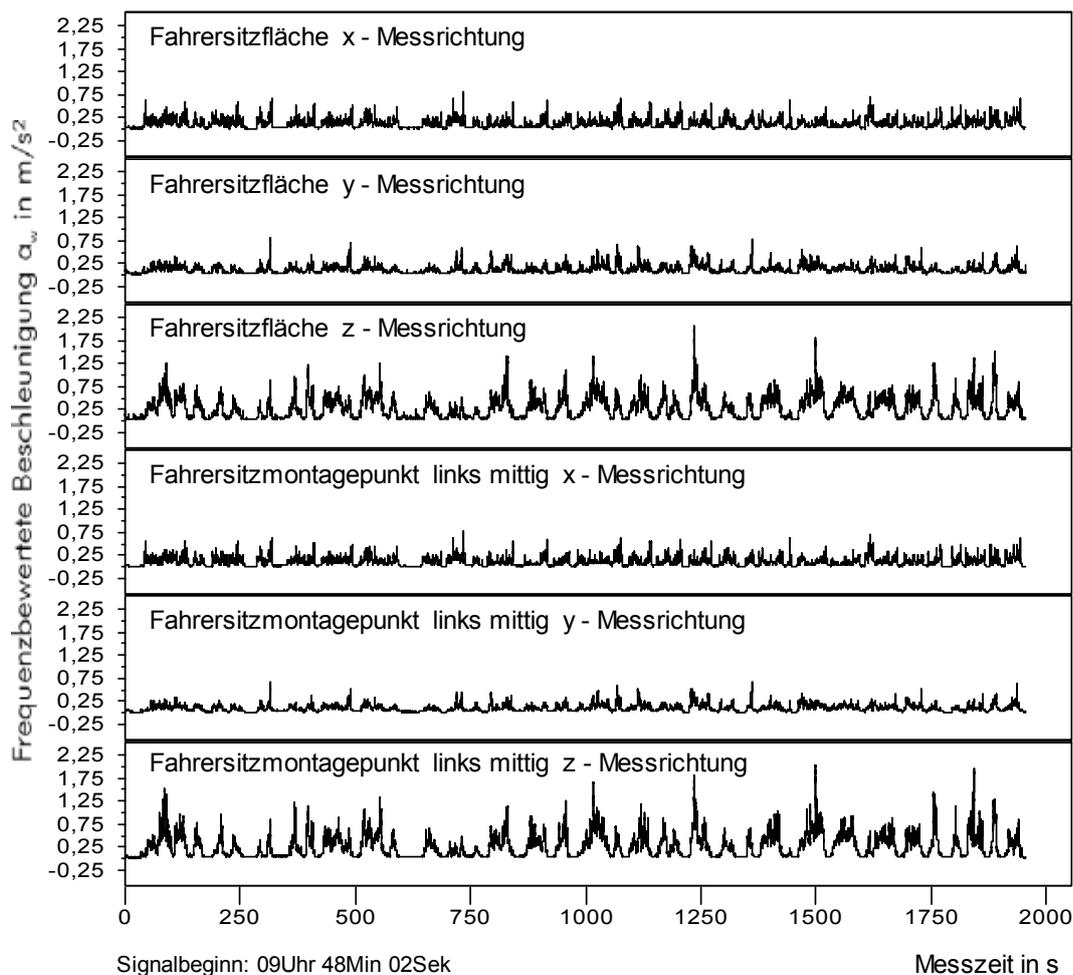
Messort: **Fahrer Arbeitsplatz (Fahrer D)**
 Messpunkt: Sitzfläche und Sitzmontagepunkt
 Messgerät: KBD1 Messtag: **4.5.2011** (ca. 9:48 – 10:58 Uhr)
 Betriebszustand: Fahrt im regulären Linienbetrieb (Linie 110)
 Sitzeinstellungen: verstellbarer vertikaler Schwingungsdämpfer: fast hart
 Höheneinstellung: ca. 25 mm vom unteren Anschlag (mit sitzendem Fahrer)



Messrichtungen

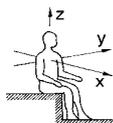
Frequenzbewerteter zeitlicher Schwingungsverlauf

Ausschnitt aus dem frequenzbewerteten zeitlichen Schwingungsverlauf für Ganzkörper - Schwingungseinwirkung; Integrationszeitkonstante $\tau = 1s$



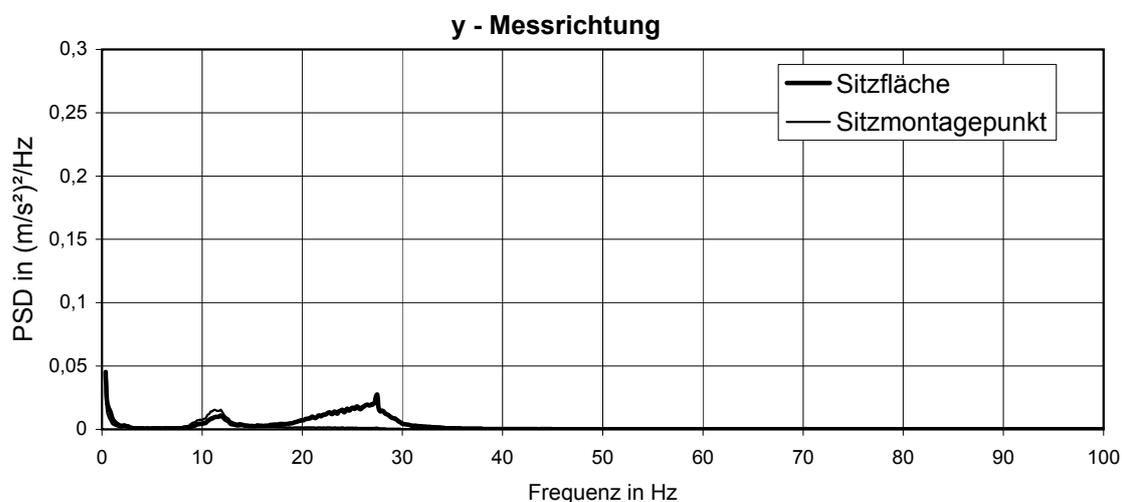
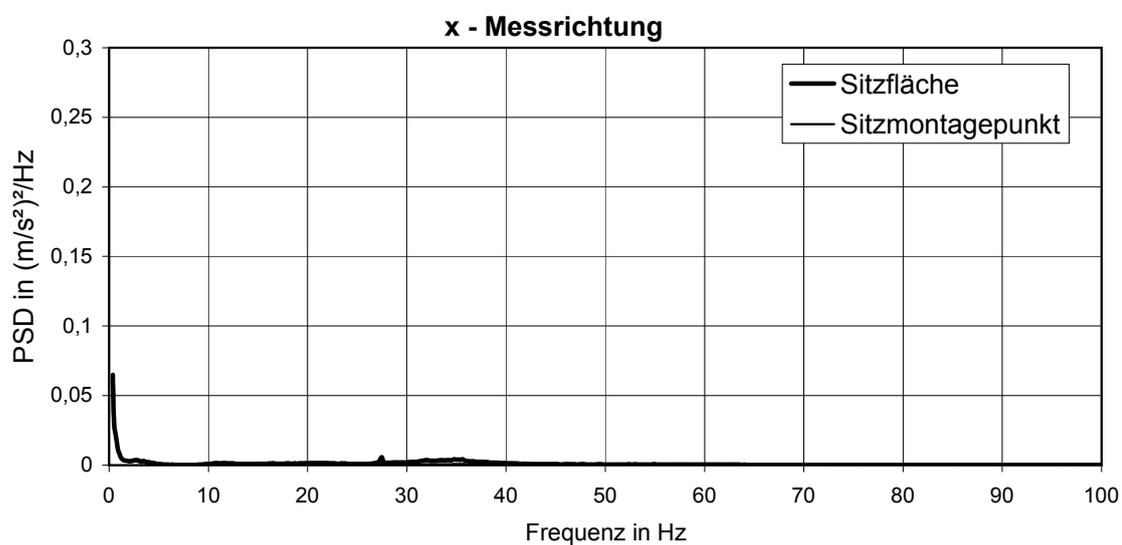
IFA - Messnummer: 000230 **1232/01.0** 11000Anlage zum Messbericht: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostraße 47-48, 10709 Berlin

Fahrzeug: Niederflurlinienbus
 Hersteller: MAN Typ: NL263 Betriebsnummer: **1412**
 Messort: **Fahrerarbeitsplatz** (Fahrer D)
 Messpunkt: Sitzfläche und Sitzmontagepunkt
 Messgerät: KBD1 Messtag: **4.5.2011** (ca. 9:48 – 10:58 Uhr)
 Betriebszustand: Gesamtmessung, Fahrt im regulären Linienbetrieb (Linie 110)
 Sitzeinstellungen: verstellbarer vertikaler Schwingungsdämpfer: fast hart
 Höheneinstellung: ca. 25 mm vom unteren Anschlag (mit sitzendem Fahrer)



Messrichtungen

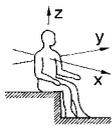
Darstellung der spektralen Leistungsdichte (PSD)



IFA - Messnummer: 000230 **1232/01.0** 11000

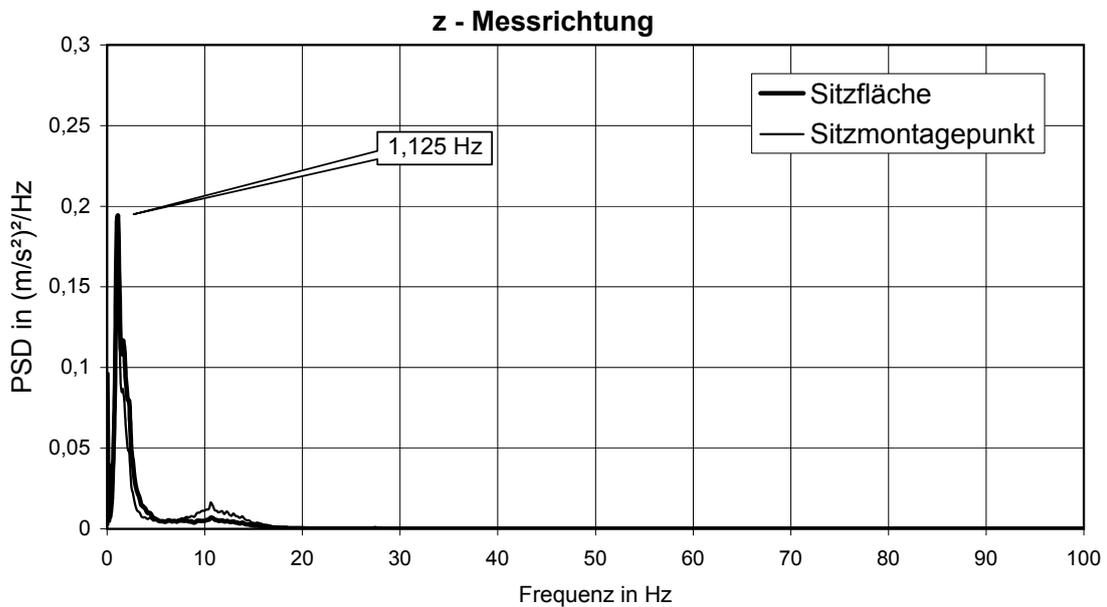
Anlage zum Messbericht: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostaße 47-48, 10709 Berlin

Fahrzeug: Niederflurlinienbus
 Hersteller: MAN Typ: NL263 Betriebsnummer: 1412
 Messort: **Fahrerarbeitsplatz** (Fahrer D)
 Messpunkt: Sitzfläche und Sitzmontagepunkt
 Messgerät: KBD1 Messtag: 4.5.2011 (ca. 9:48 – 10:58 Uhr)
 Betriebszustand: Gesamtmessung, Fahrt im regulären Linienbetrieb (Linie 110)
 Sitzeinstellungen: verstellbarer vertikaler Schwingungsdämpfer: fast hart
 Höheneinstellung: ca. 25 mm vom unteren Anschlag (mit sitzendem Fahrer)

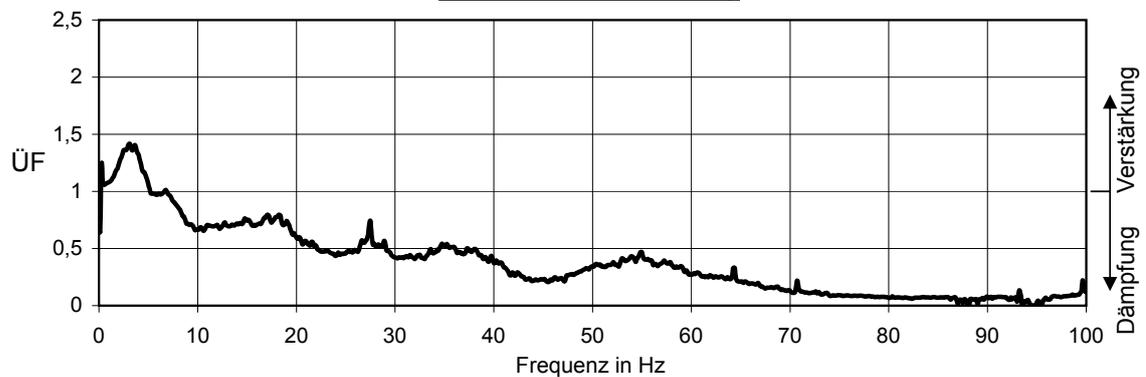


Messrichtungen

Darstellung der spektralen Leistungsdichte (PSD)



Darstellung der Übertragungsfunktion (ÜF)
für die z-Messrichtung



IFA – Messnummer: 000230 **1231/00.0** 11000
 und IFA – Messnummer: 000230 **1232/00.0** 11000

Anlage zum Messbericht: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostaße 47-48, 10709 Berlin

Fahrzeuge: Niederflurlinienbusse
 Hersteller: MAN Typ: NL263 Betriebsnummer: 1416 und 1412

Auszüge aus der Bedienungsanleitung des Fahrersitzes (Firma Isringhausen)





IFA – Messnummer: 000230 **1231/00.0** 11000
 und IFA – Messnummer: 000230 **1232/00.0** 11000

Anlage zum Messbericht: BVG Berliner Verkehrsbetriebe, Cicerostraße 47-48, 10709 Berlin

Fahrzeuge: Niederflurlinienbusse
 Hersteller: MAN Typ: NL263 Betriebsnummer: **1416** und **1412**

Verwendete Mess- und Auswertegeräte für die Erfassung und Analyse der Beschleunigungssignale mit Messeinrichtung PSC16

Messwerterfassung:

3 Beschleunigungsaufnehmer **Typ 7265A-HS** Firma *Endevco* für die Messrichtungen x, y und z (Sitzmontagepunkt - Fahrersitz)

3 Beschleunigungsaufnehmer **Typ 7265A-HS** Firma *Endevco* für die drei Messrichtungen x, y und z (Sitzfläche - Fahrersitz) eingebaut in eine halbelastische Messscheibe

Messverstärker
 und
 Datenlogger **KBD1** IFA
 bestehend aus 16-kanaligem Messverstärker CF-Karten Logger

Kalibrator: **Typ BSK 2 ST** Firma *Bach-Messtechnik*

Messwertanalyse: (Pegelschrieb, a_w -Werte und Frequenzanalyse)

PC **Typ Intel Pentium 4/Celeron 400/533MHz** Firma *Turtle*

Messwertanalysesoftware **Version 1.0** BGIA
 nach DIN EN ISO 8041:2005 und ISO 2631-1:1997

Verwendete Normen und Messvorschriften

VDI 2057:2002	Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen Blatt 1: Ganzkörper-Schwingungen	(9.02)
ISO 2631-1: 1997	Mechanical vibration and shock- Evaluation of human exposure to whole-body vibration Part 1: General requirements	(5.97)
DIN EN 30326-1:1994	Mechanische Schwingungen - Laborverfahren zur Bewertung der Schwingungen von Fahrersitzen - Grundlegende Anforderungen (ISO 10326-1:1992)	(6.94)
DIN EN 14253:2008	Mechanische Schwingungen – Messung und rechnerische Ermittlung der Einwirkung von Ganzkörper Schwingungen auf den Menschen im Hinblick auf seine Gesundheit – Praxisgerechte Anleitung	(2.08)
DIN EN ISO 8041:2005	Schwingungseinwirkung auf den Menschen - Messeinrichtung	(7.05)
	Lärm- und Vibrations- Arbeitsschutzverordnung (nationale Umsetzung: 2002/44/EG)	(3.06)
DIN EN ISO 7096:2001	Erdbaumaschinen - Mechanische Schwingungen Laborverfahren zur Bewertung der Schwingungen des Maschinenführersitzes	(11.01)
DIN EN 13490:2002	Flurförderzeuge - Mechanische Schwingungen Laborverfahren zur Bewertung sowie Spezifikation der Schwingungen des Maschinenführersitzes	(2.02)

Hinweise zur Berechnung der Ganzkörperschwingungsbelastung

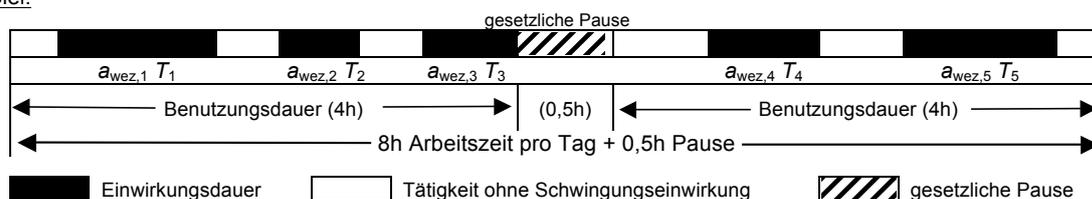
1. Zusammenfassen mehrerer Belastungsabschnitte

Die Schwingungsbelastung kann sich zum Beispiel dadurch ändern, dass sich die Betriebszustände eines Fahrzeugs ändern, oder dass verschiedene Fahrzeuge bedient werden. Liegen für die Abschnitte i die Einwirkungsauern T_i und die Effektivwerte der frequenzbewerteten Beschleunigung in der Schwingungsrichtung $l = \{x, y, z\}$ vor, werden diese Abschnitte wie folgt zusammengefasst (VDI 2057-1:2002):

$$a_{we,l} = \sqrt{\frac{1}{T_e} \sum T_i a_{we,l,i}^2} \quad (1)$$

Hierbei ist die gesamte Einwirkungsauer T_e die Summe der betrachteten Einwirkungsauern T_i . Dabei ist die Einwirkungsauer derjenige Bruchteil der Benutzungsdauer, in der der Beschäftigte im Kontakt mit der vibrierenden Sitzfläche ist. Die Messzeit kann sich davon unterscheiden.

Beispiel:



Beispielrechnung für die z-Richtung:

$$\begin{aligned} a_{we,z,1} &= 0,34 \text{ m/s}^2 & T_1 &= 2 \text{ h} & a_{we,z,4} &= 0,52 \text{ m/s}^2 & T_4 &= 1 \text{ h} \\ a_{we,z,2} &= 0,61 \text{ m/s}^2 & T_2 &= 1 \text{ h} & a_{we,z,5} &= 0,75 \text{ m/s}^2 & T_5 &= 2 \text{ h} \\ a_{we,z,3} &= 0,25 \text{ m/s}^2 & T_3 &= 0,45 \text{ h} & & & & \end{aligned}$$

$$a_{we,z} = \left[\sqrt{\frac{1}{6,45\text{h}} (0,34^2 \cdot 2\text{h} + 0,61^2 \cdot 1\text{h} + 0,25^2 \cdot 0,45\text{h} + 0,52^2 \cdot 1\text{h} + 0,75^2 \cdot 2\text{h})} \right] \text{ m/s}^2 = 0,56 \text{ m/s}^2$$

2. Tages-Schwingungsbelastung

Um einen Arbeitsplatz zu beurteilen, müssen für jeden Belastungsabschnitt die repräsentativen Werte für $a_{we,l}$ und die repräsentativen Einwirkungsauern während einer Arbeitsschicht ermittelt werden. Für die Beurteilung von Gesundheitsgefährdungen müssen die Konstanten $k_x = k_y = 1,4$ und $k_z = 1,0$ beachtet werden.

Ausgehend von Gleichung (1) oben erhält man die auf acht Stunden normierte Tages-Schwingungsbelastung (Beurteilungsbeschleunigung) durch:

Beispielrechnung: Werte aus Abschnitt 1

$$A_l(8) = a_{w(8),l} = k_l a_{we,l} \sqrt{\frac{T_e}{8\text{h}}} \quad (2) \quad A_z(8) = a_{w(8),z} = k_z 0,56 \text{ m/s}^2 \sqrt{\frac{6,45\text{h}}{8\text{h}}} = 0,50 \text{ m/s}^2$$

3. Tages-Vibrationsexpositionszeit

Die Tages-Schwingungsbelastung wird in drei Bereichen nach der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung bewertet:

- rot - Expositionsgrenzwert überschritten (für $\{x,y\}$ $1,15 \text{ m/s}^2$ für $z = 0,80 \text{ m/s}^2$)
- gelb - zwischen Expositionsgrenzwert und Auslösewert
- grün - unter Auslösewert (für $\{x,y,z\}$ $0,50 \text{ m/s}^2$)

Der Tages-Vibrationsexpositionszeit ist die Tages-Schwingungsbelastung, die im Vergleich mit den anderen im höheren Bereich liegt (rot vor gelb vor grün). Wird der gelbe oder rote Bereich in mehr als einer Richtung erreicht, ist von diesen diejenige Tages-Schwingungsbelastung zu nehmen, die zu der geringsten zulässigen Expositionszeit führt. Die zulässige Expositionszeit wird mit der zugrunde liegenden frequenzbewerteten Beschleunigung $a_{we,l}$ berechnet. Liegen alle Werte im grünen Bereich, so ist der Höchste zu nehmen.

Beispiele für die Auswahl des $A(8)$

$$\begin{aligned} \text{a: } & A_x(8) = 0,32 \text{ m/s}^2 \quad A_y(8) = 0,45 \text{ m/s}^2 \quad A_z(8) = 0,33 \text{ m/s}^2 & \Rightarrow & \quad \mathbf{A(8) = A_y(8) = 0,45 \text{ m/s}^2} \\ \text{b: } & A_x(8) = 0,60 \text{ m/s}^2 \quad A_y(8) = 0,45 \text{ m/s}^2 \quad A_z(8) = 0,52 \text{ m/s}^2 & \Rightarrow & \quad \mathbf{A(8) = A_z(8) = 0,52 \text{ m/s}^2} \\ \text{c: } & A_x(8) = 0,90 \text{ m/s}^2 \quad A_y(8) = 0,95 \text{ m/s}^2 \quad A_z(8) = 0,85 \text{ m/s}^2 & \Rightarrow & \quad \mathbf{A(8) = A_z(8) = 0,85 \text{ m/s}^2} \end{aligned}$$

Beispielrechnung für die zulässige Expositionszeit T_{Exp} :

$$T_{Exp} = 8\text{h} \left(\frac{0,8 \text{ m/s}^2}{k_z 0,56 \text{ m/s}^2} \right)^2 = 16,33\text{h} \quad \text{Der Expositionsgrenzwert von } 0,8 \text{ m/s}^2 \text{ für die z-Richtung wird bei einem } A_z(8) = 0,5 \text{ m/s}^2 \text{ nach } 16,33 \text{ Stunden erreicht.}$$

Für die Messrichtungen x und y muss in der Formel $1,15 \text{ m/s}^2$ statt $0,8 \text{ m/s}^2$ eingesetzt werden.

Schutz vor Vibration

Die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung

■ Allgemeines

Mit der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung vom 6. März 2007 wurden zwei europäische Arbeitsschutz-Richtlinien zu Lärm (2003/10/EG) und zu Vibrationen (2002/44/EG) in nationales Recht umgesetzt.

Zum Schutz vor Ganzkörper Vibrationen sind Auslösewerte und Expositionsgrenzwerte festgelegt.

<p>■ Ganzkörper-Vibrationen (GKV) Auslösewert: $A(8) = 0,5 \text{ m/s}^2$ Expositionsgrenzwert: • für z-Richtung $A(8) = 0,8 \text{ m/s}^2$ • für x- und y-Richtung $A(8) = 1,15 \text{ m/s}^2$</p>
--

Die Vibrationsbelastung am Arbeitsplatz wird als Tagesexposition $A(8)$ auf 8 Stunden bezogen und durch Vergleich mit Auslöse- bzw. Expositionsgrenzwerten beurteilt. Beurteilungsgröße für GKV ist der größte Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung $1,4 a_{wx}, 1,4 a_{wy}, a_{wz}$ (z-Richtung = Wirbelsäulenrichtung).

■ Maßnahmen

Abhängig von der Größe und Dauer der Vibrationsbelastung sind bei GKV folgende Maßnahmen vorgesehen:

- | |
|--|
| <p>■ Tagesexposition $A(8) \geq 0,5 \text{ m/s}^2$</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beschäftigte informieren und über die Gefahren durch Vibrationen unterweisen <p>■ Tagesexposition $A(8) > 0,5 \text{ m/s}^2$</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vibrationsminderungsprogramm aufstellen und durchführen • Beschäftigten arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen nach G 46 anbieten <p>■ Tagesexposition $A(8) > 0,8$ bzw. $1,15 \text{ m/s}^2$</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sofort Maßnahmen ergreifen und Überschreitung vermeiden! • Regelmäßig Vorsorgeuntersuchungen nach G 46 veranlassen |
|--|

■ Fragen und Antworten

Wann sind technische Vibrationsschutzmaßnahmen gefordert?

Unabhängig von der Höhe der Vibrationsexposition besteht die Forderung, Vibrationsbelastungen an Arbeitsplätzen zu vermeiden oder soweit wie möglich zu verringern (Minimierungsgebot).

Wird der Auslösewert überschritten, hat der Unternehmer ein Programm mit technischen und organisatorischen Vibrationsminderungsmaßnahmen nach dem Stand der Technik aufzustellen und durchzuführen.

Wie ist die Vibrationsexposition zu ermitteln?

Die Vibrationsexposition ist im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung von einer fachkundigen Person, z. B. der Fachkraft für Arbeitssicherheit, zu ermitteln. Als Ersatz von Messungen kann die Gefährdungsbeurteilung auch auf der Grundlage einer Schätzung erfolgen.

Messungen sind nach dem Stand der Technik durchzuführen. Damit sind für GKV VDI 2057-1 und DIN EN 14253 anzuwenden.

Wie ist bei GKV zu verfahren, wenn die Tagesexposition für die Schwingungsrichtungen x, y und z in der Nähe der Expositionsgrenzwerte unterschiedlich hoch ist? Ist der größte Wert entscheidend?

Wird auch nur ein einziger Expositionsgrenzwert in einer der drei Richtungen x, y oder z überschritten, sind Sofortmaßnahmen zu ergreifen!

Dies gilt also, wenn einer der Werte für die x- oder y-Richtung größer ist als $1,15 \text{ m/s}^2$ oder der Wert für die z-Richtung größer als $0,8 \text{ m/s}^2$. Liegen z. B. die x- und y-Werte bei $1,0 \text{ m/s}^2$ und der z-Wert bei $0,9 \text{ m/s}^2$, sind Sofortmaßnahmen zu ergreifen – der größte Wert ist also nicht entscheidend. Sofortmaßnahmen haben immer das Ziel, eine erneute Überschreitung eines Expositionsgrenzwertes zu vermeiden!

Was sollten die Betriebe jetzt tun?

Wird an einem Arbeitsplatz ein Auslösewert überschritten, sind Schutzmaßnahmen zu ergreifen – in der Reihenfolge TOP:

- T** Technische Lösungen, z. B. vibrationsarme Maschinen, Werkzeuge und Fahrzeuge
- O** Organisatorische Maßnahmen, wie vibrationsintensive Arbeiten auf bestimmte Zeiten beschränken,
- P** Persönliche Schutzmaßnahmen, die allerdings nur für Hand-Arm-Vibrationen in Form von Vibrationsschutzhandschuhen für im Wesentlichen höher frequente Schwingungsanteile verfügbar und wirksam sind.

■ Regelwerk

Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV) vom 6. März 2007. BGBl. I (2007), S. 261

VDI-Richtlinie 2057: Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen; Blatt 1: Ganzkörper-Schwingungen. Beuth, Berlin 2002

DIN EN 14253: Mechanische Schwingungen; Messungen und rechnerische Ermittlung der Einwirkung von Ganzkörper-Schwingungen auf den Menschen am Arbeitsplatz im Hinblick auf seine Gesundheit – Praxisgerechte Anleitung. Beuth, Berlin 2004

Berufsgenossenschaftlicher Grundsatz arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen: Belastungen des Muskel- und Skelettsystems (G 46) und Auswahlkriterien (BGI 504-46, Teil 2: Vibrationen)

■ Weitere Informationen

■ Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Referat 4.2 Vibration
 Alte Heerstraße 111,
 53754 Sankt Augustin
 E-Mail: ifa@dguv.de
www.dguv.de/ifa, Webcode 1925324

■ Sachgebiet „Vibration“ des Fachausschuss Maschinenbau, Fertigungssysteme, Stahlbau der DGUV
 c/o Berufsgenossenschaft Metall Nord Süd
 Wilhelm-Theodor-Römheld-Straße 15,
 55130 Mainz
 E-Mail: fach@bgmet.de
www.bg-vibrationen.de

Stand: Januar 2010

Teil B:

Ergonomische Prüfung eines Sitzmemorys am Busfahrer Arbeitsplatz

(Projekt IFA 4086, 1999)

1 Einleitung

Vorausgegangene Untersuchungen konnten zeigen, dass Busfahrer im Vergleich zu anderen Beschäftigten (Öffentlicher Dienst, TÜV-Kollektiv etc.) vermehrt über muskuloskelettale Beschwerden klagen [1]. Dieser Umstand wird überwiegend der während der Fahrtätigkeit eingenommenen Körperhaltung zugeschrieben. Somit wird dem Fahrerarbeitsplatz und seiner ergonomisch-technischen Gestaltung ein hoher Stellenwert beigemessen. Die Analyse der typischen Arbeitssituation von Busfahrern ergab einen Katalog von ergonomischen Mängeln, deren Analyse u. a. zur Definition von ergonomisch günstigen Sitzpositionen (Komfortwinkel) und zu einer umfassenden Neugestaltung des Fahrerarbeitsplatzes führte [2].

In Rahmen des vorangegangenen Forschungsprojektes „Fahrerarbeitsplatz im Linienbus“ der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen wurde ein ergonomisch-technisch optimiertes Gesamtkonzept für den Fahrerarbeitsplatz im Linienbus entwickelt. Der neue Arbeitsplatz soll durch eine Vielzahl von Verstellmöglichkeiten, z. B. am Lenkrad und am Fahrersitz, Fahrerinnen und Fahrer mit einer Körperhöhe zwischen 1,64 und 2,00 m eine ergonomisch adäquate, komfortable Sitzhaltung ermöglichen.

Zur vereinfachten und zeitsparenden Einstellung der verschiedenen Sitzparameter (Sitzhöhe, horizontale Sitzposition, Rückenlehnenneigung, Sitzflächentiefe und -neigung) wurde ein Sitzmemory entwickelt, bei dem eine oder mehrere Sitzeinstellungen auf einem Speichermedium abgelegt werden können. Neben Daten über eine verbesserte individuelle Sitzposition kann der Speicher auch Informationen über einen ergonomisch sinnvoll begrenzten Verstellbereich des Sitzes enthalten, sodass im Sinne des dynamischen Sitzens auch Abweichungen von der „Optimalposition“ ermöglicht werden. Die nach anthropometrischen und physiologischen Gesichtspunkten für den jeweiligen Fahrer ermittelte optimale Sitzposition soll somit auch im betrieblichen Alltag durch Nutzung der Memoryfunktion jederzeit schnell reproduziert werden können. Derzeit existieren zwei Typen von Memorysitzen:

- Memorisierung von drei Sitzparametern (Sitzlängs- und Sitzhöhereinstellung, Rückenlehnenneigung)
- Memorisierung von fünf Sitzparametern (Sitzlängs- und Sitzhöhereinstellung, Rückenlehnenneigung, Sitzflächentiefe und -neigung)

Inwieweit diese Arbeitsplatzneugestaltung, insbesondere die Sitzgestaltung, in der Praxis genutzt wird und ob die Einrichtung einer Memorisierung einen positiven Effekt auf das individuelle Sitzverhalten hat, ist bisher nicht ausreichend untersucht worden. Die vorliegende Studie soll diese Lücke schließen.

2 Aufgabenstellung

Die vorliegende Untersuchung wurde in Zusammenarbeit mit der damaligen Berufsgenossenschaft der Straßen-, U-Bahnen und Eisenbahnen (heute: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft) durchgeführt. Anhand eines Sitzes des zweiten Memorytyps sollte die Frage beantwortet werden,

- ob ein Sitzmemorysystem gegenüber der bisher üblichen manuellen Sitzeinstellung durch den Fahrer zu einer besseren ergonomischen Körperhaltung am Arbeitsplatz führt.

Zusätzlich war zu bestimmen,

- ob zur wesentlichen Verbesserung der Körperhaltung am Arbeitsplatz ein Sitz des zweiten Typs nötig ist oder
- ob bereits der Einsatz eines Memorys des ersten Typs (drei memorisierte Parameter) ausreicht.

Falls zwischen den im Memory abgelegten und den während der Messfahrten mit Memory verwendeten Sitzeinstellungen Abweichungen auftraten, sollte zusätzlich

- die Akzeptanz der Memoryeinstellungen durch die Fahrer überprüft werden.

3 Material und Methoden

3.1 Komfortwinkel

Zur Gestaltung des Fahrerarbeitsplatzes im Bus erfolgten bereits einige Untersuchungen. Beispielhaft seien hier genannt:

- Forschungsprojekt „Fahrerarbeitsplatz im Linienbus“ [2]
- Dissertation „Optimierung des Fahrerarbeitsplatzes im Niederflur-Linienbus“ [3]
- Forschungsprojekt „Fahrerarbeitsplatz im Reisebus“; Bericht zur Vorstudie [4]

Als Teilergebnis einiger Untersuchungen wurden sogenannte „Komfortbereiche“ für Körperwinkel abgeleitet, die eine ergonomische Sitzhaltung am Fahrerarbeitsplatz gewährleisten. Innerhalb dieser Bereiche nimmt der Fahrer eine stabile und spannungsarme Sitzposition ein, welche die geringsten negativen Wirkungen auf den Bewegungsapparat erwarten lässt. Eine Über- oder Unterschreitung der Komfortwinkelbereiche kann zu den in Tabelle 1 aufgelisteten Gesundheitsgefahren führen [5]. In der vorliegenden Studie wurden die Komfortbereiche daher als ergonomische Referenzwinkelbereiche verwendet.

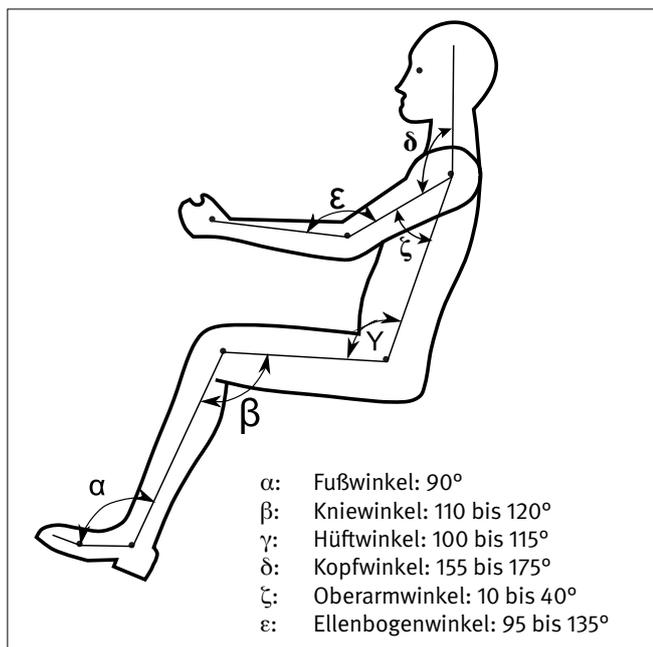
Die Definition und Lage der Körperwinkel gemäß [5] kann Abbildung 1 entnommen werden.

Tabelle 1:
Auswirkungen von ungünstigen Körperwinkeln aus [5]

Winkelbereich in Grad	Auswirkung
Hüftwinkel < 100	Erhöhter Druck auf die inneren Organe im Bauchraum, zu starke Krümmung der Wirbelsäule im Gesäßbereich
Rumpfwinkel < 10	Eingeschränkte Eigenstabilität der Körperlage (aktiver Ausgleich durch Anspannen der Haltemuskulatur notwendig), starke statische Anspannung der Nackenmuskulatur zum Aufrechterhalt der Kopf- und zur Dehnung der Halsbeugemuskeln
Rumpfwinkel > 20	Ungünstige Einwirkung von Vertikalschwingungen auf die Halswirbelsäule, starke Flexion im Halswirbelbereich
Fußgelenkwinkel < 90/100	Starke Anspannung der Fußgelenkmuskeln zur Dehnung der Unterschenkelmuskulatur erforderlich
Kniewinkel < 100/110	Pedalbetätigung bei Fahrzeugen kritisch (Rückwirkung auf Fußgelenkwinkel), ungünstige Kraftaufnahme von Beschleunigungen in Fahrzeuginnenrichtung, Blutstau im Fußbereich möglich
Kniewinkel < 120 *)	Ungünstige Blutdruckverteilung im Körper
Oberschenkelwinkel > 5	Eingeschränkte Positionsstabilität auf der Sitzfläche
Oberarmwinkel > 40	Auch bei Handabstützung ist eine statische Muskelanspannung im Arm- und Schulterbereich zur Kompensation des Eigengewichtes des Armes erforderlich

*) : „Kniewinkel > 120°“ statt „Kniewinkel < 120°“ (Anmerkung der Verfasser)

Abbildung 1:
Definition der Komfortwinkel [5]



Zusätzlich finden sich in der Literatur [6 bis 8] weitere Hinweise auf ergonomische Komfortbereiche. In Tabelle 2 sind die in den Literaturstellen erwähnten Komfortbereiche zusammengestellt.

Die in Tabelle 2 aufgeführten Komfortbereiche (RWTH Aachen [3; 4] und Berufsgenossenschaft für Fahrzeughaltungen (BG 33) [5]) sind nahezu deckungsgleich. Beim Winkel „Rumpf zur Senkrechten“ ist zu beachten, dass dieser in den beiden Untersuchungen [4; 5] in entgegengesetzter Drehrichtung definiert ist. Bei den Untersuchungen der RWTH Aachen sind einige zusätzliche Körperwinkel (Fußgelenk und Kopf) einbezogen worden. Ebenfalls wurde in der Studie [3] zusätzlich ein „Sitzkissenanstieg“ von 0 bis 10° gefordert. Unter Verwendung dieses Ergebnisses wurde der Komfortbereich des Winkels „Oberschenkel zur Horizontalen“ in dieser Untersuchung auf 0 bis 15° festgelegt.

Die ebenfalls in Tabelle 2 aufgeführte (neue) Schablone der BG 33 weist gegenüber den Komfortbereichen aus [3 bis 5] für das Knie- und Hüftgelenk andere Werte auf. Der Komfortbereich des Kniegelenks wurde auf 130° erweitert, der des Hüftgelenks auf 105° verringert. Bei der Vorgängerversion dieser Schablone, die für Bus- und Lkw-Fahrerarbeitsplätze bestimmt war, sind die

3 Material und Methoden

Angaben zu den Komfortbereichen deckungsgleich mit denen der Studien [4] und [5].

Für die hier beschriebene Untersuchung werden daher die Komfortbereiche der BG 33 [5] und der RWTH AC [3; 4] zugrunde gelegt (siehe Tabelle 3) und mit der Farbe „Grün“ gekennzeichnet. Die in der Literatur [6 bis 8] angegebenen darüber hinausgehenden Komfortwinkelbereiche für Fahrerarbeitsplätze, werden ebenfalls einbezogen. Sie bilden die mit „Gelb“ bezeichneten erweiterten Toleranzbereiche. Körperwinkel, die außerhalb der

„grün-gelben“ Bereiche liegen, werden als Winkel betrachtet, die zu negativen Wirkungen auf den Bewegungsapparat führen können und sind daher mit „Rot“ bezeichnet. Bei den Winkeln des „gelben“ und „roten“ Bereichs wird differenziert, ob der Winkel kleiner oder größer als der Komfortbereich ist. Dementsprechend ergeben sich jeweils zwei negative „(-)“- und zwei positive „(+)-“ Bereiche.

In Tabelle 3 sind die bewerteten Körperwinkelbereiche, die dieser Untersuchung zugrundegelegt wurden, zusammengestellt.

Tabelle 2:
Komfortbereiche der Gelenkwinkel in der Literatur, siehe [4 bis 8]; Angaben in Grad

Komfortbereiche der Gelenkwinkel	RWTH [4]	RWTH [3]	BG 33 [5]	BG 33 Schablone (Linienbus)	Literatur [6]	Literatur [7]	Literatur [8]
Fuß- (Sprung-)	90	80 bis (90) bis 105			90 bis 110	90 bis 110	80 bis 113
Knie-	110 bis 120	110 bis 120	110 bis 120	110 bis 130	95 bis 135	110 bis 130	99 bis 138
Hüft-	100 bis 115	100 bis 115	100 bis 115	100 bis 105	95 bis 120	100 bis 120	90 bis 115
Kopf-	155 bis 175	155 bis 175					
Oberarm-	10 bis 40		10 bis 40				
Ellenbogen-	95 bis 135		95 bis 135	95 bis 135	80 bis 120		86 bis 164
Oberschenkel zur Horizontalen	5 bis 15		5 bis 15				
Rumpf zur Senkrechten	10 bis 20		-10 bis -20				

RWTH AC: Rheinisch-Westfälische Technische Universität, Aachen
BG 33: Berufsgenossenschaft für Fahrzeughaltungen

Tabelle 3:
Bewertete Körperwinkelbereiche der BIA-Untersuchung; Angaben in Grad

Komfortbereiche der Gelenkwinkel	Rot (-)	Gelb (-)	Grün (Komfortbereich)	Gelb (+)	Rot (+)
Fuß (oberes Sprunggelenk)	< 75	75 bis 79	80 bis (90) bis 105	106 bis 110	> 110
Knie	< 100	100 bis 109	110 bis 120	121 bis 140	> 140
Hüfte	< 90	90 bis 99	100 bis 115	116 bis 125	> 125
Ellenbogen	< 90	90 bis 94	95 bis 135	136 bis 140	> 140
Oberschenkel zur Horizontalen	< -5	-5 bis -1	0 bis 15	16 bis 20	> 20
Rumpf zur Senkrechten	> 0	0 bis -9	-10 bis -20	-21 bis -30	< -30

3.2 Probandenkollektiv

Die Messungen für das Projekt wurde bei den Stadtwerken Bonn (SWB) durchgeführt. Für die Messungen wurde eine Flughafen-Transferlinie („FL-Linie“) ausgesucht, da sie wenige Haltestellen und einen hohen Fahranteil aufweist. Aus der Gruppe der Fahrer/-innen dieser Linie stellten sich insgesamt 28 Personen – fünf Frauen und 23 Männer – als Probanden freiwillig zur Verfügung.

Ein Mediziner bestimmte deren anthropometrischen Maße in Anlehnung an die Norm DIN 33402, Teil 1 [9], und [10]. Für die Messungen wurde ein spezielles Messgerät zur Längenbestimmung an Personen, ein Anthropometer, verwendet [11]. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden die folgenden Maße erhoben:

- Körperhöhe
- Schritthöhe
- Stammhöhe
- Unterschenkelhöhe mit Fuß
- Sitztiefe
- Oberarmlänge
- Unterarmlänge
- Schulterbreite
- Ellenbogenbreite
- Sitzbreite
- Gewicht

Die ermittelten Körperhöhen der Probanden sind in Abbildung 2 zusammengestellt. In der Literatur [12] wird jedoch darauf hingewiesen, dass „(...) unter praktischen Gesichtspunkten somit die Körperhöhe als Indikatormerkmal geeignet (ist), wenn es um

Festlegungen geht, die den Beinbereich oder – wie die relativ hohe Korrelation zur Reichweite zeigt – den Armbereich betreffen. Dagegen ist es zweckmäßig, für die Bestimmung von Maßen

für den sitzenden Menschen, von der Stammlänge als Indikatormaß auszugehen“ (vgl. [12]). Abbildung 3 zeigt daher die ermittelten Stammhöhen, d. h. Oberkörperhöhen der Proband(inn)en.

Abbildung 2:

Körperhöhen der 28 am Projekt teilnehmenden Busfahrer/-innen

(zusätzlich eingetragen: 5., 50., und 95. Perzentil für 18- bis 45-jährige Männer und Frauen in Deutschland nach [13])

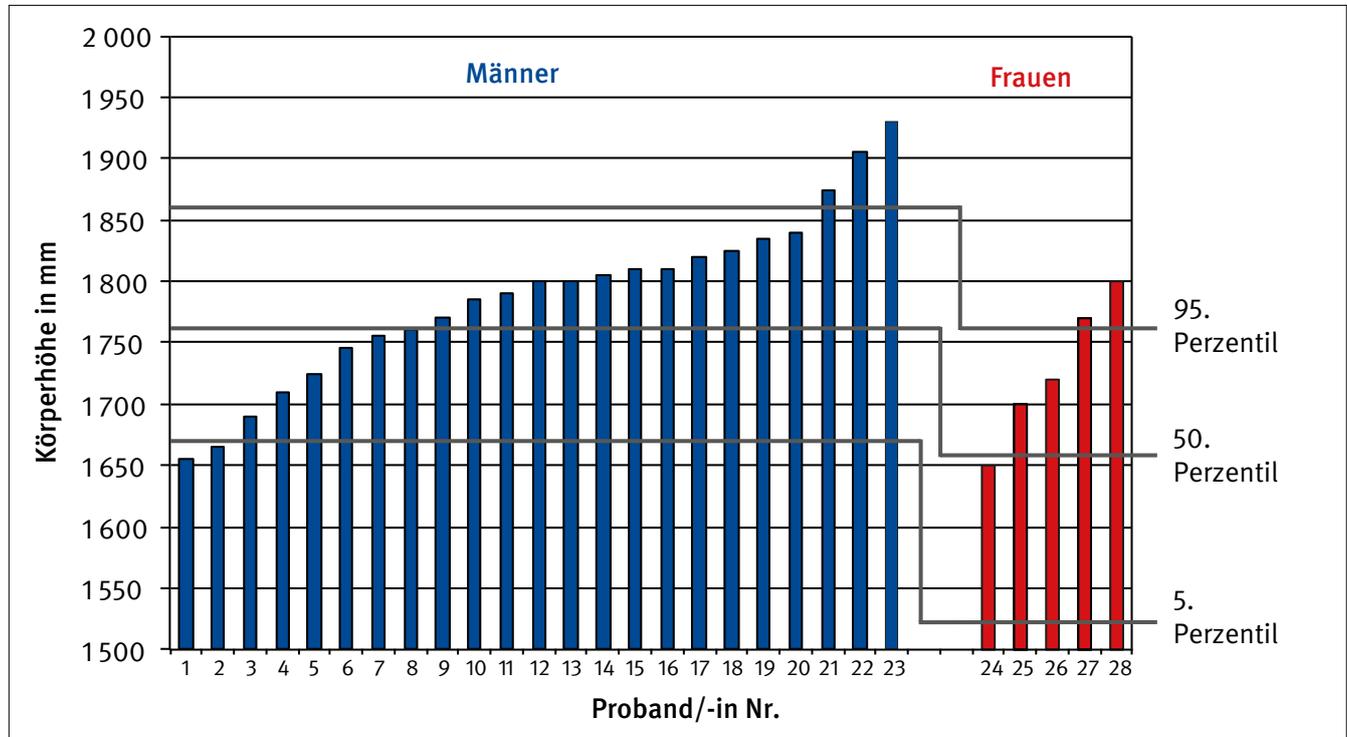
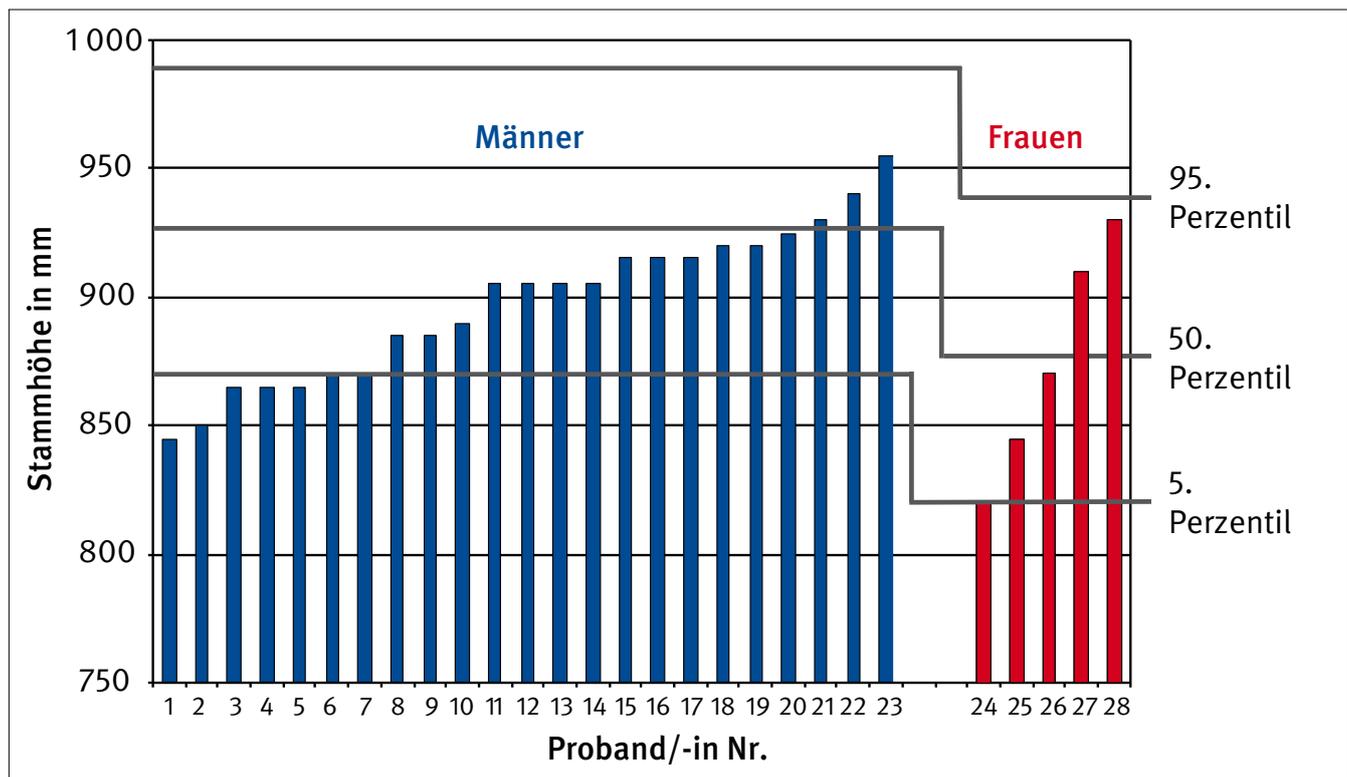


Abbildung 3:

Stammhöhen der 28 am Projekt teilnehmenden Busfahrerinnen und Busfahrer

(zusätzlich eingetragen: 5., 50., und 95. Perzentil für 18- bis 45-jährige Männer und Frauen in Deutschland, nach [13])



Es ergibt sich hier eine etwas andere Verteilung: Sowohl für Frauen als auch für Männer wird das 95-Perzentil nicht erreicht, das 5-Perzentil dagegen jedoch unterschritten. Bezogen auf die Stammhöhe verschiebt sich das in der Körperhöhenverteilung etwa mittig liegende Probandenkollektiv zu deutlich kleineren Werten hin.

Da in dieser Untersuchung ein Memory für einen Sitzarbeitsplatz zu beurteilen ist, verwenden wir – entsprechend der Empfehlung der Literatur [12] – im Folgenden auch die Stammhöhe als Indikatormaß.

Eine Übersicht der weiteren anthropometrischen Probandenmessdaten sowie die zugehörigen Messvorschriften enthält Anhang A.

3.3 Erfassung der Körperhaltungen

Zur Erfassung der Körperhaltung wird das Messsystem CUELA [14], das an sitzende Tätigkeiten angepasst wurde, verwendet. Mithilfe von Winkelsensoren (Potenziometer und Inklinometer), die auf der Arbeitskleidung des Probanden angebracht werden, wird das Bewegungsverhalten der Probanden in einer Auflösung von 50 Hz über mehrere Stunden hinweg gemessen. Die so gewonnenen Messdaten (Gelenkwinkel) werden in einer tragbaren Speichereinheit (Datenlogger) auf einer Flash-Speicherkarte abgelegt. Die Daten stehen somit direkt nach Beendigung der Messungen zur weiteren statistischen Bearbeitung bereit.

Das Messsystem kann durch Justierung der Sensor-Tragekonstruktion in weiten Grenzen an die verschiedenen anthropometrischen Maße der Probanden angepasst werden. Um eine zusätzliche Gewichtsbelastung der Probanden zu vermeiden, wurde das Messsystem in die probandengetragene Sensorik (Abbildungen 4 und 5) und den im Bus montierten Datenlogger mit Stromversorgung durch einen Blei-Akkumulator (Abbildung 6) aufgeteilt.

Im Einzelnen wurden die Körperwinkel der folgenden Gelenke erfasst:

- Fußgelenke (Sprunggelenke)
- Kniegelenke
- Hüftgelenke
- Lendenwirbelsäulenflexion (LWS)
- Rumpfflexion (BWS)
- Rumpfsseitneigung (Lateralflexion)
- Ellenbogengelenke

Um die Messdaten später den jeweiligen Arbeitssituationen zuordnen zu können, wurde die Messdatenerfassung synchron mit Videoaufzeichnungen begleitet. Die Videokamera – mit einem speziellen Weitwinkelobjektiv ausgestattet – wurde fest im Bus über der vorderen Einstiegstür installiert.

Zu Beginn jeder Messung werden so die aktuellen Sitzeinstellungsdaten registriert. Während der Messung ist es dem Messenden möglich, den Fahrer über einen Videomonitor zu beobachten. Verändert dieser während der Messung die

Sitzeinstellung, so werden die neuen Sitzeinstellungswerte registriert. Gleiches geschieht zu festgelegten Zeitpunkten über die ganze Zeitspanne der Messung hin. Dadurch ist es möglich, den zeitlichen Verlauf der etwaigen Veränderungen der Sitzeinstellungsparameter zu dokumentieren.

Diese Dokumentation ermöglicht in der ersten Messphase der Untersuchung (Messphase 1), in der die Sitzmemoryfunktion nicht aktiviert ist, durch Vergleich der Daten aller drei Messungen eines Fahrers zu erkennen, ob der Fahrer habituelle Sitzeinstellungen aufweist oder in jeder Schicht den Sitz wieder anders einstellt. Für die Messphase, in der die Memoryfunktion des Sitzes aktiviert ist (Messphase 2), können anhand der Dokumentation über die Veränderung der Sitzeinstellung durch den Fahrer Aussagen darüber getroffen werden, ob und wie der Proband die Memoryeinstellung des Sitzes akzeptiert.

Abbildung 4:
Probandengetragene Messsensorik



Abbildung 5:
Messensorik an sitzenden Probanden



3.4 Memorysitz

Der Sitzhersteller, die Fa. Isringhausen (ISRI), baute für die Untersuchung einen luftgefederten Fahrersitz mit Sitzmemory in den Linienbus ein. Dieser Prototyp basiert auf dem Sitz ISRI 7800/903; die Bedienelemente dieses Sitzes sind schematisch in Abbildung 7 dargestellt.

Zwei elektrische Bedienelemente mit Mehrfachfunktion ermöglichen die manuelle Sitzeinstellung (Abbildung 7, Nr. 5 und 7). Weitere Bedienteile steuern die Schnellabsenkung (Abbildung 7, Nr. 6) und das Integrierte Pneumatik-System (IPS) des Sitzes, das eine pneumatische Seiten- und Lendenwirbelsäulenstütze in der Sitzrückenlehne anpasst (Abbildung 7, Nr. 1 bis 3). Eine Sitzheizung (Abbildung 7, Nr. 4) und Dreheinrichtung (Abbildung 7, Nr. 8) waren bei dem für die Untersuchung verwendeten Fahrersitz nicht verfügbar. Stattdessen war das Sitzmemory integriert (Bedienelemente in Abbildung 8); d. h. eine manuell vorgenommene Sitzeinstellung wird per Funkübertragung in einen kleinen Datenträger (Memorystick) übernommen. Die Sitzeinstellungsdaten können später bei Bedarf wieder per Funk in den Sitz eingelesen werden. Bei einem anschließenden Druck auf eine Memorytaste stellt sich der Sitz auf die memorisierte Position ein.

Folgende Einstellungsparameter sind memorisiert:

- Sitzhöhe
- Sitzneigung
- Rückenlehnenneigung
- Sitzlängseinstellung
- Sitzkissentiefe (Sitzkissenfläche)

Darüber hinaus ist auch die Höheneinstellung der Kopfstütze memorisiert. Für jeden Fahrer ist somit ein eigener Memorystick vorgesehen, in dem die individuellen Einstellungsparameter des Sitzes abgespeichert sind.

Abbildung 6:
Im Bus eingebauter Miniaturrechner mit Blei-Akku-Stromversorgung

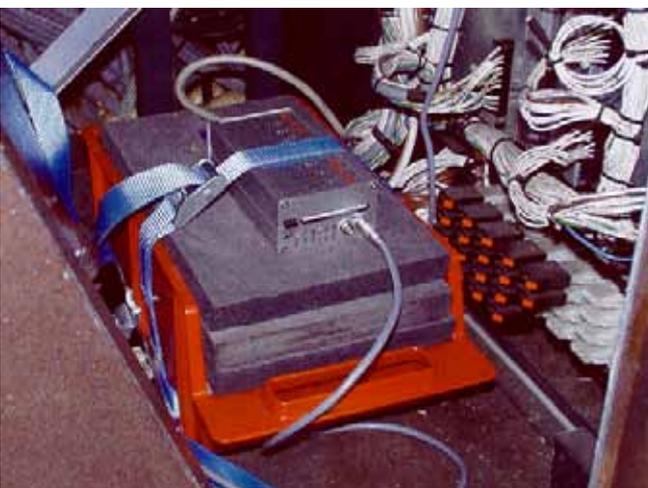


Abbildung 7:
Sitz ISRI 7800/903 – Bedienelemente

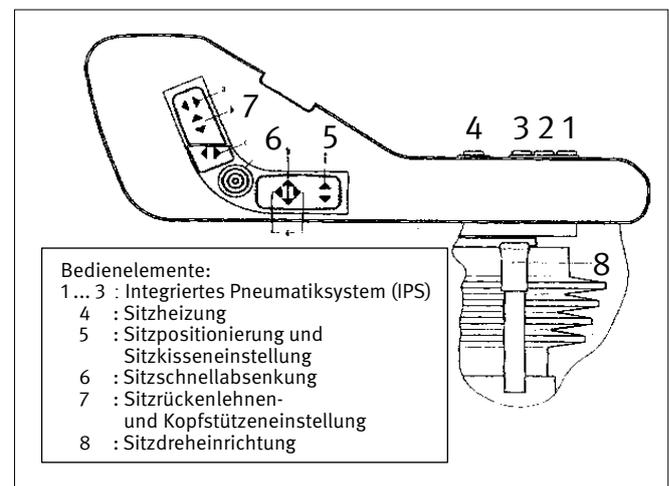


Abbildung 8:
Eingebauter Memory-Busfahrersitz



Der in den Bus eingebaute Sitz wurde vor Beginn der Messungen mit einer zusätzlichen Computerschnittstelle ausgestattet. Diese ermöglicht die Online-Übertragung der aktuellen unkalibrierten Einstellwerte des Busfahrersitzes in den Messrechner des BIA (Abbildung 9), sodass eine synchrone Messung von Sitzeinstellung und Körperhaltung gewährleistet ist.

Abbildung 9:
Online-Übertragung von unkalibrierten Sitzeinstellwerten

AD-Wandler	
Kopfstütze	<input type="text" value="47"/>
Sitzkissentiefeneinstellung	<input type="text" value="172"/>
Rückenlehne	<input type="text" value="85"/>
Längseinstellung	<input type="text" value="208"/>
Sitzhöhe	<input type="text" value="113"/>
Neigung	<input type="text" value="101"/>
<input type="button" value="Beenden"/>	

3.5 Messsituation im Bus

Die Stadtwerke Bonn stellten für die Untersuchung einen MAN-Niederflur-Gelenkbus bereit (Abbildung 10), der mit dem neuen Fahrerarbeitsplatz ausgestattet ist. Eine genaue Beschreibung des neuen Fahrerarbeitsplatzes findet sich im Abschlussbericht des Forschungsprojektes „Fahrerarbeitsplatz im Linienbus“ [2].

Neben der individuellen Einstellmöglichkeit des Fahrersitzes ist hier auch eine Höhen- und Neigungsverstellung des Buslenkrades in Verbindung mit dem Instrumententräger möglich. Diese Eigenschaft ist derzeit nicht memorisierbar, beeinflusst aber ebenfalls die Sitzhaltungen der Busfahrer/-innen.

Abbildung 10:
In der Untersuchung verwendeter Niederflur-Gelenkbus



Der Bus fuhr während der Messungen im normalen Linienbetrieb mit Fahrgästen auf der Flughafenlinie (der Busverbindung zwischen dem Flughafen Köln/Bonn und Bonn) im Dreischichtbetrieb (Früh-, Mittag-, und Nachtschicht). Alle Übergaben (Ausnahme: Frühschichtbeginn und Nachtschichtende) fanden am Zentralen Omnibusbahnhof (ZOB) in Bonn statt. Die Fahrer/-innen hatten vor der Abfahrt am ZOB fünf Minuten planmäßigen Aufenthalt zur Verfügung, um den Bus zu übergeben sowie den Busfahrersitz und die Busspiegel neu einzustellen. Daher wurden Körperwinkelmessungen nicht am ZOB, sondern an der Endhaltestelle am Flughafen Köln/Bonn gestartet und beendet. Der Bus legte die Gesamtstrecke (ZOB – Flughafen – ZOB) in einem ca. 1,5-stündigen Turnus zurück. Dabei bediente er auf seiner Fahrt innerhalb des Bonner Stadtgebietes drei Haltestellen und fuhr dann ohne Zwischenhalt 20 Minuten über die Bundesautobahn zum Flughafen Köln/Bonn. Dort hatten die Fahrer/-innen eine sogenannte „Wendezeit“ von 12 bzw. 22 Minuten, bis die Rückfahrt zum ZOB Bonn angetreten wurde.

Diese Wendezeit am Flughafen wurde während der Messphasen der Untersuchung genutzt, um den Proband(inn)en die Messsensorik über der Arbeitskleidung anzulegen, diese zu justieren und zu kalibrieren sowie die Messung kurz vor dem Zeitpunkt der Abfahrt zu starten. Bei Messungsbeginn wurde zeitgleich die fest installierte Videokamera gestartet. Nachdem die Sitzeinstellung durch den Fahrer (Messphase 1) oder durch die Memorisierung (Laborphase) erfolgt war, wurden die Sitzeinstellungen registriert. Während der Messung wurden die Sitzeinstellungen an festgelegten Punkten entlang der Route bzw. bei Einstellungsänderungen durch den Fahrer im Computer gespeichert.

3.6 Fragebogen zur Bewertung des Fahrersitzes durch die Fahrer/-innen

Zu Beginn der Untersuchung wurde den Busfahrer/-innen des Probandenkollektivs ein Fragebogen der BG BAHNEN zur Bewertung des Sitzkomforts und der Bedienfreundlichkeit des Memorysitzes ausgehändigt. Der vollständige Fragebogen ist in Anhang B dargestellt.

4 Gliederung der Untersuchung

Der Ablaufplan der Untersuchung ist in Abbildung 11 dargestellt. Sie gliedert sich in vier Phasen: Eingewöhnungsphase, Messphase 1, Laborphase und Verifikationsphase (Messphase 2).

4.1 Eingewöhnungsphase

Bevor das Messsystem eingesetzt wird, dient die Eingewöhnungsphase dazu, den Busfahrer/-innen Gelegenheit zu geben, sich an den neuen Sitz und seine spezielle manuelle Einstellungsmöglichkeiten zu gewöhnen. Während dieser Phase werden die anthropometrischen Daten der Probanden ermittelt.

4.2 Messphase 1

In Messphase 1 wird die Memoryfunktion des Sitzes nicht benutzt. Die Busfahrer/-innen stellen zu Beginn und während der Fahrt den Sitz so ein, dass sie ihre gewohnte Sitzhaltung

einnehmen können. Für jeden Probanden werden drei Einzelmessungen von jeweils 1,5 Stunden Dauer durchgeführt, in denen die individuellen Sitzhaltungen mess- und videoteknisch registriert werden. Synchron hierzu werden die zugehörigen Sitzeinstellungen aufgezeichnet.

Die Körperwinkeldaten aller erfassten Gelenke werden in der anschließenden Auswertung mit den Vorgaben der ergonomischen Komfortwinkelbereiche verglichen. Bei geringen Abweichungen der gemessenen Körperwinkel von den ergonomischen Vorgabewerten sind keine weiteren Messungen vorgesehen, da so gewährleistet wäre, dass die Busfahrer/-innen eigenständig auch ohne Memoryfunktion des Sitzes eine ergonomisch adäquate Sitzposition finden. Bei größeren Abweichungen von den ergonomischen Komfortwinkeln sollen eine Laborphase und eine weitere Messphase folgen.

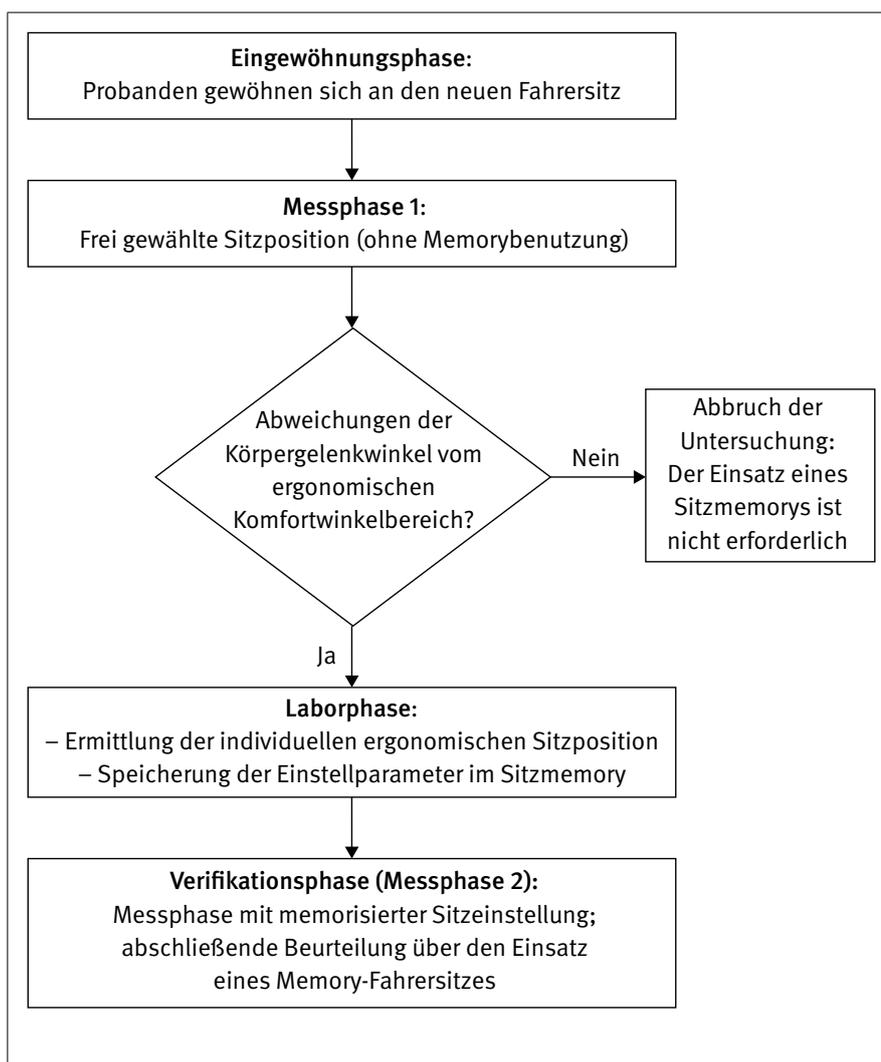


Abbildung 11:
Ablaufplan der Untersuchung

4.3 Laborphase

Ziel der Laborphase ist es, für jeden Probanden die individuell ergonomisch optimale Sitzeinstellung zu finden und die zugehörigen Sitzeinstellungsdaten in den Memorysticks abzuspeichern. Dazu wird jeder Proband mit dem Körperhaltungsmesssystem CUELA ausgerüstet, das online die Körpergelenkwinkeldaten an einen Computer sendet. Der Bussitz wird gemeinsam mit dem Probanden dann solange eingestellt, bis sich alle im Computer dargestellten Körperwinkel in den ergonomischen Komfortwinkelbereichen befinden. Ist die optimale Sitzeinstellung gefunden, werden die Einstellungsdaten im Memorystick gespeichert. Jeder Proband erhält somit einen Memorystick, mit dessen Hilfe er später zu Schichtbeginn im Bus seine optimale ergonomische Sitzposition einstellen kann.

An die Laborphase schließt sich die Verifikationsphase (Messphase 2) an.

4.4 Verifikationsphase (Messphase 2)

Die Busfahrer/-innen machen sich zu Beginn der Verifikationsphase mit der neuen Memoryfunktion des Sitzes vertraut. In diesem Rahmen wird die Sitzeinstellung nun bei Fahrtbeginn durch den Memorystick vorgegeben und ist nicht wie in Messphase 1 das Resultat einer manuellen Einstellung durch den Fahrer.

5 Aufbereitung der Messdaten

5.1 Aufbereitung der Körperwinkeldaten einer Messphase

Pro Proband werden innerhalb einer Messphase drei Einzelmessungen von ca. 1,5 Stunden Dauer an verschiedenen Tagen durchgeführt. Direkt nach Beendigung einer Messung liegen die kontinuierlichen Verläufe der gemessenen Körpergelenkwinkel in computerlesbarer Form vor und können mithilfe der BIA-Software WIDAAN dargestellt werden (Abbildung 12).

Eine Umrechnung der z. T. relativen Körperwinkel in absolute Raumwinkel ermöglicht es zudem, die Körperbewegungen der Busfahrer/-innen in Form einer animierten Computerfigur darzustellen (Abbildung 12). Vor der statistischen Weiterverarbeitung der Körperwinkeldaten werden diese durch Vergleich der Computerfigurbewegung mit den Videoaufzeichnungen der gemessenen Arbeitsschicht einer Plausibilitätsprüfung unterzogen. Anschließend erfolgt zur weiteren Analyse der Datenexport in ein Statistikprogramm, mit dem Häufigkeitsverteilungen etc. ermittelt und dargestellt werden können.

In Abbildung 13 ist beispielhaft für das rechte und linke Kniegelenk die im Anschluss an die Plausibilitätsprüfung ermittelte Häufigkeitsverteilung der während einer Messung von einem Probanden eingenommenen Kniewinkel dargestellt.

In einem weiteren Schritt wird nun analysiert und dargestellt, wie die Häufigkeitsverteilung der vom Probanden eingenommenen Kniewinkel mit den zuvor definierten Komfortwinkelbereichen korrespondiert, d. h. wie häufig sich die vom Probanden

eingenommenen Körperwinkel innerhalb oder außerhalb der beschriebenen Komfortwinkelbereiche bewegen. Dadurch lassen sich nun Rückschlüsse darauf ziehen, wie ergonomisch die Haltung des Probanden während der Messphase war.

Abbildung 14 zeigt am Beispiel der Kniewinkel die prozentuale Häufigkeit, mit der sich innerhalb einer Messphase die vom Probanden eingenommenen Kniewinkel innerhalb oder außerhalb (Winkel kleiner/größer als Komfortbereich) der definierten Komfortwinkelbereiche befinden.

In einem nächsten Schritt werden nun die Häufigkeiten, mit denen der Proband die Komfortwinkelbereiche eingenommen bzw. über- oder unterschritten hat, für alle drei Messungen der Messphase eines Probanden gemittelt (Abbildung 15).

Diese Mittelwerte gehen anschließend in eine weitere Mittelung über das gesamte Probandenkollektiv ein. Abbildung 16 zeigt im Ergebnis die Mittelwerte, Mediane (50. Perzentilwerte) und 90. Perzentilwerte aller mittleren Häufigkeiten, mit denen alle Probanden Kniewinkel innerhalb bzw. außerhalb der Komfortwinkelbereiche eingenommen haben.

Nachdem alle gemessenen Körperwinkel die beschriebenen Analysenschritte durchlaufen haben, lassen sich anhand der dann erhaltenen Daten Aussagen über Körperhaltungstendenzen des Probandenkollektivs während der gesamten Messphase 1 oder 2 machen. Abbildung 17 zeigt nochmals die einzelnen Auswertungsschritte der in einer Messphase erhaltenen Daten.

Abbildung 12: Kontinuierlicher Gelenkwinkelverlauf am Beispiel des Kniegelenkes und zugehörige animierte Computerfigur

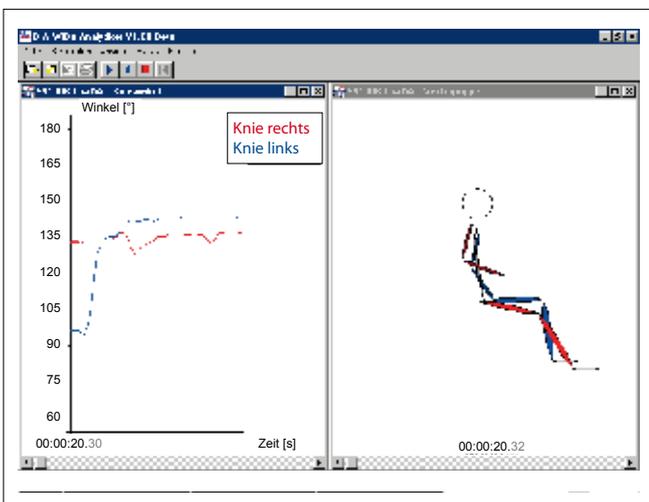
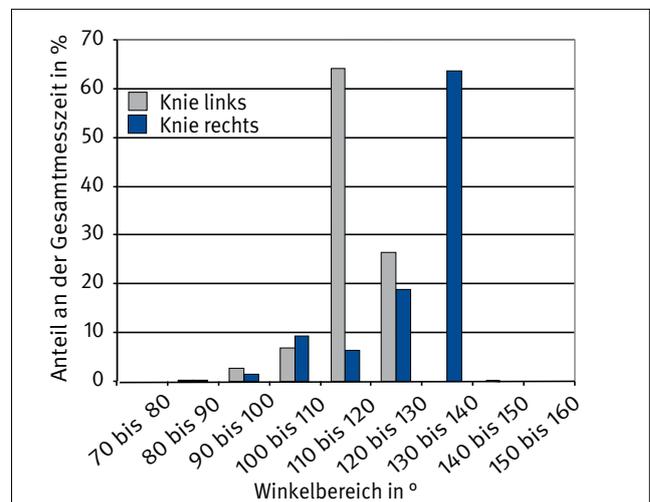


Abbildung 13: Häufigkeitsverteilung der während einer Messung von einem Probanden eingenommener Kniegelenkwinkel



5 Aufbereitung der Messdaten

Abbildung 14:
Häufigkeitsverteilung der bewerteten Kniegelenkwinkel (mit Bezug auf ergonomische Komfortwinkelklassifizierung) für eine Einzelmessung

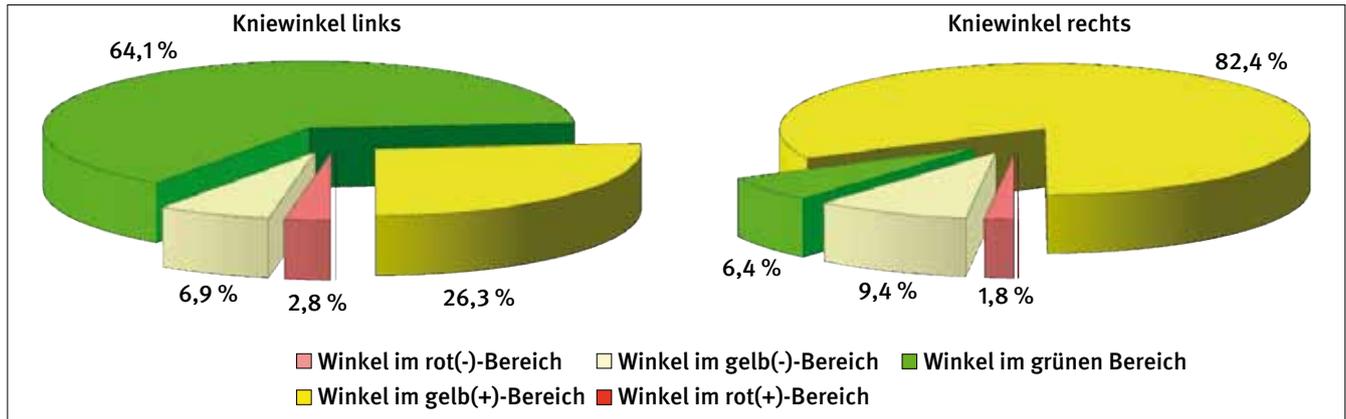


Abbildung 15:
Häufigkeitsverteilung der bewerteten Kniegelenkwinkel (mit Bezug auf ergonomische Komfortwinkelklassifizierung) für einen Probanden in einer Messphase (Mittelung von drei Einzelmessungen)

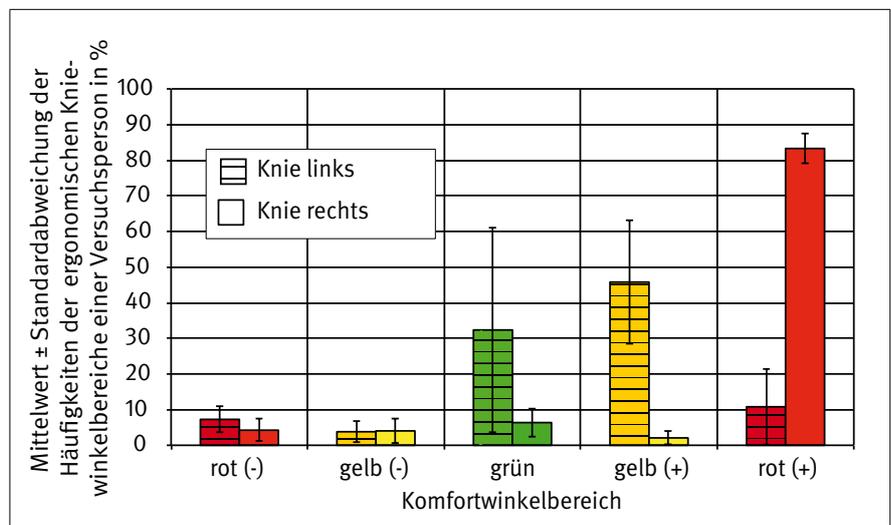


Abbildung 16:
Mittelwert, Median und 90. Perzentilwert der mittleren Häufigkeiten der bewerteten Kniegelenkwinkel für alle Probanden in einer Messphase

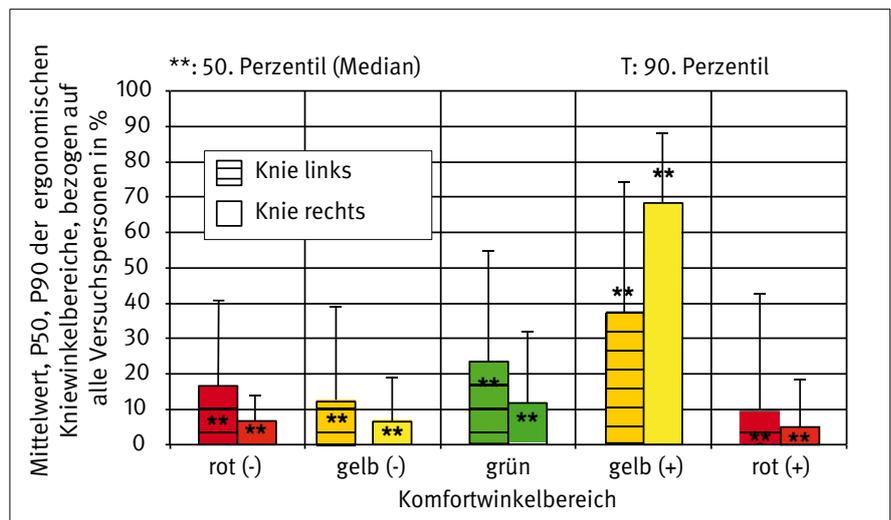
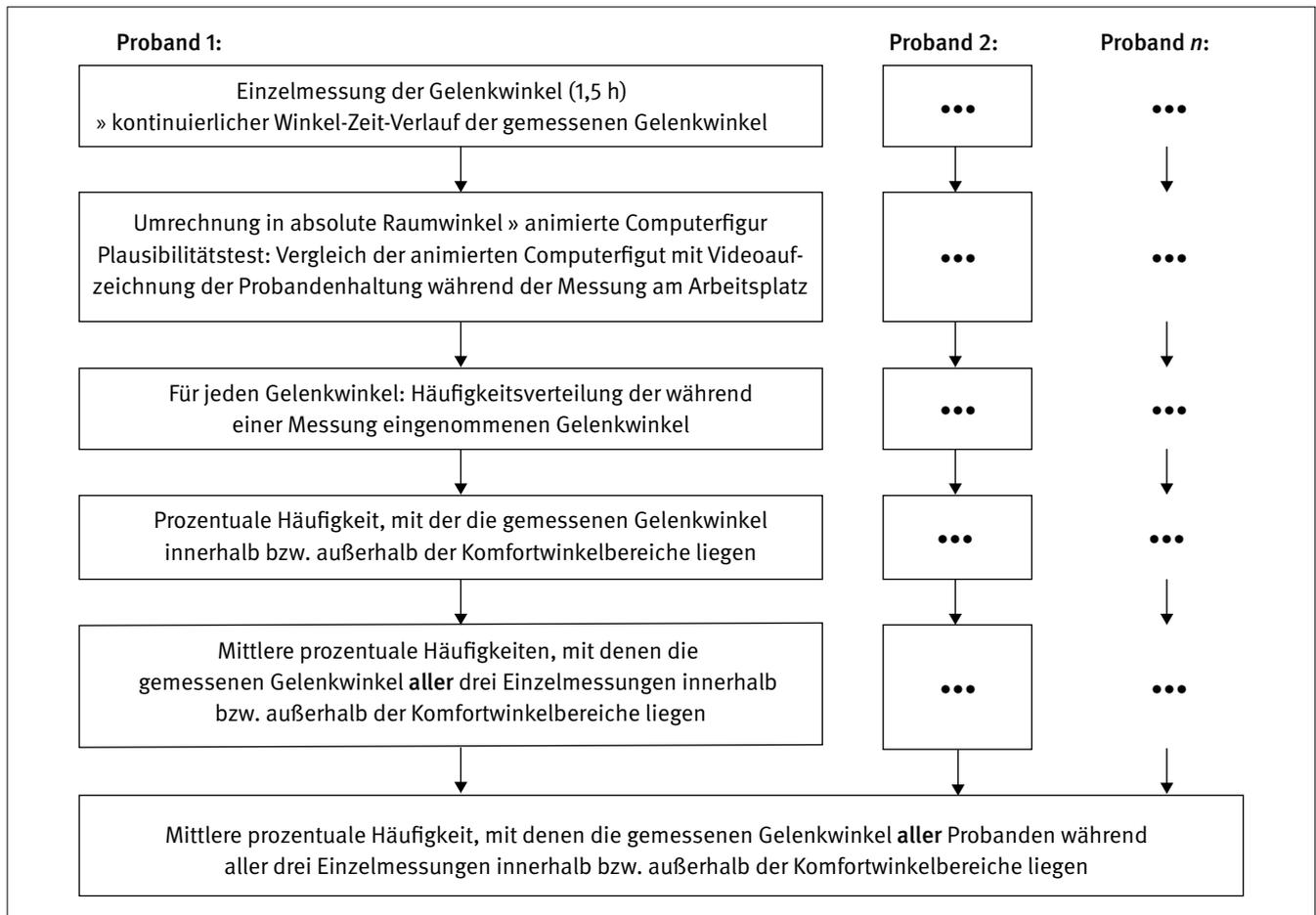


Abbildung 17:
Auswertungsschritte der Daten einer Messphase



5.2 Aufbereitung der Sitzeinstellungsdaten einer Messphase

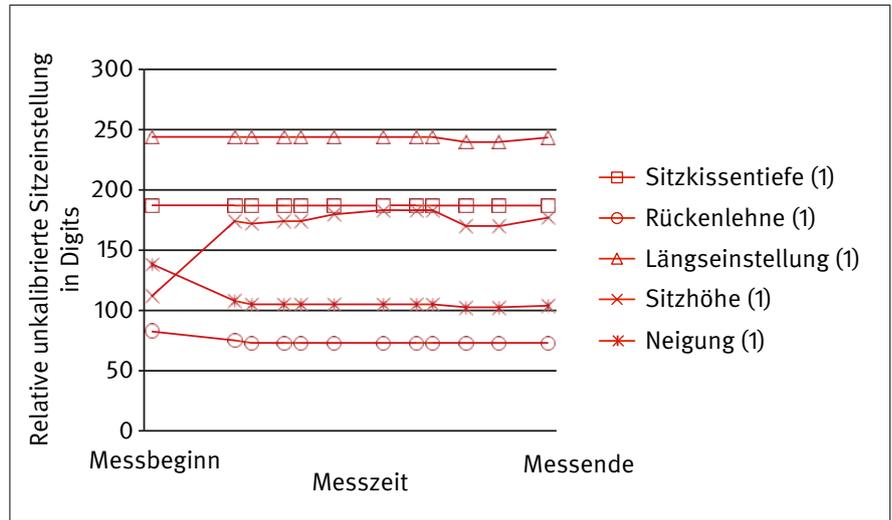
Wie bereits in Abschnitt 3.4 beschrieben, ermöglicht eine zusätzliche Computerschnittstelle am Memorysitz eine Online-Übertragung der unkalibrierten Einstellwerte des Sitzes in einen Messrechner. Durch das Registrieren der Veränderung der Sitzeinstellungswerte wird der zeitliche Verlauf etwaiger Veränderungen der Sitzeinstellungsparameter dokumentiert. Zur Veranschaulichung werden die erhaltenen Daten grafisch dargestellt. Abbildung 18 zeigt den zeitlichen Verlauf der gemessenen Sitzeinstellungsparameter Sitzhöhe, Sitz- und Rückenlehnenneigung, Sitzlängseinstellung und Sitzkissentiefe für alle drei Messungen eines Probanden. Zu beachten ist, dass die Werte zwischen den einzelnen Messpunkten interpoliert sind. Die Interpolation zwischen den konkreten Messpunkten wurde gewählt, um den Verlauf der Sitzeinstellung besonders deutlich werden zu lassen.

Deutlich ist zu erkennen, wann der Wert eines Parameters geändert wurde. Derartige Grafiken helfen, die in Abschnitt 3.4 beschriebenen Aussagen über Fahrergewohnheiten (Messphase 1) und Akzeptanz der memorisierten Sitzeinstellung (Messphase 2) zu treffen.

5.3 Aufbereitung der Fragebogendaten

Bei dem an alle Fahrer verteilten Fragebogen, der Sitzkomfort und Bedienerfreundlichkeit des Memorysitzes abfragte, werden quantitative und qualitative Daten zunächst getrennt ausgewertet. Die quantitativen Daten werden in eine deskriptive Statistik überführt (siehe Anhang B); die Antworten auf die offenen Fragen werden, soweit möglich, in Kategorien zusammengefasst. Anschließend werden die Ergebnisse beider Auswertungen betrachtet und eine tendenzielle Bewertung des Sitzkomforts und der Bedienerfreundlichkeit des Memorysitzes durch die Fahrer rekonstruiert.

Abbildung 18:
Zeitlicher Verlauf der gemessenen Sitzeinstellungsparameter während einer Messung



6 Messergebnisse

6.1 Ergebnisse der Messphase 1

In Tabelle 4 sind die prozentualen Häufigkeiten, mit denen alle Fahrer im Mittel Körperwinkel in den Komfortbereichen einnehmen bzw. diese über- oder unterschreiten, zusammengestellt.

Dabei wird deutlich, dass bei allen gemessenen Körperwinkelmittelwerten der Anteil der Mittelwerte im Komfortbereich

kleiner ist als der Anteil der Mittelwerte, die den Komfortbereich über- oder unterschreiten. Es zeigt sich also schon bei einer ersten Überblicksanalyse, dass hinsichtlich einer ergonomischen Sitzhaltung beim untersuchten Probandenkollektiv Handlungsbedarf besteht und ggf. ein Sitzmemory die Haltung verbessern könnte.

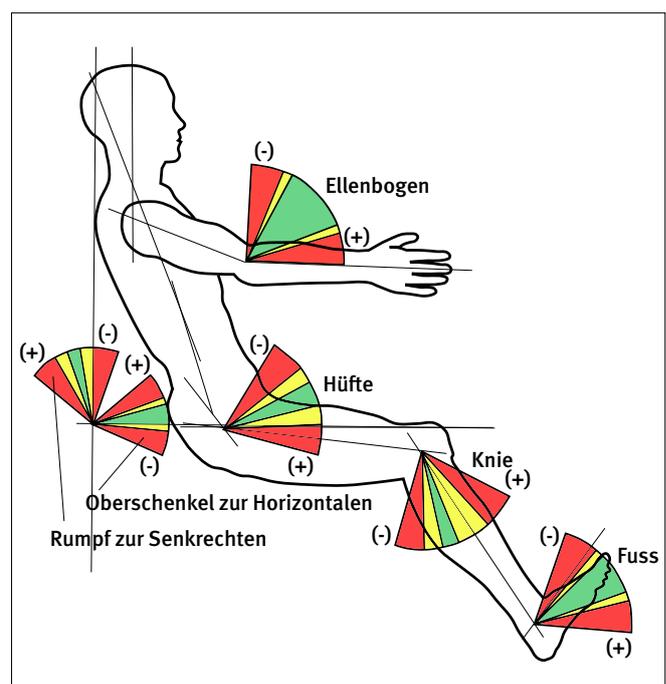
Tabelle 4: Häufigkeiten der Körperwinkelmittelwerte aller Probanden in der Messphase 1

Körpergelenk bzw. Körperteil	Häufigkeitsverteilung der Körperwinkelmittelwerte aller Probanden in der Messphase 1 in %				
	Rot (-)	Gelb (-)	Grün (Komfortbereich)	Gelb (+)	Rot (+)
Fuß-(Sprung-)gelenk links	27	8	43	6	16
Fuß-(Sprung-)gelenk rechts	42	13	41	2	2
Kniegelenk links	16	12	24	39	9
Kniegelenk rechts	7	8	12	68	5
Hüftgelenk links	0	1	28	34	37
Hüftgelenk rechts	0	3	42	33	22
Ellenbogengelenk links	0	0	12	8	80
Ellenbogengelenk rechts	0	0	17	10	73
Oberschenkel zur Horizontalen links	77	12	11	0	0
Oberschenkel zur Horizontalen rechts	64	21	15	0	0
Rumpf zur Senkrechten	9	17	30	29	15

Aus Tabelle 4 kann bei genauerer Analyse zudem eine „typische Sitzhaltung“ oder Sitzhaltungstendenz des Probandenkollektivs ermittelt und, wie in Abbildung 19 veranschaulicht, dargestellt werden. Diese Haltung zeichnet sich durch folgende Charakteristika aus: Beim Ellenbogen liegen 80 % (linkes Gelenk) bzw. 73 % (rechtes Gelenk) der Probandenmittelwerte der gemessenen Winkel außerhalb des Komfortbereiches (grün) und des Toleranzbereiches (gelb), den sie überschreiten. Die Fahrer nehmen also Armhaltungen an, die sich weit von den empfohlenen 95 bis 135° für den Ellenbogen entfernen, sodass sie mit mehr oder weniger gestreckten Armen den Bus steuern.

Diese Armhaltung korrespondiert mit dem großen Anteil (44 % = 29 % gelb(+) und 15 % rot(+)) der Überschreitungen der Komfortwinkel durch die Probandenmittelwerte beim Rumpf zur Senkrechten. Die Fahrer lehnen sich also zum Teil weiter zurück (Vergrößerung des Winkels Rumpf zur Senkrechten) als ergonomisch günstig wäre. Zudem wird der Komfortwinkel des Oberschenkels zur Horizontalen in der Regel stark bis sehr stark (immerhin 77 % der linken und 64 % der rechten gemessenen Winkelmittelwerte befinden sich sogar außerhalb des Toleranzbereiches) unterschritten. Dies bedeutet, dass die Oberschenkel nach unten geneigt werden, was ebenfalls die Tendenz zur Überschreitung der Komfortwinkel im Hüftbereich verstärkt.

Abbildung 19: Typische Sitzhaltung (Sitzhaltungstendenz) in Messphase 1



Auch die Mittelwerte der Kniewinkel überschreiten in weiten Teilen den empfohlenen Komfortwinkelbereich, sodass die Fahrer die Beine weiter ausstrecken als ergonomisch günstig wäre. Diese Bein Streckung und die starke Neigung der Unterschenkel nach unten kompensieren die Probanden, die ja mit dem rechten Fuß das Gaspedal bedienen müssen, durch eine starke Neigung des Fußes zum Körper hin. Dies zeigt sich daran, dass 55 % aller Probandenmittelwerte der gemessenen Winkel des rechten Sprunggelenks den empfohlenen Messbereich unterschreiten, 42 % befinden sich sogar außerhalb des Toleranzbereiches.

Beim Winkel „Rumpf zur Senkrechten“ liegen allerdings auch 30 % der Probandenmittelwerte der gemessenen Körperwinkel im Komfortbereich. Es ergibt sich aber durch die oben beschriebene Beinhaltung für große und sehr große Fahrer/-innen ein großer Platzbedarf in Längsrichtung, sodass ggf. die Rückwand der Fahrerkabine von der Sitzlehne berührt wird. Durch das Zurückfahren des Sitzes werden – bei nicht sehr langen Armen – die Ellenbogengelenke fast durchgestreckt (rot(+)), sodass zum Lenken ggf. sogar der Oberkörper vorgebeugt wird.

Das Lenkrad (inkl. Armaturentafel) können die Fahrer/-innen in der Höhe und Entfernung zum Sitz anpassen. Dadurch ist es ihnen möglich, die Winkel der Ellenbogengelenke in Grenzen separat zu verändern. Die Verstellmöglichkeit des Lenkrades konnte jedoch in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse der Messphase 1 sind in Anhang C für jedes Körpergelenk grafisch dargestellt. Hier sind neben den Mittelwerten auch die zugehörigen 50. (Median) und 90. Perzentilwerte der Verteilungen angegeben.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass sich in Messphase 1 nur ein geringer Prozentsatz der mittleren Körperwinkel im Komfortbereich befindet (zwischen 11 und 43 % je nach betrachtetem Gelenk). Ferner liegen einige mittlere Gelenkwinkel bis zu 80 % weit außerhalb der Komfortwinkel in den roten Bereichen. Hieraus ergibt sich ein Handlungsbedarf, sodass die Untersuchung fortgesetzt wurde und das Sitzmemoriesystem zum Einsatz kam.

Die Auswertung der Sitzeinstellungsdaten in Messphase 1 führte zu einer Aufteilung des Probandenkollektivs in drei verschiedene Typen von Fahrern:

- Typ I: Der Proband stellt den Sitz bei jeder Messfahrt gleich (auch abweichend von den Komfortwinkeln) ein.
- Typ II: Die Sitzeinstellungen variieren leicht (Sitzeinstellverhalten zwischen Typ I und III).
- Typ III: Die Sitzeinstellungen variieren sehr stark.

In Abbildung 20a und b ist der zeitliche Verlauf der Sitzeinstellungen exemplarisch für die jeweils drei Einzelmessungen von zwei Busfahrern (Typ I und III) während der Messphase 1 dargestellt. In der Abbildung ist zu beachten, dass die Werte zwischen den einzelnen Messpunkten interpoliert sind. Diese wurde gewählt, um den Verlauf der Sitzeinstellung besonders deutlich werden zu lassen.

Insgesamt teilte sich das Probandenkollektiv – bezogen auf die drei Typen I bis III – wie in Tabelle 5 dargestellt auf.

Abbildung 20a:
Zeitlicher Verlauf der Sitzeinstellungen während der Messphase 1 für Busfahrer (Typ I)

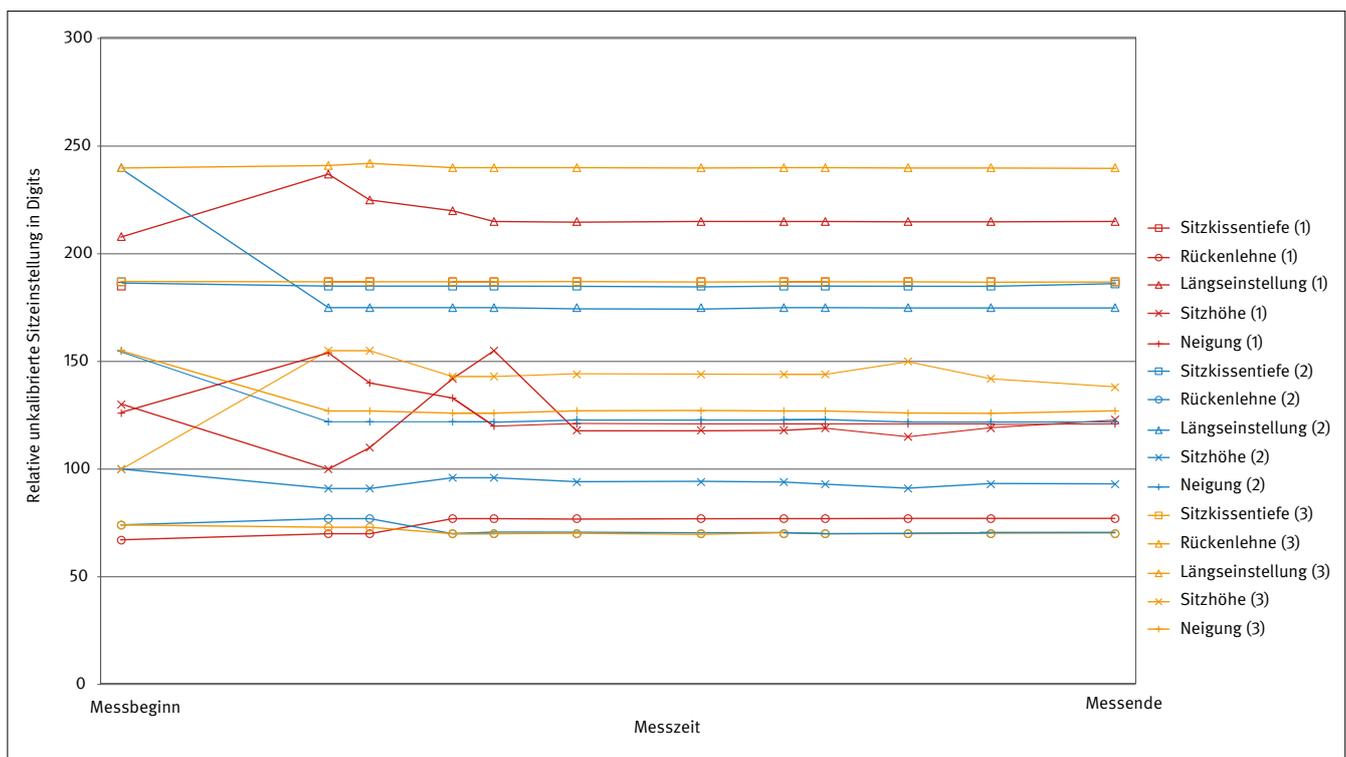


Abbildung 20b:
Zeitlicher Verlauf der Sitzeinstellungen während der Messphase 1 für Busfahrer (Typ III)

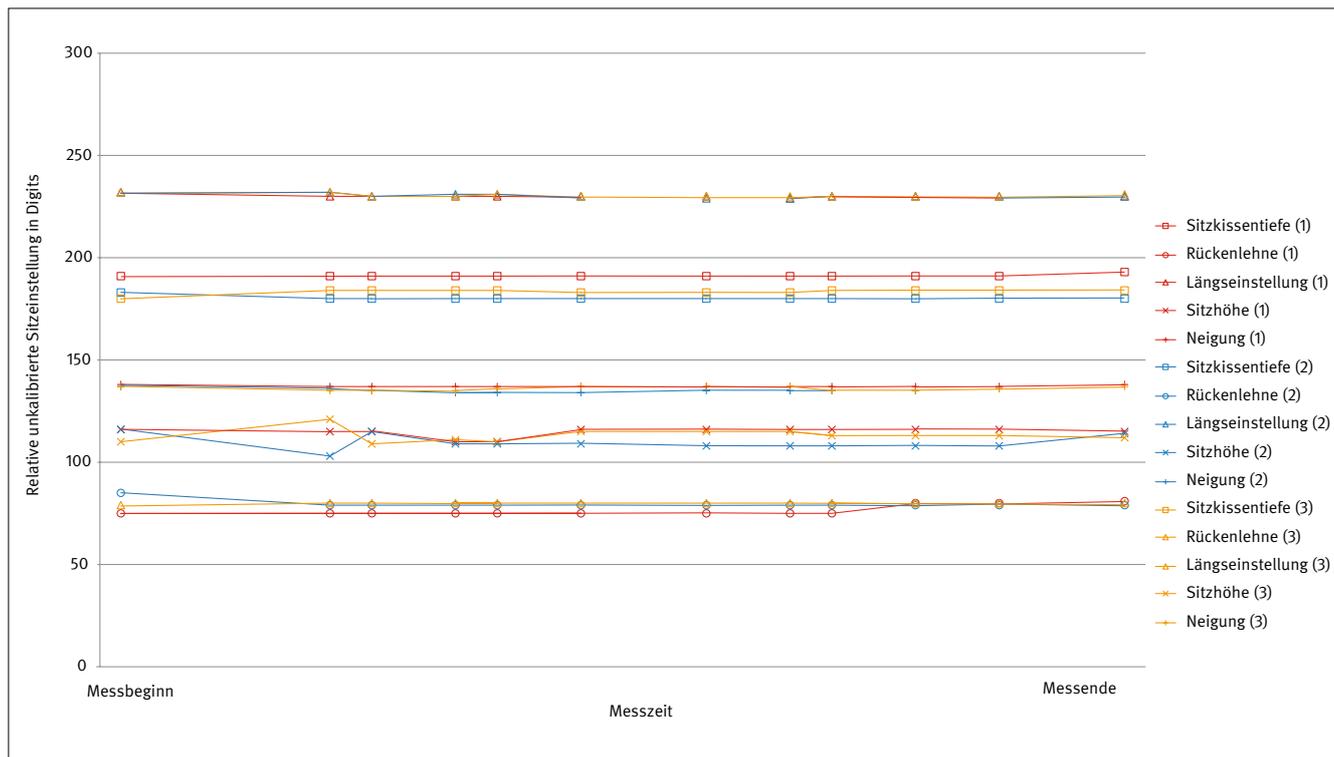


Tabelle 5:
Anzahl der Busfahrer/-innen des Sitztyps I bis III während der Messphase 1

Sitztyp	Fahrersitz-Einstellungsverhalten	Anzahl Busfahrer/-innen
I	konstant	15
II	leicht variierend	10
III	stark variierend	3

6.2 Ergebnisse der Laborphase

Für 25 der insgesamt 28 Probanden, die an der Messphase 1 teilgenommen hatten, ermittelte ein Arzt in der Laborphase die individuell optimale Sitzeinstellung. Die zugehörigen Einstellungsdaten wurden in den Memorysticks gespeichert, die den Fahrer/-innen anschließend ausgehändigt wurden. Neben der Übereinstimmung der Körperwinkel mit den ergonomischen Komfortwinkelvorgaben wurde darauf geachtet, dass die Sitzeinstellung nicht die Sichtverhältnisse gemäß den Richtlinien der Straßenverkehrszulassungsordnung [15; 16] einschränkte.

Sechs der 25 Proband(inn)en äußerten sich ablehnend gegenüber der für sie ungewohnten neuen Sitzeinstellung. Sie akzeptierten jedoch die Sitzeinstellung als „Grundeinstellung“ für die folgenden Messungen der Verifikationsphase (Messphase 2).

In der Laborphase zeigte sich, dass zur Einstellung der ergonomischen Komfortwinkel im wesentlichen vier Sitzfunktionen benötigt und damit memorisiert werden sollten: Sitzlängs- und -höhenverstellung, Sitzlehnenneigung und -flächenneigung.

6.3 Ergebnisse der Verifikationsphase (Messphase 2)

Insgesamt nahmen 25 von den ursprünglich 28 Probanden an der Verifikationsphase (Messphase 2) teil. Die Sitzeinstellung zu Beginn der Messungen erfolgte in Messphase 2 durch die Memorysticks, auf denen die individuell ergonomisch günstigsten Sitzhaltungen der Laborphase gespeichert waren. Die Busfahrer/-innen, die sich vor dieser Phase in einem Eingewöhnungszeitraum von ca. zwei Monaten an die zum Teil neuen Sitzeinstellungen gewöhnen konnten, waren nun angehalten, die Memorysitzeinstellungen zu Beginn der Messungen zunächst zu übernehmen. Während der Messungen hatten sie die Möglichkeit, die Sitzeinstellungen manuell zu verändern. Im Verlauf der Messphase 2 zeigte sich, dass sich in Bezug auf die Akzeptanz der durch den Memorystick vorgegebenen Sitzeinstellung unter den Probanden drei verschiedene Typen differenzieren ließen:

- Gruppe 1: Die Fahrer/-innen akzeptieren die Memorysitzeinstellungen vollständig (Akzeptanz – hoch).
- Gruppe 2: Die Fahrer/-innen akzeptieren die Memorysitzeinstellungen im Großen und Ganzen, nahmen jedoch während der Messungen geringfügige Veränderungen an den Sitzeinstellungsgrößen vor (Akzeptanz – mittel).
- Gruppe 3: Die Fahrer/-innen akzeptieren die Memorysitzeinstellung nicht und verstellten mindestens zwei Sitzeinstellungsparameter direkt nach Beginn der Messungen (Akzeptanz – gering).

Insgesamt teilt sich das Probandenkollektiv in Messphase 2 bezogen auf diese Untergruppen wie in Tabelle 6 dargestellt auf.

Tabelle 6:
Anzahl der Busfahrer/-innen der Gruppen 1 bis 3 während der Messphase 2

Gruppe	Akzeptanz der memorisierten Sitzeinstellung	Anzahl Busfahrer/-innen
1	Hoch	8
2	Mittel	8
3	Gering	9

Die Auswertung der Messdaten in der Messphase 2 erfolgt zunächst für das gesamte Probandenkollektiv (Abschnitt 6.3.1). Aufgrund des unterschiedlichen Verhaltens der Probanden wurden anschließend die Gruppen 1 (hohe Akzeptanz) und 3 (geringe Akzeptanz) nochmals gesondert ausgewertet (Abschnitt 6.3.2 bzw. 6.3.3).

6.3.1 Ergebnisse der Messphase 2 bezogen auf alle Probanden

In Tabelle 7 sind die Mittelwerte der prozentualen Häufigkeiten, mit denen alle Fahrer während der Messphase 2 Körperwinkel in den Komfortbereichen annehmen bzw. diese über- oder unterschreiten, zusammengestellt. Neben den mittleren prozentualen Häufigkeiten sind in Klammern die prozentualen Häufigkeitsdifferenzen gegenüber der Messphase 1 dargestellt.

Tabelle 7 verdeutlicht, dass gegenüber Messphase 1 bei fast allen gemessenen Körperwinkeln eine Zunahme der

prozentualen Anteile im Komfortbereich erfolgt (Ausnahmen: Kniewinkel links, Hüftwinkel rechts). Bei dem Winkel „Oberschenkel zur Horizontalen“ fallen die Verlagerungen vom unergonomischen rot(-)-Bereich in den ergonomischen Komfortbereich am deutlichsten aus: Einer Zunahme der Winkel im Komfortbereich (links: +54 %; rechts: +36 %) steht eine starke Abnahme im rot(-)-Bereich gegenüber (links: -63 %; rechts: -38 %). Bei den Ellenbogengelenken zeichnet sich ebenfalls eine Tendenz der Probandenmittelwerte der gemessenen Winkel in Richtung des Komfortwinkelbereiches ab – links; +22 %; rechts: +17 %. Dies bedeutet, dass die Arme im Vergleich zur Messphase 1 weniger häufig durchgestreckt (rot(+)-Bereich) werden.

Bei den Sprunggelenkwinkeln, die in der Messphase 1 deutlich zu klein waren (rot(-)-Bereich), ist ebenfalls eine Zunahme der mittleren Häufigkeiten im Komfortbereich zu verzeichnen (rechts: +13 %; links: +5 %). Die mittlere Verteilung des Winkels „Rumpf zur Senkrechten“ ändert sich gegenüber den Ergebnissen aus Messphase 1 nur wenig in Richtung Komfortbereich.

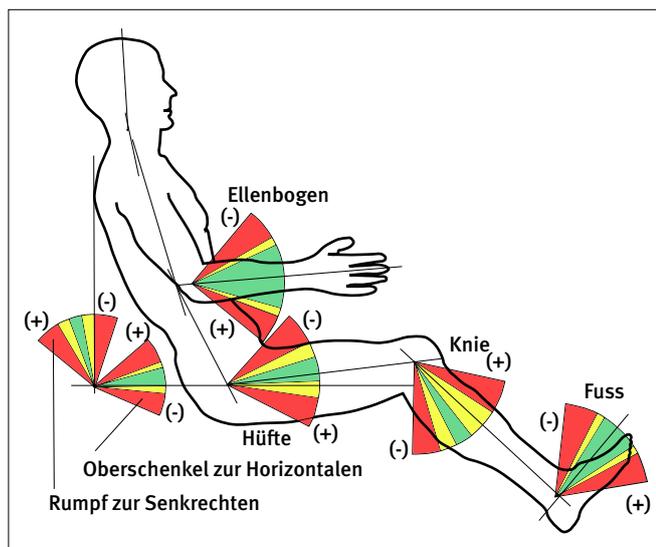
Bei den Kniegelenkwinkeln ist für die rechte Seite, die an die Bedienung des Gaspedals gekoppelt ist, eine Verlagerung vom Toleranzbereich gelb(+) zum Komfortbereich hin zu beobachten (+11 %). Auf den linken Kniewinkel hat die Memorysitzeinstellung keine Wirkung, da mit dem linken Bein keine Funktionen ausgeführt werden und dadurch die Haltung im Ermessen des Fahrers liegt.

Die beschriebene Sitzhaltungstendenz des gesamten Probandenkollektivs in der Verifikationsphase ist in Abbildung 21 veranschaulicht.

Tabelle 7:
Häufigkeit der Körperwinkelmittelwerte aller Probanden in der Messphase 2 und ihre Differenz (δ) zu Messphase 1

Körpergelenk bzw. Körperteil	Häufigkeit der Winkelverteilung aller Probanden in der Messphase 2 und ihre Differenz (δ) zu Messphase 1 in %				
	Rot (-)	Gelb (-)	Grün (Komfortbereich)	Gelb (+)	Rot (+)
Fuß-(Sprung-)gelenk links	3 (δ : -24)	1 (δ : -7)	48 (δ : +5)	14 (δ : +8)	34 (δ : +18)
Fuß-(Sprung-)gelenk rechts	29 (δ : -13)	10 (δ : -3)	54 (δ : +13)	4 (δ : +2)	3 (δ : +1)
Kniegelenk links	18 (δ : +2)	11 (δ : -1)	20 (δ : -4)	44 (δ : +5)	7 (δ : -2)
Kniegelenk rechts	10 (δ : +3)	8 (δ : +0)	23 (δ : +11)	55 (δ : -13)	4 (δ : -1)
Hüftgelenk links	0 (δ : +0)	4 (δ : +3)	32 (δ : +4)	43 (δ : +9)	21 (δ : -16)
Hüftgelenk rechts	0 (δ : +0)	0 (δ : -3)	26 (δ : -16)	35 (δ : +2)	39 (δ : +17)
Ellenbogengelenk links	2 (δ : +2)	1 (δ : +1)	39 (δ : +22)	9 (δ : +1)	49 (δ : -31)
Ellenbogengelenk rechts	1 (δ : +1)	1 (δ : +1)	34 (δ : +17)	8 (δ : -2)	56 (δ : -17)
Oberschenkel zur Horizontalen links	14 (δ : -63)	11 (δ : -1)	65 (δ : +54)	5 (δ : +5)	5 (δ : +5)
Oberschenkel zur Horizontalen rechts	26 (δ : -38)	17 (δ : -4)	51 (δ : +36)	3 (δ : +3)	3 (δ : +3)
Rumpf zur Senkrechten	2 (δ : -7)	17 (δ : +0)	32 (δ : +2)	37 (δ : +8)	12 (δ : -3)

Abbildung 21:
Typische Sitzhaltung (Sitzhaltungstendenz) des gesamten Probandenkollektivs in Messphase 2



Die Ergebnisse der Messphase 2 sind im Anhang C2 für jedes Körpergelenk grafisch dargestellt. Neben den Mittelwerten sind hier auch die 50. (Median) und 90. Perzentilwerte der Verteilungen angegeben.

6.3.2 Ergebnisse der Messphase 2 für die Untergruppe 1 des Probandenkollektivs (hohe Akzeptanz der memorisierten Sitzeinstellung)

Die Fahrer/-innen der Untergruppe 1 in Messphase 2 akzeptierten die memorisierte Sitzeinstellung vollständig und diese wurde somit während der Messungen in Messphase 2 nicht oder nur geringfügig verändert.

In Tabelle 8 sind die prozentualen Häufigkeiten, mit denen die Untergruppe dieser Fahrer/-innen im Mittel während der

Messphase 2 Körperwinkel in den Komfortbereichen annehmen bzw. diese über- oder unterschreiten, zusammengestellt. In Klammern sind auch hier zum Vergleich die prozentualen Häufigkeiten der Mittelwerte aus Messphase 1 aufgetragen.

Hier wird deutlich, dass bei dieser Gruppe im Vergleich zum beschriebenen Gesamtkollektiv der Messphase 1 eine deutliche Verbesserung der Sitzhaltung durch die Übernahme der memorisierten Sitzeinstellung festzustellen ist (Ausnahme: Kniewinkel links). Auch gegenüber den mittleren Körperwinkeln der Messphase 2 bezogen auf das gesamte Probandenkollektiv (Abschnitt 6.3.1) haben sich die Körpergelenkwinkel in Richtung der ergonomischen Komfortbereiche verschoben. Insgesamt befindet sich der überwiegende Teil der mittleren Gelenkwinkel im Komfortbereich oder den benachbarten Toleranzbereichen gelb(-) und gelb(+), sodass eine ergonomische Sitzhaltung eingenommen wird.

Hohe mittlere prozentuale Häufigkeiten außerhalb des Komfort- und Toleranzbereiches finden sich noch beim linken Sprunggelenk (rot(+): 31 %) und linken Kniegelenk (rot(-): 21 %). Dies liegt darin begründet, dass die Position des linken Beines – wie erwähnt – während der Fahrt frei wählbar bleibt.

Ebenfalls auffällig ist der immer noch hohe Anteil von mittleren Ellenbogenwinkeln außerhalb des Toleranzbereiches (links: 45 % rot(+); rechts: 44 % rot(-)). Hier kommt die Verstellmöglichkeit des Lenkrades zum Tragen, die im Rahmen dieser Untersuchung von der Memorisierung nicht erfasst wurde und daher nicht berücksichtigt werden konnte.

Die Auswertung der Messphase 2 für die Untergruppe 1 ist in Anhang C für jedes Körpergelenk grafisch dargestellt. Hier sind neben den Mittelwerten auch die zugehörigen 50. Perzentilwerte der Verteilungen angegeben. Auf die Angabe der 90. Perzentilwerte wurde aufgrund der geringen Anzahl der Probandenuntergruppe verzichtet.

Tabelle 8:
Häufigkeit der Körperwinkelmittelwerte der Untergruppe 1 (hohe Memoryakzeptanz) in der Messphase 2 und ihre Differenz (δ) zu Messphase 1 (Gesamtkollektiv)

Körpergelenk bzw. Körperteil	Winkelverteilung in der Messphase 2 (Untergruppe: Memoryakzeptanz) und ihre Differenz (δ) zu Messphase 1 in %				
	Rot (-)	Gelb (-)	Grün (Komfortbereich)	Gelb (+)	Rot (+)
Fuß-(Sprung-)gelenk links	2 (δ : -25)	3 (δ : -5)	56 (δ : +13)	8 (δ : +2)	31 (δ : +15)
Fuß-(Sprung-)gelenk rechts	25 (δ : -17)	10 (δ : -3)	58 (δ : +17)	3 (δ : +1)	4 (δ : +2)
Kniegelenk links	21 (δ : +5)	12 (δ : +0)	21 (δ : -3)	37 (δ : -2)	9 (δ : +0)
Kniegelenk rechts	10 (δ : +3)	17 (δ : +9)	25 (δ : +13)	41 (δ : -27)	7 (δ : +2)
Hüftgelenk links	0 (δ : +0)	6 (δ : +5)	44 (δ : +16)	31 (δ : -3)	19 (δ : -18)
Hüftgelenk rechts	0 (δ : +0)	0 (δ : -3)	51 (δ : +9)	35 (δ : +2)	14 (δ : -8)
Ellenbogengelenk links	2 (δ : +2)	0 (δ : +0)	43 (δ : +31)	10 (δ : +2)	45 (δ : -35)
Ellenbogengelenk rechts	2 (δ : +2)	1 (δ : +1)	44 (δ : +27)	9 (δ : -1)	44 (δ : -29)
Oberschenkel zur Horizontalen links	17 (δ : -60)	13 (δ : +1)	62 (δ : +51)	4 (δ : +4)	4 (δ : +4)
Oberschenkel zur Horizontalen rechts	5 (δ : -59)	17 (δ : -4)	75 (δ : +60)	3 (δ : +3)	0 (δ : +0)
Rumpf zur Senkrechten	2 (δ : -7)	17 (δ : +0)	42 (δ : +12)	30 (δ : +1)	9 (δ : -6)

6.3.3 Ergebnisse der Messphase 2 für die Untergruppe 3 des Probandenkollektivs (geringe Akzeptanz der memorisierten Sitzeinstellung)

Die Fahrer/-innen der Untergruppe 3 in Messphase 2 akzeptierten die memorisierte Sitzeinstellung nicht oder nur in geringem Maße. Direkt zu Beginn der Messungen verstellten die Fahrer/-innen mindestens zwei Sitzeinstellungsparameter.

In Tabelle 9 sind die prozentualen Häufigkeiten, mit denen die Untergruppe dieser Fahrer/-innen während der Messphase 2 Körperwinkel in den Komfortbereichen annehmen bzw. diese über- oder unterschreiten, zusammengestellt.

Bei den Probanden der Gruppe 3 lässt sich im Vergleich zu denen der Gruppe 1, welche die Memorysitzeinstellung akzeptierten, nur eine geringe Verbesserung der Sitzhaltung gegenüber Messphase 1 feststellen. So ist bei sieben von elf Körperwinkeln eine Zunahme der mittleren Häufigkeiten im Komfortwinkelbereich festzustellen. Demgegenüber verbesserten sich bei den Probanden der Gruppe 1 die Häufigkeiten von zehn Körperwinkeln im Komfortbereich.

Tabelle 9:

Häufigkeit der Körperwinkelmittelwerte der Untergruppe 3 (geringe Memoryakzeptanz) in der Messphase 2 und ihre Differenz (δ) zu Messphase 1 (Gesamtkollektiv)

Körpergelenk bzw. Körperteil	Winkelverteilung in der Messphase 2 (Untergruppe: Nichtakzeptanz des Memorys) und ihre Differenz (δ) zu Messphase 1 in %				
	Rot (-)	Gelb (-)	Grün (Komfortbereich)	Gelb (+)	Rot (+)
Fuß-(Sprung-)gelenk links	0 (δ : -27)	0 (δ : -8)	47 (δ : +4)	26 (δ : +20)	27 (δ : +11)
Fuß-(Sprung-)gelenk rechts	36 (δ : -6)	8 (δ : -5)	49 (δ : +8)	4 (δ : +2)	3 (δ : +1)
Kniegelenk links	18 (δ : +2)	13 (δ : +1)	14 (δ : -10)	53 (δ : +14)	2 (δ : -7)
Kniegelenk rechts	9 (δ : +2)	5 (δ : -3)	16 (δ : +4)	67 (δ : -1)	3 (δ : -2)
Hüftgelenk links	0 (δ : +0)	7 (δ : +6)	27 (δ : -1)	49 (δ : +15)	17 (δ : -20)
Hüftgelenk rechts	0 (δ : +0)	0 (δ : -3)	9 (δ : -33)	47 (δ : +14)	44 (δ : +22)
Ellenbogengelenk links	2 (δ : +2)	1 (δ : +1)	37 (δ : +25)	10 (δ : +2)	50 (δ : -30)
Ellenbogengelenk rechts	1 (δ : +1)	0 (δ : +0)	29 (δ : +12)	9 (δ : -1)	61 (δ : -12)
Oberschenkel zur Horizontalen links	7 (δ : -70)	20 (δ : +8)	71 (δ : +60)	2 (δ : +2)	0 (δ : +0)
Oberschenkel zur Horizontalen rechts	35 (δ : -29)	24 (δ : +3)	41 (δ : +26)	0 (δ : +0)	0 (δ : +0)
Rumpf zur Senkrechten	2 (δ : -7)	17 (δ : +0)	26 (δ : -4)	39 (δ : +10)	16 (δ : +1)

6.4 Ergebnisse der Auswertung des Fragebogens zur Bewertung des Fahrersitzes durch die Fahrer/-innen

In dem an 28 Fahrer/-innen verteilten Fragebogen wurde nach einer Beurteilung vor allem von Sitzkomfort und Bedienerfreundlichkeit des erprobten Memorysitzes gefragt.

Die Probanden konnten bei einigen Fragen einzelne Elemente des Sitzes und der Sitzeinstellung (beispielsweise Sitzpolsterung oder Bereiche der Sitzverstellbarkeit) jeweils mit den Noten „sehr gut“ bis „mangelhaft“ bewerten, bei manchen Fragen zwischen den Beurteilungen „nützlich“ und „überflüssig“ wählen. Zudem wurden offene Fragen gestellt, um die Möglichkeit

Insgesamt lässt sich jedoch feststellen, dass selbst bei dieser Gruppe, welche die memorisierte Sitzeinstellung nicht oder nur geringfügig akzeptierte, im Durchschnitt eine Verbesserung der Sitzhaltung gegenüber Messphase 1 festzustellen ist. Besonders deutlich wird dies für den Oberschenkelwinkel. So ist für den linken Oberschenkelwinkel eine Zunahme der mittleren Häufigkeiten im Komfortbereich von 11 auf 71 %, für den rechten Oberschenkelwinkel immerhin von 15 auf 41 % festzustellen. Dies zeigt, dass selbst die Verstellung einiger Sitzeinstellungsparameter durch den Fahrer die Memorisierung einer ergonomisch günstigen Gesamtsitzeinstellung positive Effekte auf die Fahrersitzhaltung hat.

Die Auswertung der Messphase 2 für die Untergruppe 3 ist in Anhang C für jedes Körpergelenk grafisch dargestellt. Hier sind neben den Mittelwerten auch die zugehörigen 50. Perzentilwerte der Verteilungen angegeben. Auf die Angabe der 90. Perzentilwerte wurde aufgrund der geringen Probandenanzahl der Untergruppe verzichtet.

zu erweiterten Kommentaren zu bieten (siehe Anhang B). Von den ausgegebenen Fragebögen wurden 25 vollständig ausgefüllt zurückgesendet.

Sowohl Sitzkomfort als auch Bedienerfreundlichkeit wurden allgemein als gut angesehen. So beurteilten in einer abschließenden Frage nach dem Vergleich des Sitzes mit den anderen Fahrersitzen der Stadtwerke Bonn 24 von 25 Probanden den Sitz mit „sehr gut“ (12) und „gut“ (12) und nur einer mit „befriedigend“.

Im Folgenden werden die Beurteilung von Sitzkomfort und Bedienerfreundlichkeit seitens der Fahrer/-innen nochmals genauer beschrieben.

- Sitzkomfort

Sowohl der Sitzkomfort der Sitzfläche als auch der Rückenlehne wurden in der Regel als gut bis sehr gut beurteilt. Die offene Frage nach Druckstellen zeigte, dass einige Probanden die Fläche der Luftpolster als zu klein ansehen. Der Bereich der Sitzverstellbarkeit wurde ebenfalls weitgehend als gut bis sehr gut beurteilt. Größere Unzufriedenheit zeigte sich jedoch zu den Möglichkeiten der Längsverstellung des Sitzes und des Neigungsgrades der Sitzfläche. So beurteilten immerhin vier Probanden die Möglichkeit der Längsverstellung der Sitzfläche als mangelhaft, drei als nur ausreichend. Die offene Frage nach einer benötigten Veränderung der Verstellbereiche zeigte in diesem Zusammenhang, dass vor allem der Bedarf besteht, den Sitz weiter nach hinten verstellen zu können.

Bei der Sitzflächenneigung wurde bemängelt, dass sich die Sitzfläche zu wenig nach vorne neigen ließ.

Durchweg als nützlich wurde die verstellbare Lendenwirbelstütze bewertet. Zustimmung fanden auch die verstellbare Kopfstütze und eine (beim zu erprobenden Sitz nicht vorgesehene) Drehvorrichtung des Sitzes. Jeweils neun von 25 Probanden legten jedoch keinen Wert auf die letzten beiden Sitzeinstellungsmöglichkeiten. Der Gurt wurde zustimmend aufgenommen, beklagt wurde jedoch, dass er sich nicht individuell einstellen ließ und daher für manche Fahrer/-innen zu hoch oder zu eng eingestellt war. Auch das letzte Element des Sitzkomforts, das Sitzklima (Empfindung von Wärmestau und Feuchtigkeit), beurteilte die Mehrheit als „gut“ bis „sehr gut“.

- Bedienerfreundlichkeit

Die Probanden sahen alle Betätigungselemente in der Regel als einfach zu bedienen an. So beurteilten jeweils über 80 % aller Befragten die Bedienbarkeit der einzelnen Einstellungselemente (Höhenverstellung, Längsverstellung etc.) als „gut“ und „sehr gut“. Bei der offenen Frage danach, was besonders unpraktisch bei der Sitzverstellung sei, wurde bemängelt, dass die Betätigungselemente nicht „blind“ zu bedienen sind und die Funktionen zu nahe beieinander liegen. Ein Proband machte zudem darauf aufmerksam, dass die Beschriftung der Lendenwirbelstütze falsch sei.

Die Einführung eines Sitzmemorys beurteilte die Mehrheit (17 von 25) als nützlich.

Zusammenfassend ist also festzustellen, dass die Fahrer/-innen sowohl den Sitzkomfort als auch die Bedienerfreundlichkeit des neuen Memorysitzes positiv einschätzen. Verbesserungsbedarf scheint aus Sicht der Fahrer lediglich hinsichtlich folgender Punkte zu bestehen:

- Längseinstellungsmöglichkeit der Sitzes – Der Sitz sollte sich weiter nach hinten verstellen lassen, da einigen Personen die nötige Beinfreiheit fehlt. Hierzu ist allerdings anzumerken, dass ein großer Teil der Fahrer dazu neigt, den Sitz (ohne Memoryfunktion, Messphase 1) so einzustellen, dass die Kniegelenkwinkel zu groß sind (gelb(+)- und rot(+)-Bereich).
- Sitzneigungsmöglichkeit – Der Sitz sollte sich weiter nach vorne neigen lassen.
- Gurt – Der Gurt sollte sich individuell einstellen lassen.
- Bedienungselemente – Die Schaltknöpfe für die Sitzeinstellung sollten besser gekennzeichnet sein und weiter auseinanderliegen. Ob es notwendig ist, den Sitz „blind“ einstellen zu können, ist – vor allem in Anbetracht der Memoryfunktion – noch zu diskutieren.

7 Diskussion

Im Folgenden sind zunächst die Ergebnisse der Untersuchung zusammengefasst:

- Die Ergebnisse der Messphase 1 verdeutlichen, dass ohne Einsatz des memorisierten Fahrersitzes erhebliche ergonomische Defizite in der Sitzhaltung der Fahrer bestehen.
- Durch den Einsatz der Memoryfunktion konnte für das Gesamtprobandenkollektiv eine deutliche Verbesserung der Sitzhaltung erreicht werden. Dabei zeigte sich in der Laborphase, dass zur Einstellung der ergonomischen Komfortwinkel im Wesentlichen vier Sitzeinstellungsfunktionen memorisiert werden sollten: Sitzhöhe, Sitzlängseinstellung, Rückenlehnenneigung und Sitzflächenneigung.
- Die subjektive Einschätzung von Bedienerfreundlichkeit und Sitzkomfort des Memorysitzes durch die Fahrer/-innen fiel nahezu uneingeschränkt positiv aus.
- Hinsichtlich der Akzeptanz der memorisierten Sitzhaltung durch die Fahrer ließ sich eine Dreiteilung des Probandenkollektivs feststellen: hohe, mittlere und geringe Akzeptanz.

Dabei zeigte sich, dass, je stärker die Akzeptanz der memorisierten Sitzeinstellung war, eine umso deutlichere Verbesserung der Sitzhaltung gemessen werden konnte. Es ließ sich jedoch selbst für die Gruppe der Fahrer/-innen, welche die memorisierte Sitzeinstellung nur geringfügig akzeptierten und einige manuelle Veränderungen der Sitzeinstellungen vornahmen, insgesamt eine Verbesserung der Sitzhaltungen feststellen.

Der Einsatz des Memorysitzes ist aus Sicht des BIA insgesamt zu empfehlen, weil er im Durchschnitt zu einer deutlichen Verbesserung der Körperhaltung beiträgt. Da zudem auffällt, dass die Verbesserung der Sitzhaltung umso größer ausfällt, je stärker die Akzeptanz der memorisierten Sitzeinstellung ist, ist als Fernziel eine möglichst große Akzeptanz des Sitzes durch die Busfahrer/-innen anzustreben. Dazu gehört die Analyse der Gründe, die zu einer Ablehnung führen. Im Folgenden werden einige mögliche Gründe für die Nichtakzeptanz diskutiert.

Eine mögliche Hypothese wäre, dass aufgrund einer sich in vielen Dienstjahren gewohnheitsmäßig ausgebildeten Sitzhaltung die Chancen für die Akzeptanz für eine neue Sitzhaltung verschlechtern. Vergleicht man jedoch das Durchschnittsdienstalter der Gruppe, welche die memorisierte Sitzeinstellung akzeptierte, mit der Gruppe, die sie ablehnte, so zeigt sich für die erste Gruppe ein höheres Dienstalter, sodass diese Ursache auszuschließen ist (17,1 ± 5,8 Jahre gegenüber 14,5 ± 9,1 Jahre).

Weitere Einflussmöglichkeiten auf die Akzeptanz der memorisierten Sitzeinstellung sind die individuellen anthropometrischen Maße der Busfahrer/-innen. In Tabelle 10 ist die Abhängigkeit der Körperlänge und des Body Mass Index (BMI), ein aus dem Körpergewicht und dem Quadrat der Körperlänge des Probanden berechneter Quotient, von der Zugehörigkeit der drei Probandenuntergruppen aus Messphase 2 (hohe, mittlere und geringe Akzeptanz der memorisierten Sitzeinstellung) dargestellt.

Es findet sich hier keine eindeutige Tendenz. Es scheint, dass bei kleineren Fahrer/-innen eher eine geringere Akzeptanz der memorisierten Sitzeinstellung beobachtet werden kann. Etwas klarer wird der Zusammenhang, wenn anstelle der Körperlänge die Oberkörperlänge oder Stammlänge als Indikator verwendet wird (Tabelle 11).

Demnach akzeptieren Fahrer/-innen mit großer Stammlänge die memorisierten ergonomischen Sitzeinstellungen eher als diejenigen mit kleiner Stammlänge. Diese Tendenz scheint nicht stark vom BMI abzuhängen.

Die genauen Ursachen für die Nichtakzeptanz der memorisierten Sitzeinstellungen konnten im Rahmen der Untersuchung nicht ermittelt werden. Ob vielleicht (mehrere) anthropometrische Eigenschaften in Kombination zu einer akzeptierenden bzw. ablehnenden Haltung gegenüber den ergonomischen Sitzeinstellungen führten, müsste durch aufwendigere Korrelationsrechnungen erforscht werden.

Tabelle 10: Zusammenhang zwischen Akzeptanz der memorisierten Sitzeinstellung und der Körperlänge sowie dem BMI der Probanden

	≤ 5. Perzentil f: 1,55 m, m: 1,67 m	≤ 50. Perzentil f: 1,66 m, m: 1,78 m	≤ 95. Perzentil f: 1,78 m, m: 1,90 m	> 95. Perzentil
BMI: 20 bis 25 (Normalgewicht)		--	0 +	0 +
BMI: 25 bis 30 (leichtes Übergewicht Typ I)	-	0	-- 0 0 0 0 +	
BMI: > 30 (deutliches Übergewicht Typ II und III)	-	-- 0 ++	- 0 +	+

BMI (Body Mass Index): Körpergewicht/(Körpergröße · Körpergröße)

+ = gute Memoryakzeptanz 0 = mäßige Memoryakzeptanz - = schlechte Memoryakzeptanz

7 Diskussion

Tabelle 11:

Zusammenhang zwischen der Akzeptanz der memorisierten SitzEinstellung und der Körperstammlänge sowie des BMI der Probanden

	≤ 5. Perzentil f: 825 mm, m: 875 mm	≤ 50. Perzentil f: 880 mm, m: 930 mm	≤ 95. Perzentil f: 945mm, m: 995mm	> 95. Perzentil
BMI: 20 bis 25 (Normalgewicht)	–	–0 +	0 +	
BMI: 25 bis 30 (leichtes Übergewicht Typ I)	-- +	– 0 +	0	
BMI: > 30 (deutliches Übergewicht Typ II und III)	-- ++	-- 00++		

BMI (Body Mass Index): Körpergewicht/(Körpergröße · Körpergröße)

+ = gute Memoryakzeptanz	0 = mäßige Memoryakzeptanz	– = schlechte Memoryakzeptanz
--------------------------	----------------------------	-------------------------------

8 Literatur

- [1] Fahrerarbeitsplatz im Linienbus. VDV-Schrift 234. Hrsg.: Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), Köln 2000
- [2] Fahrerarbeitsplatz im Linienbus. Abschlußbericht des Forschungsprojektes, Aachen, Mai 1996. Hrsg.: Institut für Kraftfahrwesen Aachen (ika), Lehrstuhl und Institut für Arbeitswissenschaft der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen (iaw), Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit (BIA), Sankt Augustin
- [3] Marx, M.: Optimierung des Fahrerarbeitsplatzes im Niederflur-Linienbus. Dissertation (D 82), Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen 1997
- [4] Fahrerarbeitsplatz im Reisebus. Bericht zur Vorstudie des Forschungsprojektes, Mai 1998. Hrsg.: Institut für Kraftfahrwesen Aachen (ika), Lehrstuhl und Institut für Arbeitswissenschaft der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen (iaw), Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit (BIA), Sankt Augustin
- [5] Arbeitsplatz „Omnibus“, Informationen zum „Richtigen Sitzen“ in Linien- und Reisebussen. Hrsg.: Berufsgenossenschaft für Fahrzeughaltungen, Hamburg
- [6] Rebiffe, M. P.: The driving seat: its adaptation to functional and anthropometric requirements. Proceedings of a Symposium on Sitting Posture. pp. 132 - 147 (1969). In: Park, S. J.; Kim, C.-B.; Kim, C. J.; Lee, J. W.: Comfortable driving postures for Koreans. Int. J. Ind. Ergon. 26 (2000), S. 489-497
- [7] Grandjean, E.: Sitting Postures for car drivers from the point of view of ergonomics. Human factors in transportation research 2 (1980), S. 205-213. Zitiert in: Park, S. J.; Kim, C.-B.; Kim, C. J.; Lee, J. W.: Comfortable driving postures for Koreans. Int. J. Ind. Ergon. 26 (2000), S. 489-497
- [8] Porter, J. M.; Gyi, D. E.: Exploring the optimum posture for driver comfort. Int. J. Vehicle Design 19 (1998) Nr. 3, S. 255-266. Zitiert in: Park, S. J.; Kim, C.-B.; Kim, C. J.; Lee, J. W.: Comfortable driving postures for Koreans. Int. J. Ind. Ergon. 26 (2000), S. 489-497
- [9] DIN 33402, Teil 1: Körpermaße des Menschen; Begriffe und Messverfahren. Beuth, Berlin 1978
- [10] Jürgens, H. W.; Helbig, K.; Lengsfeld, W.: Körpermaße 25-40 jähriger Männer zur Prüfung der anthropometrisch-ergonomischen Bedeutung altersbedingter Veränderungen der Körperform. Forschungsbericht aus der Wehrmedizin des Bundesministeriums der Verteidigung (BMVg – FBWM 73-1). Hrsg.: Dokumentationszentrum der Bundeswehr (DOKZENTBw) 1973
- [11] Martin, R.: Anthropometrie: Anleitung zu selbständigen anthropologischen Erhebungen und deren Statistische Verarbeitung. Springer, Berlin 1925
- [12] Handbuch der Ergonomie (HdE) mit ergonomischen Konstruktionsrichtlinien. Hrsg.: Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung, Koblenz. 2. Aufl. Carl Hanser, München 1989
- [13] Jürgens, H. W.; Aune, I. A.; Pieper, U.: Internationaler anthropometrischer Datenatlas. Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven 1989
- [14] Ellegast, R.-P.: Personengebundenes Meßsystem zur automatischen Erfassung von Wirbelsäulenbelastungen bei beruflichen Tätigkeiten. BIA-Report 5/98. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 1998
- [15] Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO), §30, Absatz 2.4.1 Richtlinien Schüler und Kindergartenkinder, 12b: Anforderungskatalog für Kraftomnibusse und Kleinbusse, die zur Beförderung von Schülern und Kindergartenkindern besonders eingesetzt werden. 3. Mai 1996 (VkB1, 238)
- [16] Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO), §35b: Einrichtungen zum sicheren Führen der Kraftfahrzeuge, Richtlinien für die Sicht aus Kraftfahrzeugen. 4. Dezember 1962 (VkB1 1962, 669), geändert vom 15. Oktober 1987 (VkB1, 723)
- [17] DIN EN ISO 7250: Wesentliche Maße des menschlichen Körpers für die technische Gestaltung. Beuth, Berlin 1997

Anhang A: Anthropometrie

A1 Definition der in der Studie verwendeten anthropometrischen Parameter

Die Definitionen der anthropometrischen Parameter wurden den Literaturstellen [10; 12; 14] entnommen, wobei Veränderungen gegenüber den vereinfachten Messungen dieser Untersuchung durch { } gekennzeichnet wurden. Alle Messungen wurden an den bekleideten Probanden vorgenommen.

Körperhöhe	
Definition:	Die Körperhöhe ist die vertikale Distanz von der Standfläche bis zum höchsten Punkt des Kopfes.
Messmethode:	Die Person steht mit geschlossenen Füßen maximal gestreckt. Der Kopf wird im Sinne der Frankfurter Horizontalen (Ohr-Augen-Ebene) gehalten.
Messinstrument:	Anthropometer
Schritthöhe	
Definition:	Vertikale Distanz von der Standfläche bis zum distalen Teil des <i>Ramus inferior</i> des <i>Os pubis</i> . Das Maß entspricht annähernd dem Schneidermaß „im Schritt“.
Messmethode:	Der bewegliche Arm des Messinstruments wird zunächst bei etwas geöffneten Beinen der zu untersuchenden Person zwischen der Innenseite des rechten Oberschenkels und dem <i>Scrotum</i> in der Weise angelegt, dass er beim weiteren Nach-oben-schieben am Schambein auf Widerstand stößt. Die Person schließt dann die Beine und richtet sich zur Messung des Maßes maximal auf.
Messinstrument:	Anthropometer
Stammhöhe (Stammlänge, Sitzhöhe)	
Definition:	Vertikale Distanz von der Sitzfläche bis zum höchsten Punkt des Kopfes
Messmethode:	Die Person sitzt mit ganz unterstützten Oberschenkeln, während die Unterschenkel frei hängen {Fuß steht vollflächig auf dem Boden auf}. Die Wirbelsäule ist maximal gestreckt, der Kopf wird im Sinne der Frankfurter Horizontalen (Ohr-Augen-Ebene) gehalten.
Messinstrument:	Anthropometer
Unterschenkellänge mit Fuß (Länge des Unterschenkels mit Fuß, Sitzflächenhöhe)	
Definition:	Vertikale Distanz von der Aufsetzfläche bis zur Unterseite des gegen den Unterschenkel rechtwinklig gehaltenen Oberschenkel unmittelbar hinter dem Knie
Messmethode:	Die Person hält bei der Messung Unterschenkel und Oberschenkel im rechten Winkel. Sie kann dabei sitzen oder stehen bzw. den Fuß auf ein erhöhtes Podest aufsetzen. Der bewegliche Teil des Messinstruments wird mit mäßigem Druck gegen die Sehne des <i>M. biceps femoris</i> geschoben und das Maß wird abgelesen.
Messinstrument:	Anthropometer
Sitztiefe	
Definition:	Horizontale Distanz von der Kniekehle bis zu dem am weitesten nach hinten vortretenden Teil der Weichteile des Gesäßes
Messmethode:	Die Person sitzt mit ganz unterstützten Oberschenkeln, wobei die Unterstützungsfläche so weit wie möglich in die Kniekehle reicht. Die Unterschenkel hängen frei {Fuß steht vollflächig auf dem Boden auf}. Die Wirbelsäule ist maximal gestreckt. Der am weitesten nach hinten vortretende Teil des Gesäßes wird in der Weise auf die Unterstützungsfläche projiziert, dass ein rechtwinkliges Lineal, dessen beide Schenkel über 20 cm lang sind (bzw. ein entsprechend großer Messblock), bis zum Anschlag an das Gesäß herangeschoben wird. Die Distanz vom Scheitelpunkt dieses Winkels bis zur Vorderkante der Unterstützungsfläche wird gemessen.
Messinstrument:	Anthropometer, rechtwinkliges Lineal

Oberarmlänge (Schulter-Ellenbogen-Länge nach [14])	
Definition:	Vertikaler Abstand vom <i>Acromion</i> zum tiefstgelegenen Knochenpunkt des um 90° angewinkelten Ellenbogens. Der Unterarm wird horizontal gehalten.
Messmethode:	Die Person sitzt mit ganz unterstützten Oberschenkeln, während die Unterschenkel frei hängen {Fuß steht vollflächig auf dem Boden auf}. Die Person sitzt aufrecht. Der Oberarm hängt locker herab und die Unterarme werden horizontal gehalten.
Messinstrument:	Anthropometer (großer Gleitzirkel)
Unterarmlänge (Ellenbogen-Handgelenk-Länge nach [14])	
Definition:	Horizontaler Abstand von einer Wand zum Handgelenk (ulnarer Griffelfortsatz)
Messmethode:	Die Person sitzt oder steht aufrecht, mit dem Rücken an eine Wand gelehnt. Die Oberarme hängen locker herab. Die Ellenbogen berühren die Wand. Die Unterarme werden horizontal gehalten.
Messinstrument:	Anthropometer
Schulterbreite (Oberarm – Oberarm) nach [12]	
Definition:	Maximale horizontale Distanz zwischen den Außenseiten des rechten und linken Oberarms
Messmethode:	Die Person steht gestreckt aufrecht. Die Oberarme hängen herab, die Unterarme sind horizontal angewinkelt.
Messinstrument:	Anthropometer {als Stangenzirkel}
Ellenbogenbreite	
Definition:	Maximale horizontale Distanz zwischen den Außenseiten der Ellenbogen voneinander
Messmethode:	Die Person sitzt oder steht aufrecht. Die Oberarme hängen vertikal herunter und berühren die Seiten des Körpers. Der Unterarm ist zur Horizontalen angewinkelt. Das Maß wird ohne Druck auf die Weichteile am Ellenbogen abgenommen.
Messinstrument:	Großer Tasterzirkel {Anthropometer als Stangenzirkel}
Sitzbreite	
Definition:	Maximale horizontale Distanz zwischen den Außenseiten der Hüften
Messmethode:	Die Person sitzt mit ganz unterstützten Oberschenkeln, während die Unterschenkel frei hängen {Fuß steht vollflächig auf dem Boden auf}. Die Knie berühren sich. Das Maß wird ohne Druck auf die Weichteile der Hüftregion abgenommen.
Messinstrument:	Großer Tasterzirkel oder Stangenzirkel des Anthropometers
Gewicht	
Messmethode:	Die bekleidete Person wurde ohne Schuhe und mit leeren Kleidungstaschen (d. h. ohne Schlüsselbund, Handy etc.) auf einer Körperwaage gewogen.
Messinstrument:	Körperwaage

A2 Erhebungsbogen der anthropometrischen Probandenmaße

Messblatt Busfahrerarbeitsplatz

Anthropometrie

Name:

Nummer::

Alter:

Geschlecht:

Körpermaße (nach BMVg-FBWM 73-1) in Centimeter

1. Körpergröße:

2. Schritthöhe:

3. Unterschenkellänge mit Fuß
(Sitzflächenhöhe):

4. Sitzhöhe (Stammlänge):

5. Sitztiefe:

6. Sitzbreite:

7. Ellenbogenbreite:

8. Schulterbreite:

9. Unterarmlänge:

10. Oberarmlänge:

Sonstiges:

11. Gewicht:

Bearbeiter:

A3 Anthropometrische Maße der Probanden

Proband Nr.	Unterarmlänge	Oberarmlänge	Sitzbreite	Schulterbreite	Ellenbogenbreite	Unterschenkel- länge mit Fuß	Sitztiefe	Schritthöhe	Sitzhöhe (Stammhöhe)	Körpergröße
1	300	360	425	455	525	565	655	790	940	1825
2	295	385	420	450	560	560	720	725	850	1725
3	315	415	405	475	535	575	660	790	900	1845
4	320	415	405	470	505	590	640	865	955	1875
5	220	295	410	440	500	530	575	650	870	1665
6	270	285	385	455	525	555	625	770	890	1810
7	295	320	460	520	605	610	610	785	905	1840
8	205	245	410	455	605	500	555	645	890	1690
9	240	305	415	465	540	555	630	755	885	1805
10	235	240	395	550	470	525	580	685	845	1710
11	260	340	380	410	470	520	620	765	870	1700
12	235	290	370	465	500	535	610	730	870	1760
13	260	310	375	460	525	540	610	740	860	1780
15	310	410	395	495	540	595	695	835	940	1900
16	300	400	420	480	540	590	640	780	905	1810
17	270	300	380	450	490	565	600	815	920	1820
18	235	280	390	440	490	545	615	740	905	1785
19	255	305	390	450	500	565	635	780	885	1770
20	250	325	390	485	490	570	595	730	950	1850
21	245	285	370	440	500	525	575	745	880	1735
22	230	275	400	440	570	540	590	700	865	1745
23	300	410	420	470	565	595	645	755	925	1835
25	255	280	415	475	555	555	630	760	905	1800
26	250	285	415	435	505	550	605	795	930	1770
27	220	255	340	395	375	505	555	740	845	1650
28	305	385	420	425	475	580	645	825	910	1800
29	265	305	420	460	560	545	590	700	865	1725
30	275	335	440	525	585	625	705	780	920	1905
31	220	260	365	445	510	500	560	690	865	1655
32	290	400	390	440	475	580	645	785	865	1755
33	275	315	400	430	555	440	620	770	915	1810
34	260	350	460	430	550	545	645	705	820	1720
35	300	405	420	455	505	565	615	760	930	1790
36	260	290	395	460	540	425	625	815	915	1800
37	315	300	385	455	500	495	685	880	915	1930

alle Angaben in mm

Anhang B: Fragebogen und Antworten zum Sitzkomfort

B1 Fragebogen der BG BAHNEN zur Bewertung des Sitzkomforts

Fragebogen zur Bewertung des Fahrersitzes im Wagen 9620

Sehr geehrte Fahrerin, sehr geehrter Fahrer,
schon seit einiger Zeit sind bei den Stadtwerken Bonn auch Busse mit dem neuen Fahrerarbeitsplatz im Einsatz. Diese Busse sind mit ergonomisch optimierten Fahrersitzen ausgerüstet. Die vielfältigen Einstellmöglichkeiten dieser Sitze sollten es eigentlich jedem ermöglichen, eine optimale, d. h. gesundheitlich zuträgliche und komfortable, Sitzposition zu finden.

Aus vielen Gesprächen mit Praktikern ist aber bekannt, dass es gerade bei hochwertigen Fahrersitzen gar nicht so leicht ist, eine einmal eingestellte Sitzposition wiederzufinden, wenn der Sitz in der Zwischenzeit verstellt wurde, insbesondere dann nicht, wenn die Zeit bei der Fahrzeugübernahme drängt.

Die *Berufsgenossenschaft der Straßen-, U-Bahnen und Eisenbahnen* hat uns, das **Berufsgenossenschaftliche Institut für Arbeitssicherheit (BIA)** in Sankt Augustin, deshalb beauftragt, in Ihrem Betrieb einen neuartigen Fahrersitz mit elektronischer Speicherung der Sitzposition, dem sogenannten *Sitzmemory*, zu erproben. Der neue Sitz des Herstellers Isringhausen, der seit Ende Juni im Wagen 9620 der SWB eingebaut ist, bietet diese Möglichkeit.

Vor Beginn der eigentlichen Erprobung hatten Sie, die zur ausgewählten Gruppe der Testfahrerinnen und -fahrer gehören, hoffentlich ausreichend Gelegenheit, sich mit dem Sitz "anzufreunden". Unabhängig von der weiteren Erprobung interessiert uns schon jetzt Ihre Bewertung des Sitzes in der Praxis.

Nehmen Sie sich deshalb bitte einen Augenblick Zeit zum Ausfüllen des beiliegenden Fragebogens. Um Ihnen die Arbeit zu erleichtern, können die meisten Fragen durch Ankreuzen beantwortet werden. Geben Sie die gefragte Bewertung dort wie eine Schulnote an, d. h.

von 1 = sehr gut bis 5 = mangelhaft

Freie Bereiche zum Schreiben von Text sind für die Bewertung von Dingen vorgesehen, die sich nicht in einem festen Schema abfragen lassen.

Bitte füllen Sie den Fragebogen sorgfältig aus und geben ihn dann ab. Für Ihre Mithilfe bedanken wir uns sehr herzlich.

Und noch eins: Ein Feld für die Angabe von Namen oder Personalnummer ist nicht vorgesehen, d. h. die Befragung erfolgt anonym!

1. Persönliche Daten

Wie schon erwähnt, die Befragung ist anonym. Dürfen wir Sie trotzdem fragen

A) nach Ihrer Körpergröße:cm

B) nach Ihrem Gewicht:kg

2. Gelegenheit zur Sitzerprobung

Wie oft hatten Sie Gelegenheit, den neuen Sitz im normalen Gebrauch, also auf Linienfahrten, zu testen?

kein Mal ()

bis zu 4 Mal ()

zwischen 5 und 10 Mal ()

mehr als 10 Mal ()

3. Sitzpolsterung

a) Wie bewerten Sie den Polsterungskomfort der Sitzfläche?

Sehr gut _____ mangelhaft

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

b) Wie bewerten Sie den Polsterungskomfort der Rückenlehne?

Sehr gut _____ mangelhaft

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

c) Gibt es unangenehme Druckstellen im Polster? Wenn ja, wo?

4. Sitzverstellung

a) Der Bereich der Verstellbarkeit ist

sehr gut

mangelhaft

1. Höhenverstellung	1 ()	2 ()	3 ()	4 ()	5 ()
2. Längsverstellung	1 ()	2 ()	3 ()	4 ()	5 ()
3. Lehnenneigung	1 ()	2 ()	3 ()	4 ()	5 ()
4. Sitzflächenneigung	1 ()	2 ()	3 ()	4 ()	5 ()
5. Sitzflächentiefe	1 ()	2 ()	3 ()	4 ()	5 ()

b) Welcher Verstellbereich sollte ggf. verändert werden?
 Verkleinert oder erweitert? In welche Richtung?

c) Die verstellbare Lendenwirbelstütze finde ich

nützlich ()

überflüssig ()

d) Die verstellbare Kopfstütze finde ich

nützlich ()

überflüssig ()

e) Eine Drehvorrichtung des Sitzes, wie sie bei diesem Sitz nicht vorgesehen ist, finde ich

nützlich ()

überflüssig ()

5. Betätigungselemente

a) Können die Betätigungselemente der Sitzverstellung einfach bedient werden?

	<u>sehr gut</u>			<u>mangelhaft</u>	
1) Höhenverstellung	1 ()	2 ()	3 ()	4 ()	5 ()
2) Längsverstellung	1 ()	2 ()	3 ()	4 ()	5 ()
3) Lehnenneigung	1 ()	2 ()	3 ()	4 ()	5 ()
4) Sitzflächenneigung	1 ()	2 ()	3 ()	4 ()	5 ()
5) Sitzflächentiefe	1 ()	2 ()	3 ()	4 ()	5 ()
6) Lendenwirbelstütze	1 ()	2 ()	3 ()	4 ()	5 ()
7) Kopfstütze	1 ()	2 ()	3 ()	4 ()	5 ()

b) Besonders *praktisch/unpraktisch* an der Sitzverstellung ist:

c) Eine elektronische Speicherung der Sitzposition („Sitzmemory“) halte ich für

nützlich ()

überflüssig ()

6. Sitzklima

a) Wie angenehm ist das Sitzklima?

<u>sehr gut</u>			<u>mangelhaft</u>	
1 ()	2 ()	3 ()	4 ()	5 ()

b) Am Sitzklima ist mir besonders aufgefallen:

7. Äußere Erscheinung

Der Sitz macht auf mich den folgenden Eindruck:

	<u>sehr gut</u>			<u>mangelhaft</u>	
1) Qualität	1 ()	2 ()	3 ()	4 ()	5 ()
2) Design	1 ()	2 ()	3 ()	4 ()	5 ()

8. Was sonst noch zu bemerken wäre:

a) Ich habe zum Sitz noch folgende Meinung:

b) Verglichen mit anderen Fahrersitzen der SWB finde ich diesen Sitz

	<u>Sehr gut</u>			<u>mangelhaft</u>	
	1 ()	2 ()	3 ()	4 ()	5 ()

Das war's schon.
Vielen Dank für Ihre Mitarbeit und Unterstützung und weiterhin

Gute Fahrt!

B2 Antworten auf den Fragebogen der BG BAHNEN zum Sitzkomfort

1.

Persönliche Daten	
A): Körpergröße in cm	Probandenanzahl
166	1
167	1
168	1
170	3
172	2
173	1
174	1
177	2
180	5
182	4
183	2
185	1
186	1
191	1
195	1

Persönliche Daten	
B): Gewicht in kg	Probandenanzahl
53	1
60	1
63	1
73	1
75	1
78	1
80	3
82	2
86	1
87	1
88	1
89	1
90	2
91	1
93	1
94	2
95	1
96	1
100	1
105	1
117	1
124	1

2.

Gelegenheit zur Sitzprobung	Probandenanzahl
Kein Mal	2
bis zu 4-mal	9
zwischen 5- und 10-mal	7
mehr als 10-mal	3
konkrete Angabe (Zahl) :	1 x 1 4 x 2 1 x 4

3.

Komfort der ...	sehr gut	gut	befriedigend	ausreichend	mangelhaft
a): ...Sitzfläche?	4	19	2		
b): ...Rückenlehne?	4	18	2	1	

c): Gibt es Druckstellen? Wo? – Klartextfeld

- „Druckstellen gibt es, wenn der Ballon im Polster aufgeblasen ist.“
- „Wirbelsäulenmittenluftpolster wirkt zu punktuell.“
- „Druckfläche vergrößern.“
- „Lendenpolster flach, nicht rund gestalten.“

4.

Sitzverstellung	sehr gut	gut	befriedigend	ausreichend	mangelhaft
4a1) Höhen-	8	12	2	1	1
4a2) Längs-	5	11	1	3	4
4a3) Lehnenneigung	9	13	2		
4a4) Sitzflächenneigung	3	15	3	2	1
4a5) Sitzflächentiefe	8	13	2	1	

4b) Änderung des Verstellbereiches	Probandenanzahl
Änderung des Verstellbereiches	9
Kleiner?	1
Größer?	9
Welche Richtung ?	
Sitz nach hinten	8
Sitzfläche schräger	3
Sitzfläche kleiner	1

Änderung des Verstellbereiches – Klartextfelder

„Die (Sitz-)Längsverstellung geht nicht weit genug nach hinten“

„1. Sitzflächenneigung stufenlos vorn/hinten einstellen.
2. Längseinstellung: Sitzfläche zu groß“

„Längsverstellung nach hinten“

„Sitzneigung Vorn-Abwärts“

„Der Fahrersitz lässt sich nach vorne und hinten verstellen.“

„Längsverstellung nach hinten“

„Neigung vordere Sitzfläche zu wenig; Sitztiefe zu lang“

„Längsverstellung erweitern“

„Längsverstellung erweitern“

„Sitzflächenneigung vorne ca. 1 cm tiefer einstellen (kleine Personen).“

„Längsverstellung sollte bisschen weiter nach hinten gehen“

„Fahrersitz nach hinten“

„Längsverstellung erweitern“

„1. Längsverstellung: Für meine Beinlänge lässt der Sitz sich nicht weit genug zurückverstellen. 2. Sitzflächenneigung: Die Sitzfläche muss weiter geneigt werden können, da sich sonst durch den Druck in der Kniekehle das Blut staut.“

Sitzverstellung	nützlich	überflüssig
4c) Lendenwirbelstütze	24	1
4d) Kopfstütze	19	6
4e) Drehvorrichtung	19	6

5.

Betätigungselemente	sehr gut	gut	befriedigend	ausreichend	mangelhaft
5a1) Höhenverstellung	8	14	2	1	
5a2) Längsverstellung	8	11	4	1	1
5a3) Lehnenneigung	7	14	4		
5a4) Sitzflächenneigung	8	12	2	3	
5a5) Sitzflächentiefe	6	14	3	2	
5a6) Lendenwirbelstütze	6	14	4	1	
5a7) Kopfstütze	6	15	3	1	

5ba) Sitzverstellung (praktisch) – Klartextfelder

„Einstellbarkeit über Multifunktionstasten/-hebel“

5bb) Sitzverstellung (unpraktisch) – Klartextfelder

„Unpraktisch ist, dass die Betätigungselemente nicht „blind“ zu bedienen sind. Schön wären fühlbare Symbole o. Ä. auf den Knöpfen“

„1. Sitzneigungsverstellung ist diskontinuierlich 2. Zu große Sitzfläche“

„Es ist keine schnelle Relaxstellung für Pausen möglich“ (Sitzdreheinrichtung)

„Kopfstützenverstellung besser mechanisch ausführen“

„Sicherheitsgurt ist nicht höhenverstellbar.“

„Die Sitzverstellung ist leider zu kompliziert. Die Funktionen liegen zu nah beieinander.“

Betätigungselemente	Nützlich	Überflüssig	Keine Angaben
5c) Sitzmemory	17	7	1

6.

Sitzklima	sehr gut	gut	befriedigend	ausreichend	mangelhaft	keine Angaben
6a) Sitzklima	5	14	4	2		1

6b) Sitzklima – Klartextfeld

„1. Lendenwirbelstütze hat ein guten Halt.“

„keine negativen Erfahrungen, da Winter“

„beim Test weder Hitze noch Kälte“

„(Man) schwitzt wie auf anderen Sitzen“

7.

Äußere Erscheinung	sehr gut	gut	befriedigend	ausreichend	mangelhaft	keine Angaben
7.a) Qualität	5	14	4	2		1
7.b) Design	5	15	3	1	1	

Ein Kommentar zu Frage 7.a):

„Erst nach mehr als fünfjährigem Einsatz beurteilbar.“

8. Was sonst noch zu bemerken wäre

„Knopfbelegung der Lendenwirbelstütze ist falsch (Knopfsymbol entspricht nicht dessen Funktion). 2. Das Gurtschloss ist zu nah am Sitz; lässt sich nur schwer bedienen. 3. Gurt sitzt im Schulterbereich zu stramm. 4. Sitzheizung war ohne Funktion.“

„1. Gurte sollten grundsätzlich eingebaut werden. 2. Sitzheizung sollte vorhanden sein.“

„Ich finde es ein wenig lästig, dass sich der Sitz nach Abschalten der Zündung absenkt. Ansonsten finde ich den Sitz rundum gut.“

„Der Sitz muss öfter nachreguliert werden.“

„Den Anschnallgurt finde ich toll; müsste für kleinere Personen tiefer angebracht werden.“

„Seitenführung zu schmal (Sitz zu eng); keine individuelle Gewichtseinstellung möglich; elektronische Verstellung sehr verschleißanfällig.“

„Der Sitz ist gut.“

„Der Sitz gut und einfach einzustellen.“

„Es bereitet Schwierigkeiten den (Geld-)Wechsler zu bedienen, da der gesamte Sitz zu weit nach vorne angebracht ist.“

Bemerkungen	sehr gut	gut	befriedigend	ausreichend	mangelhaft
8b) Sitz im SWB-Vergleich	12	12	1		

Anhang C: Ergebnisse der Messphasen 1 und 2

C1 Ergebnisse aus Messphase 1

Abbildung A1:
Häufigkeitsverteilung des Sprunggelenkwinkels in Messphase 1 für alle Probanden

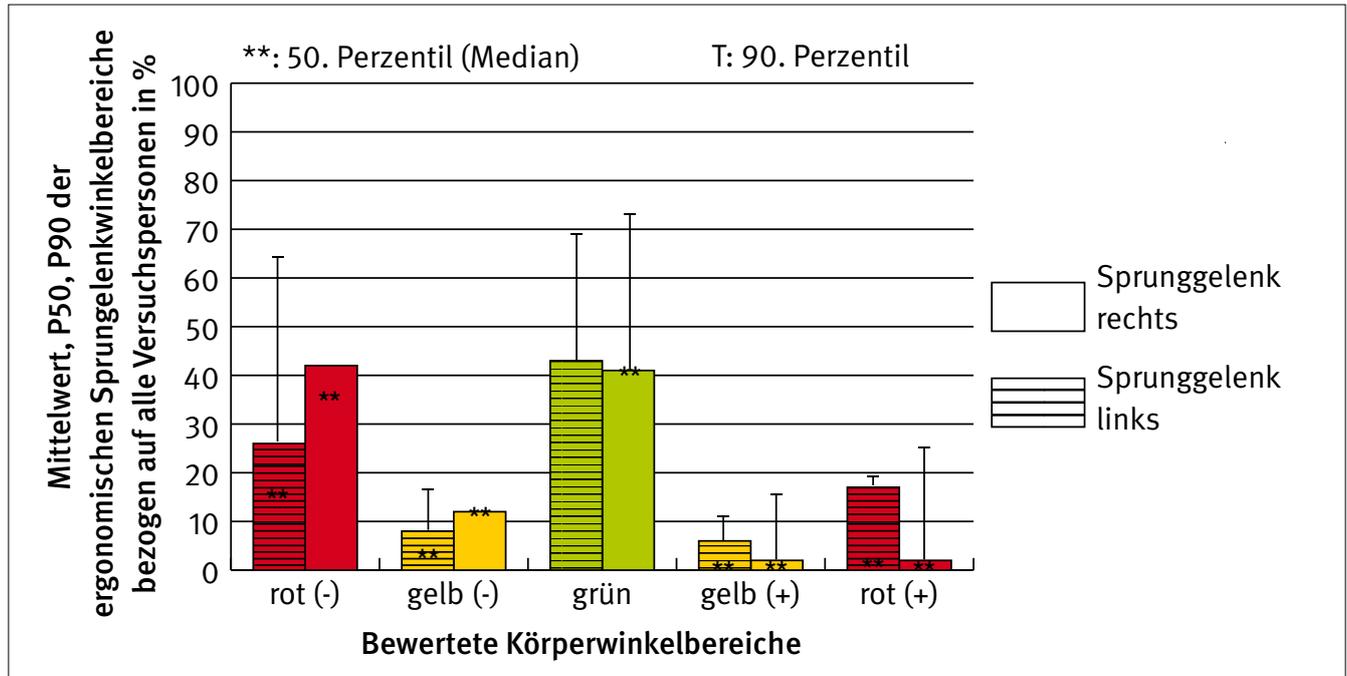


Abbildung A2:
Häufigkeitsverteilung der „Kniewinkel“ in Messphase 1 für alle Probanden

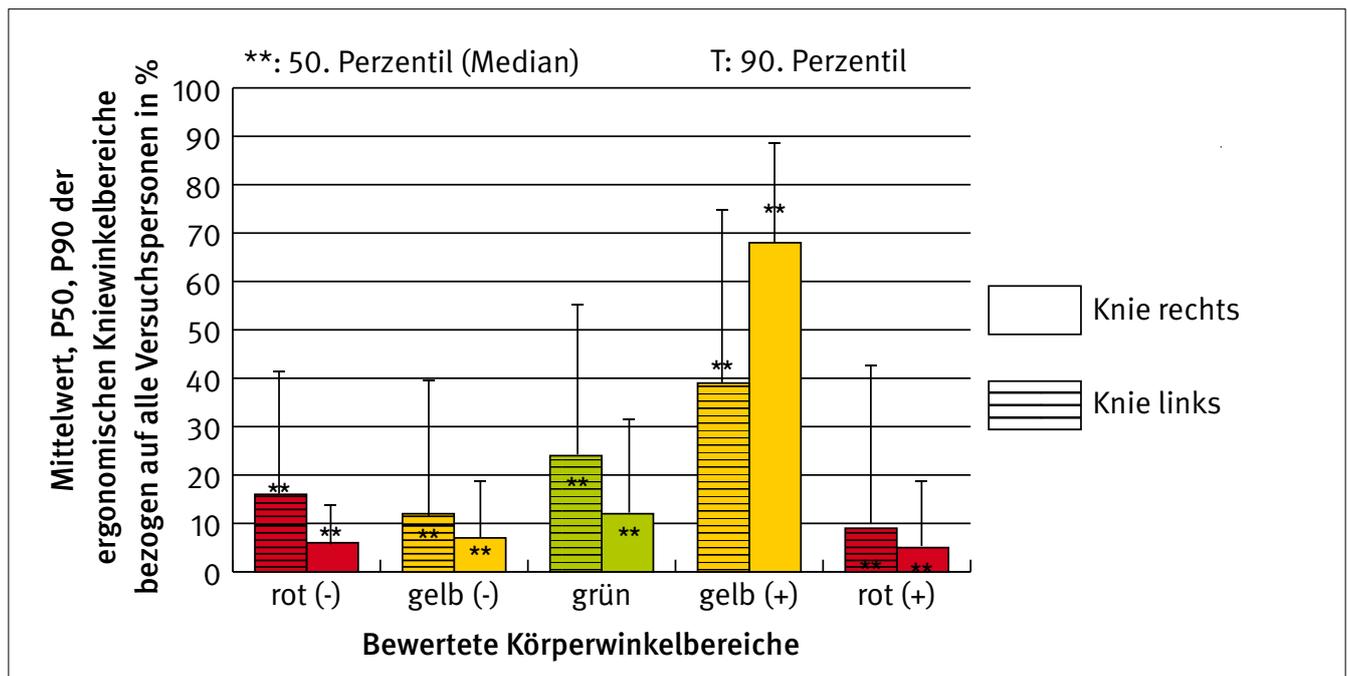


Abbildung A3:
Häufigkeitsverteilung des Hüftwinkels in Messphase 1 für alle Probanden

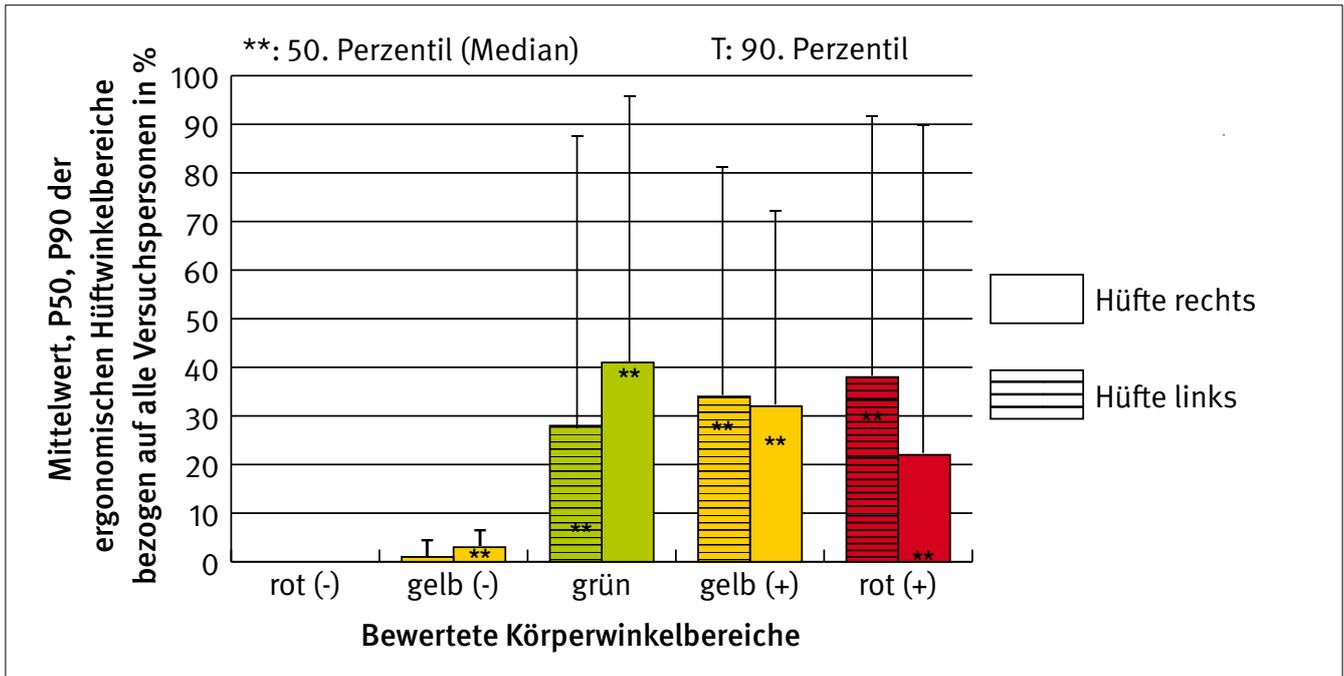


Abbildung A4:
Häufigkeitsverteilung des Winkels Oberschenkel zur Horizontalen in Messphase 1 für alle Probanden

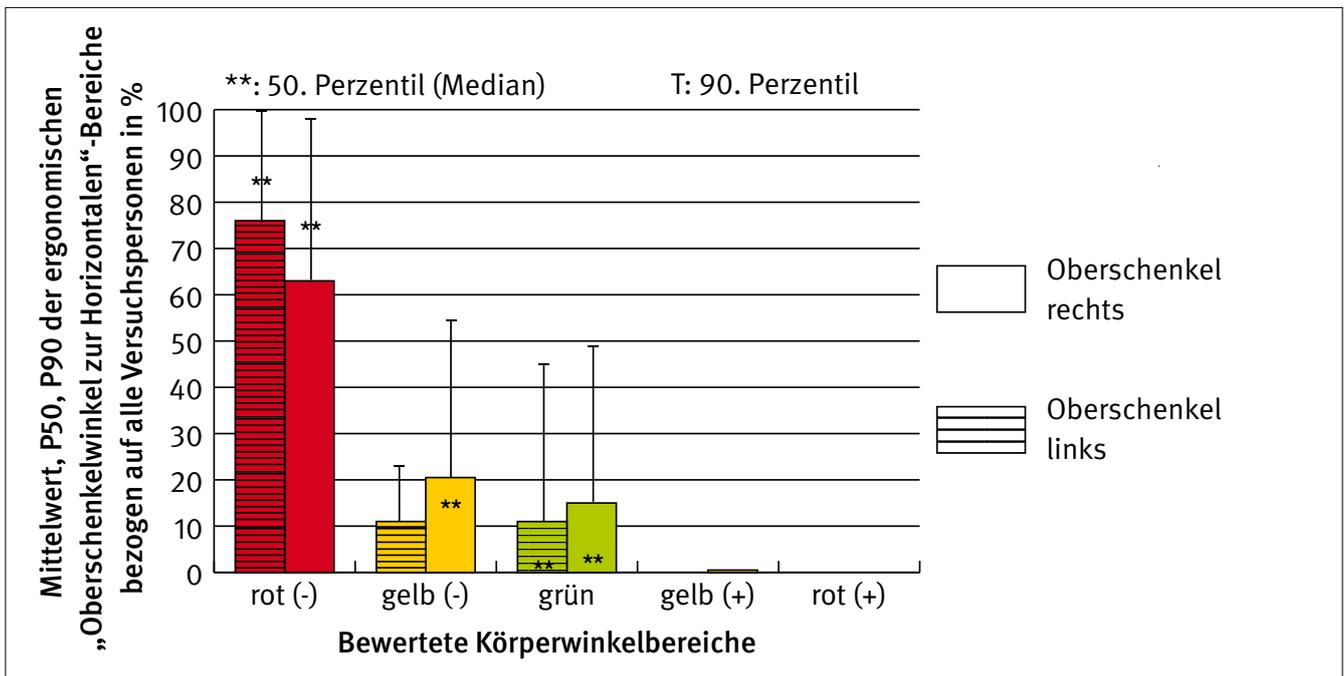


Abbildung A5:
Häufigkeitsverteilung des Winkels Rumpf zur Senkrechten in Messphase 1 für alle Probanden

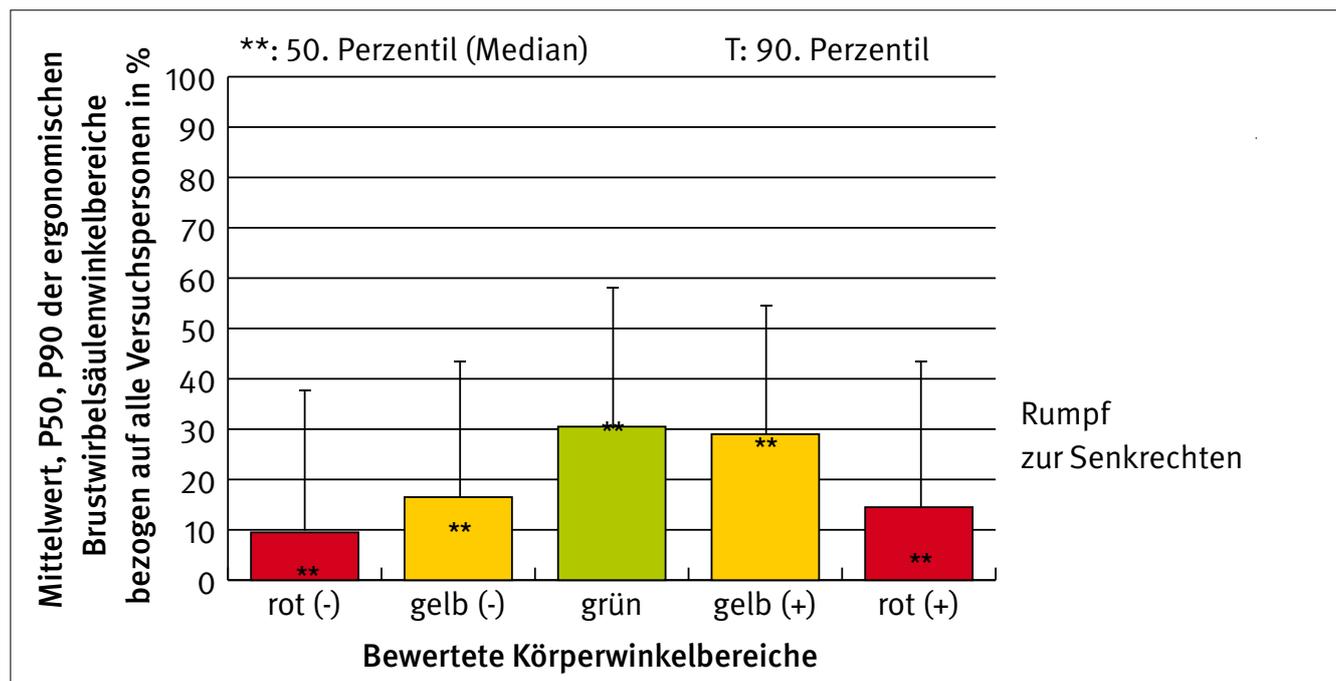
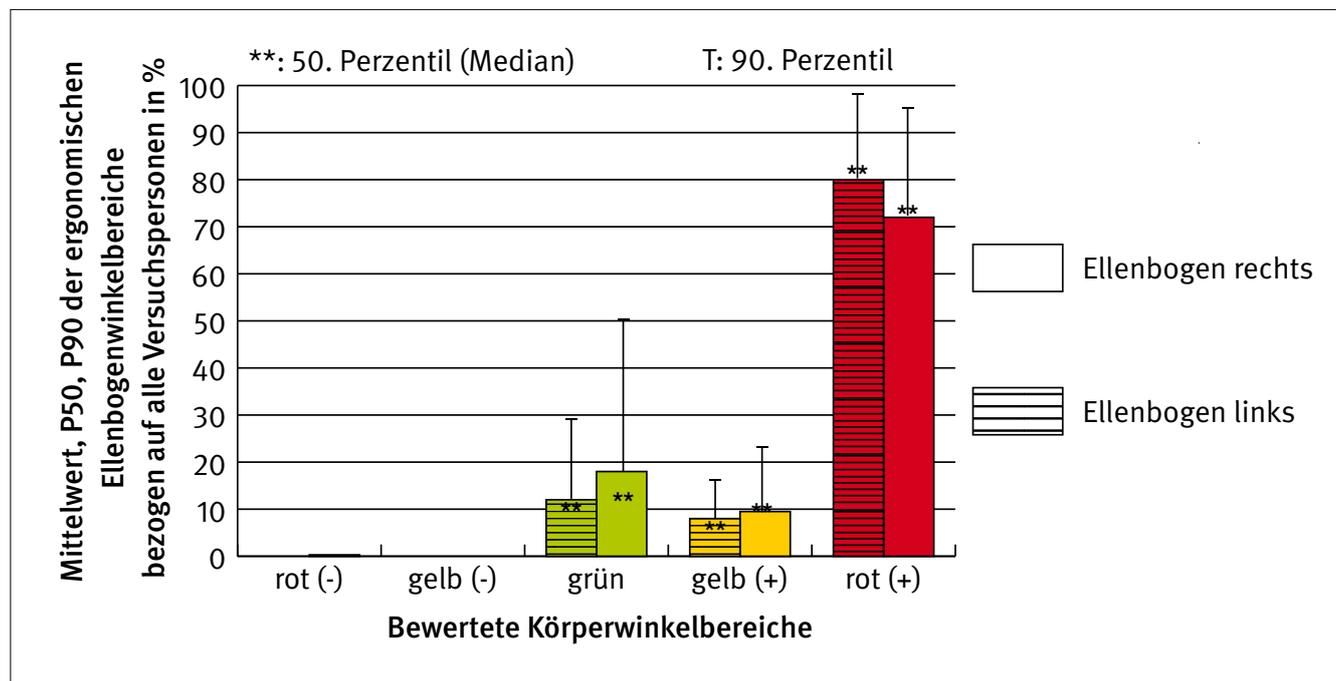


Abbildung A6:
Häufigkeitsverteilung der Ellenbogenwinkel in Messphase 1 für alle Probanden



C2 Ergebnisse aus Messphase 2

C2.1 Ergebnisse aus Messphase 2 (alle Probanden)

Abbildung A7:
Häufigkeitsverteilung des Sprunggelenkwinkels in Messphase 2 für alle Probanden

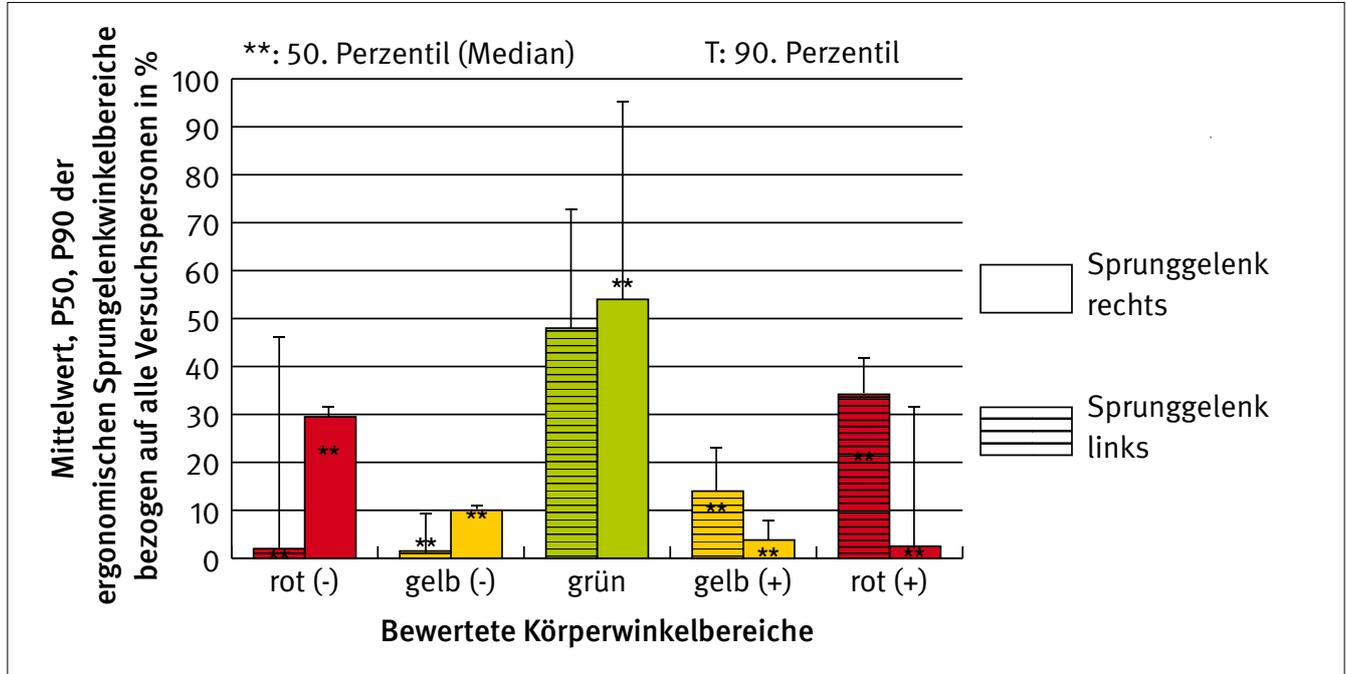


Abbildung A8:
Häufigkeitsverteilung der Kniewinkel in Messphase 2 für alle Probanden

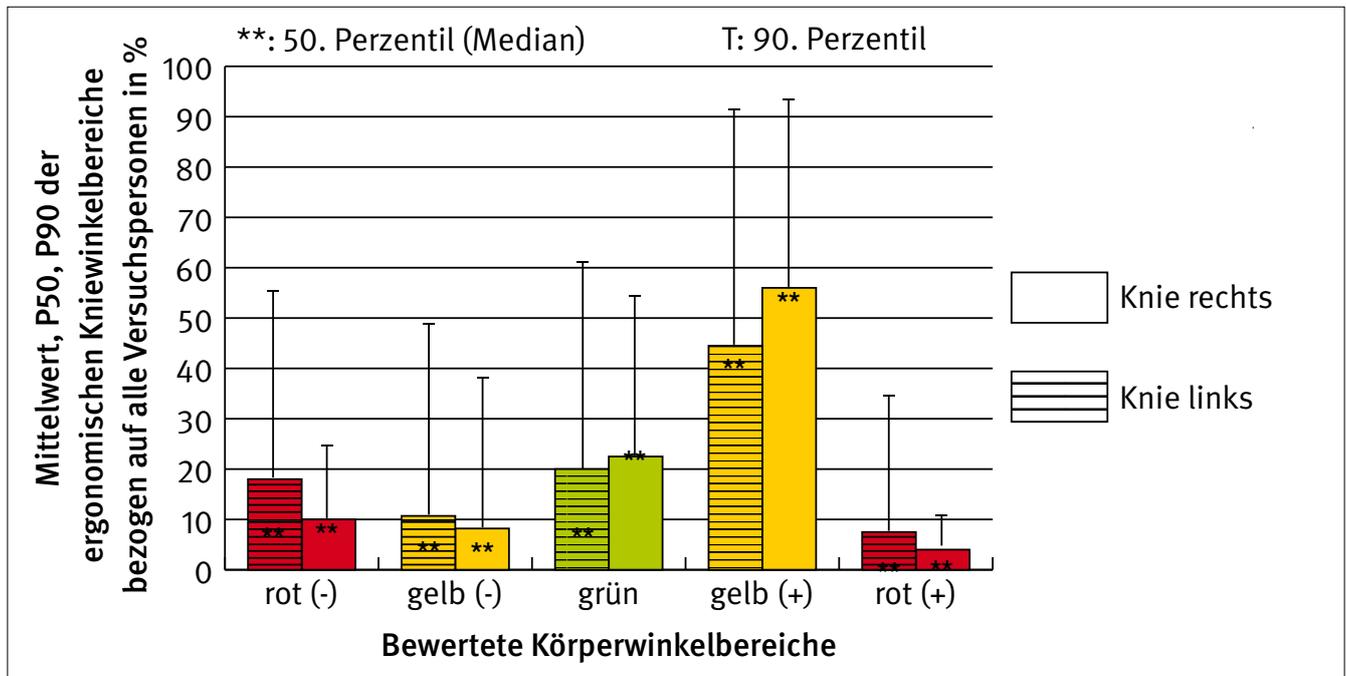


Abbildung A9:
Häufigkeitsverteilung der Hüftwinkel in Messphase 2 für alle Probanden

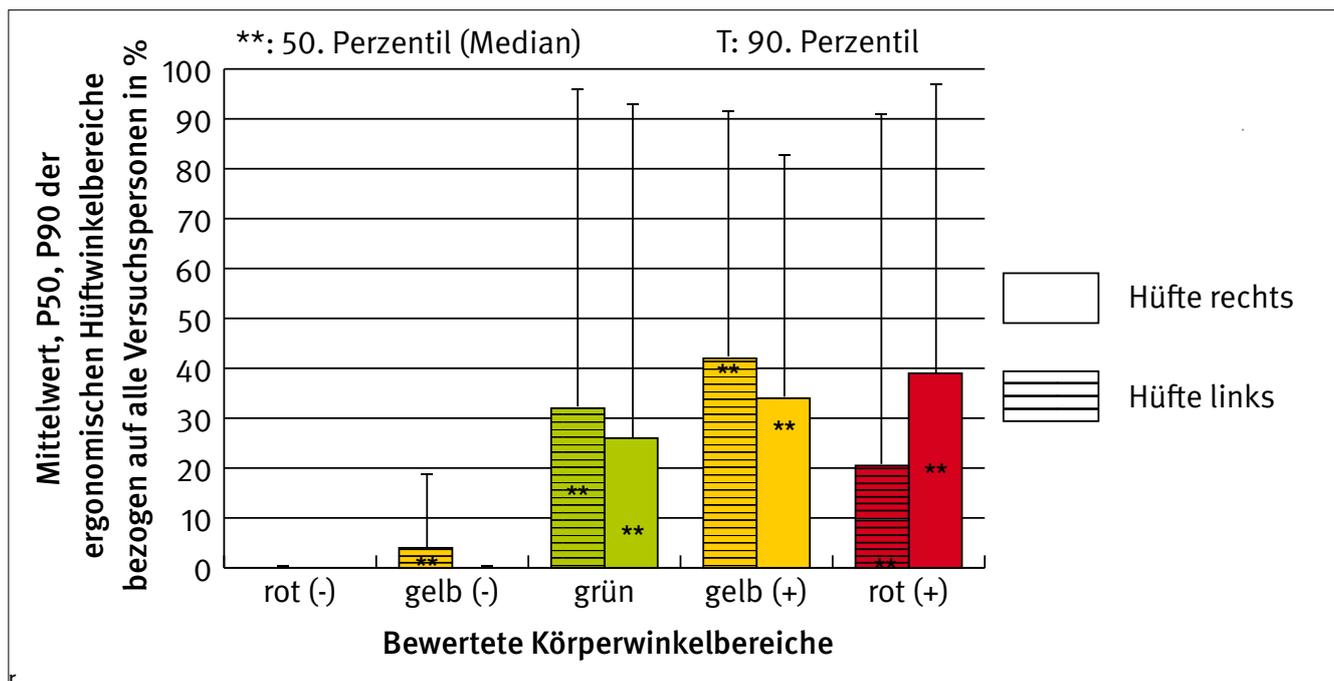


Abbildung A10:
Häufigkeitsverteilung des Winkels Oberschenkel zur Horizontalen in Messphase 2 für alle Probanden

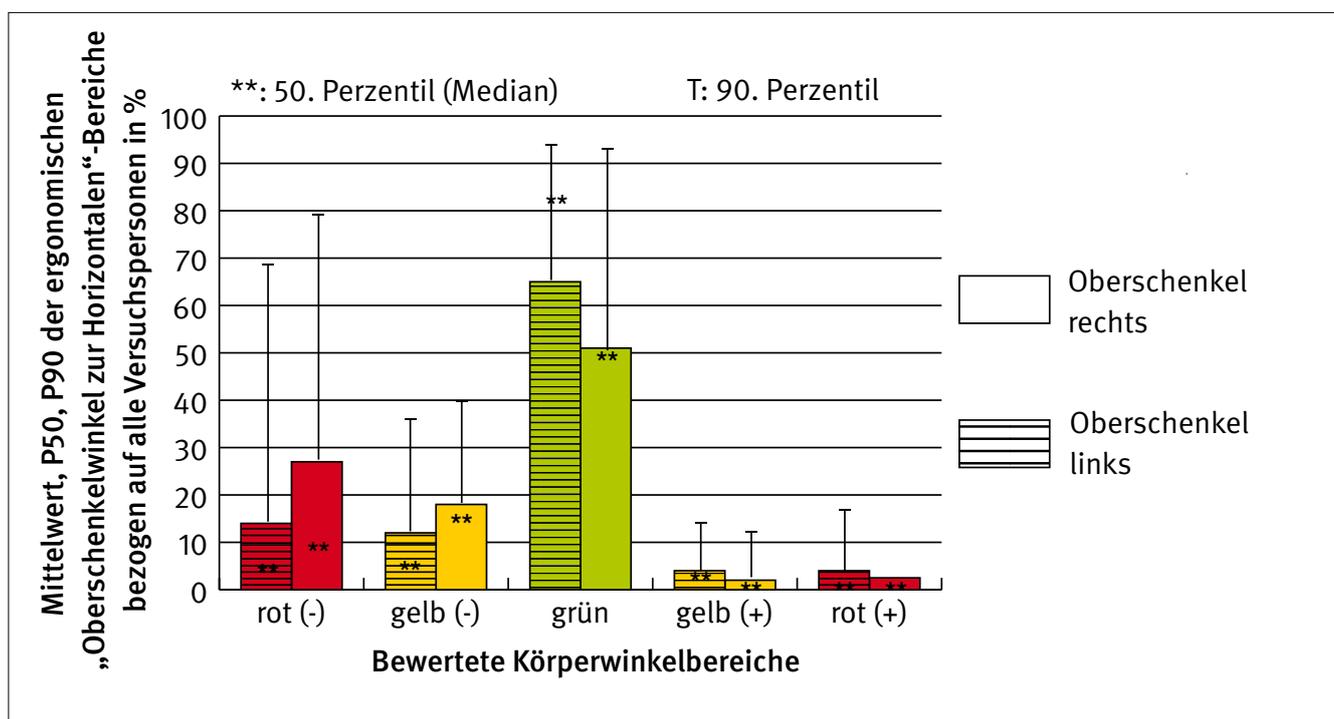


Abbildung A11:
Häufigkeitsverteilung des Winkels Rumpf zur Senkrechten in Messphase 2 für alle Probanden

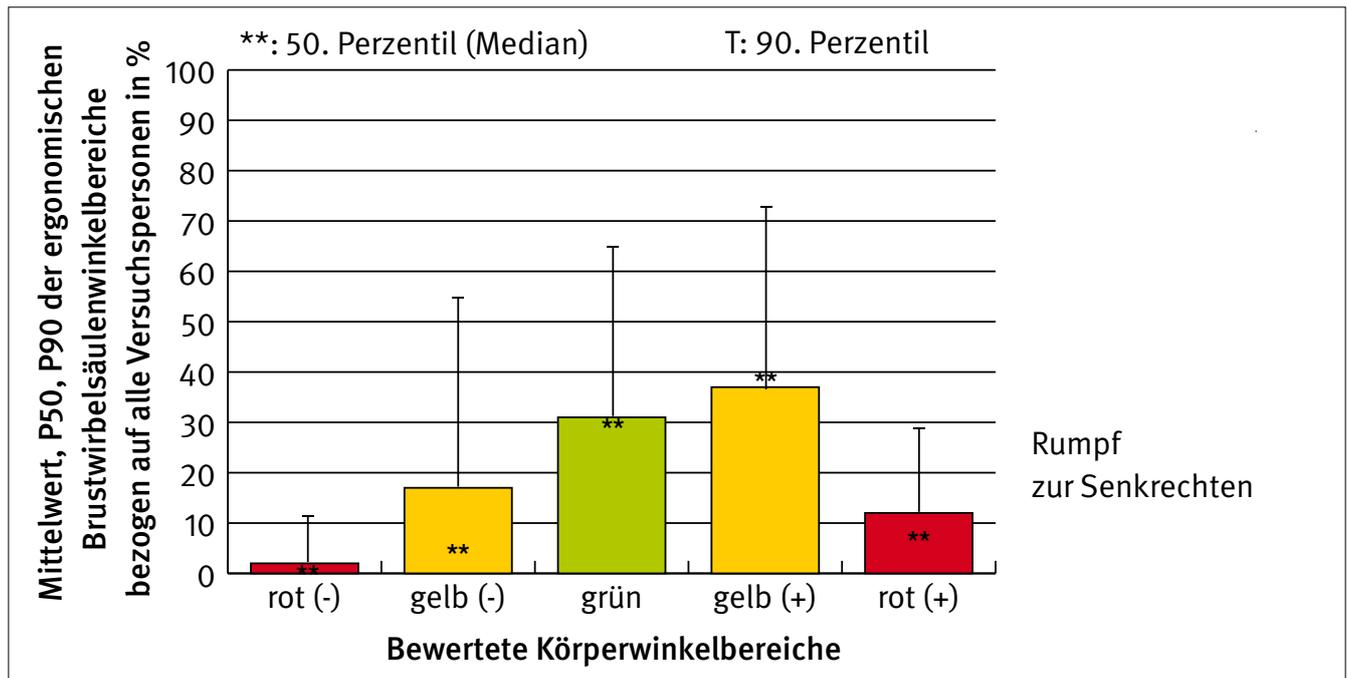
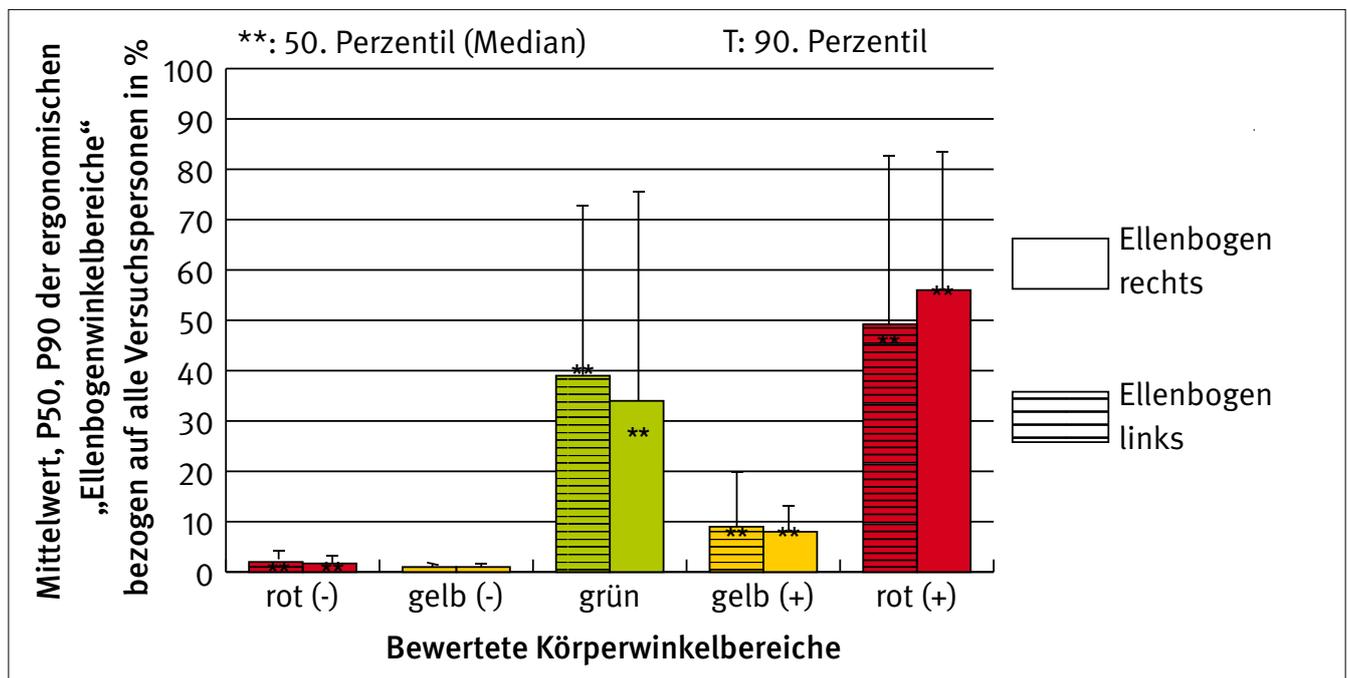


Abbildung A12:
Häufigkeitsverteilung der Ellenbogenwinkel in Messphase 2 für alle Probanden



C2.2 Ergebnisse aus Messphase 2 (Teilkollektiv: Hohe Memoryakzeptanz)

Für das kleine Teilkollektiv mit nur acht Personen kann kein 90. Perzentil berechnet werden.

Abbildung A13:

Häufigkeitsverteilung des Sprunggelenkwinkels in Messphase 2 für das Teilkollektiv der „akzeptierenden Probanden“

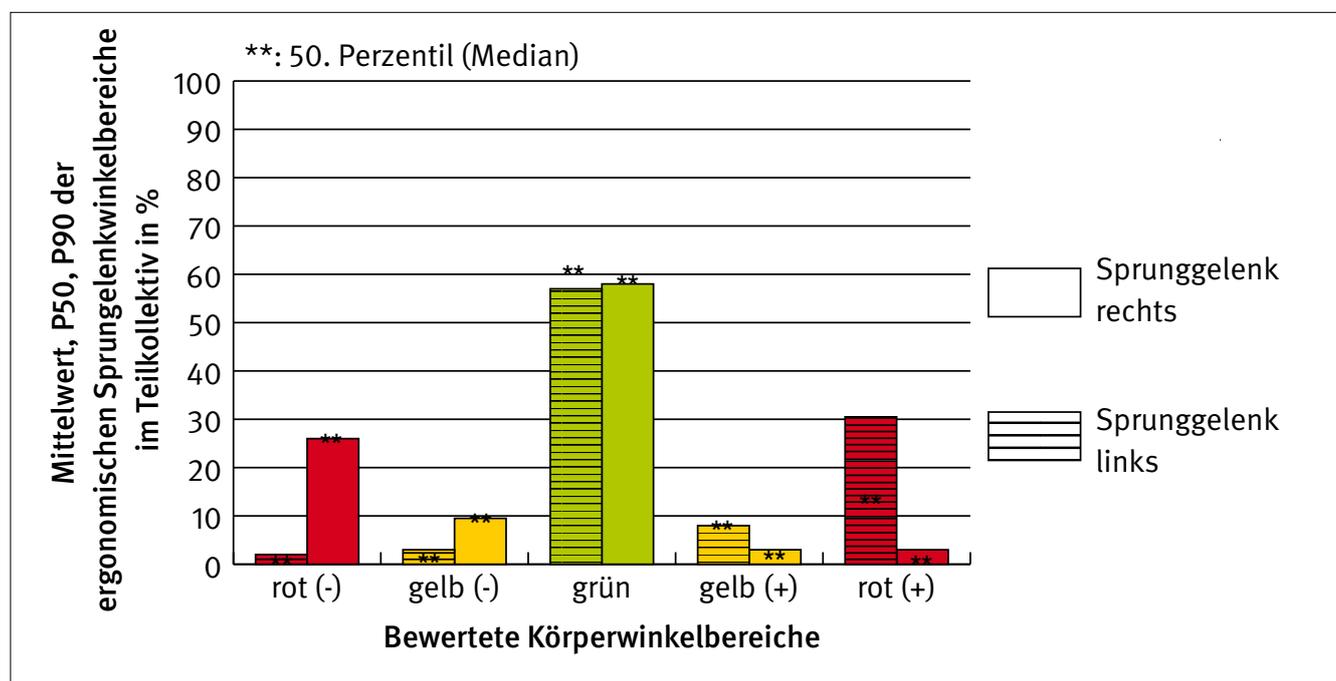


Abbildung A14:

Häufigkeitsverteilung der Kniewinkel in Messphase 2 für das Teilkollektiv der „akzeptierenden Probanden“

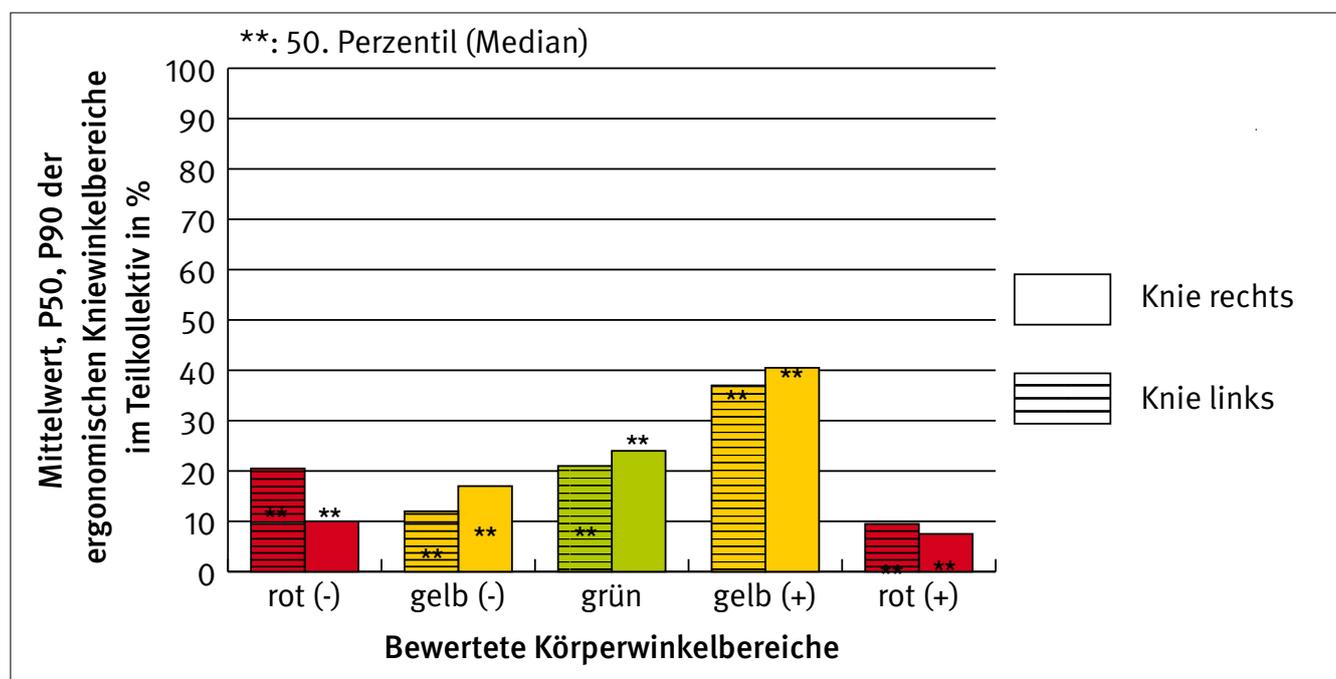


Abbildung A15:
Häufigkeitsverteilung der Hüftwinkel in Messphase 2 für das Teilkollektiv der „akzeptierenden Probanden“

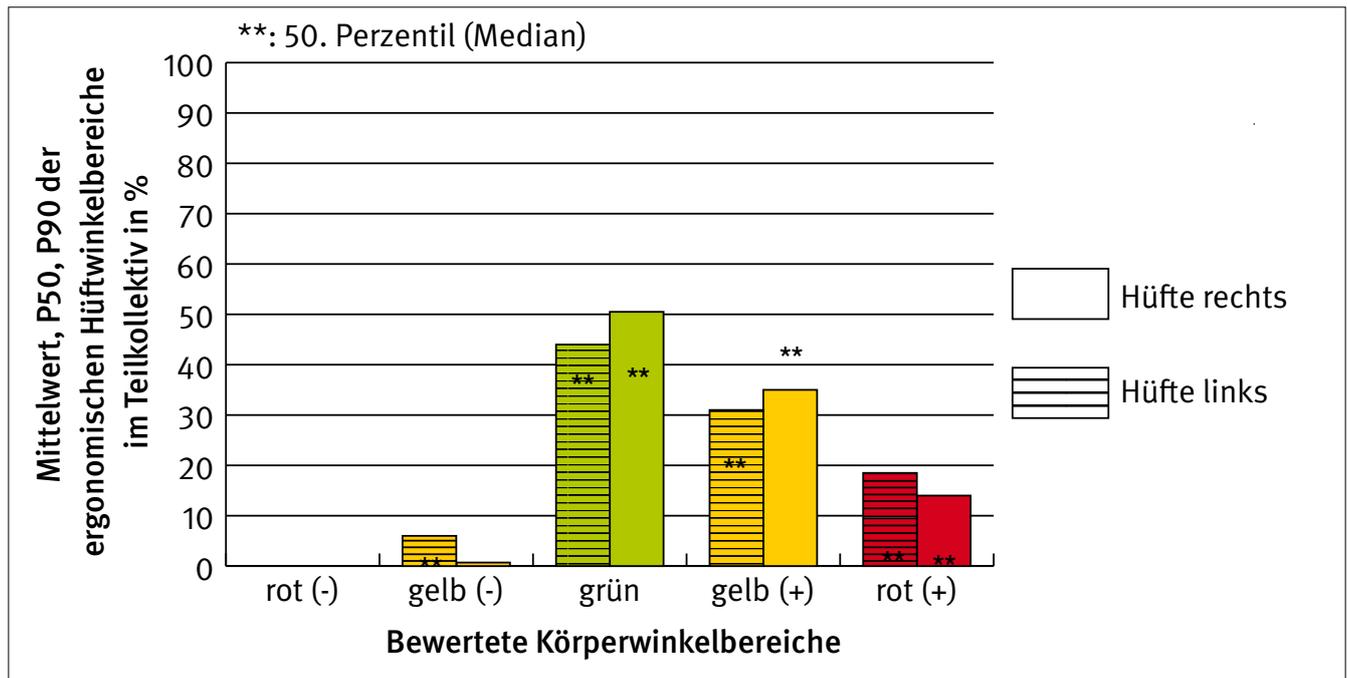


Abbildung A16:
Häufigkeitsverteilung des Winkels Oberschenkel zur Horizontalen in Messphase 2 für das Teilkollektiv der „akzeptierenden Probanden“

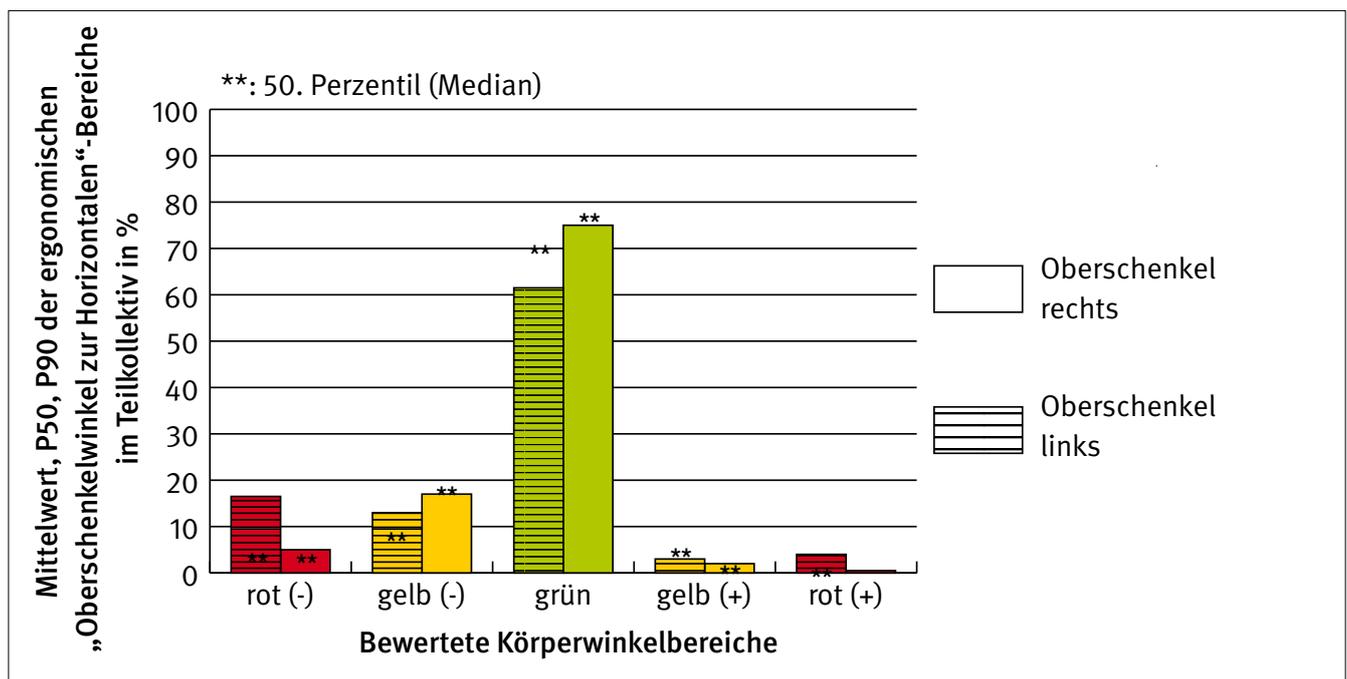


Abbildung A17:
Häufigkeitsverteilung des Winkels „Rumpf zur Senkrechten“ in Messphase 2 für das Teilkollektiv der „akzeptierenden Probanden“

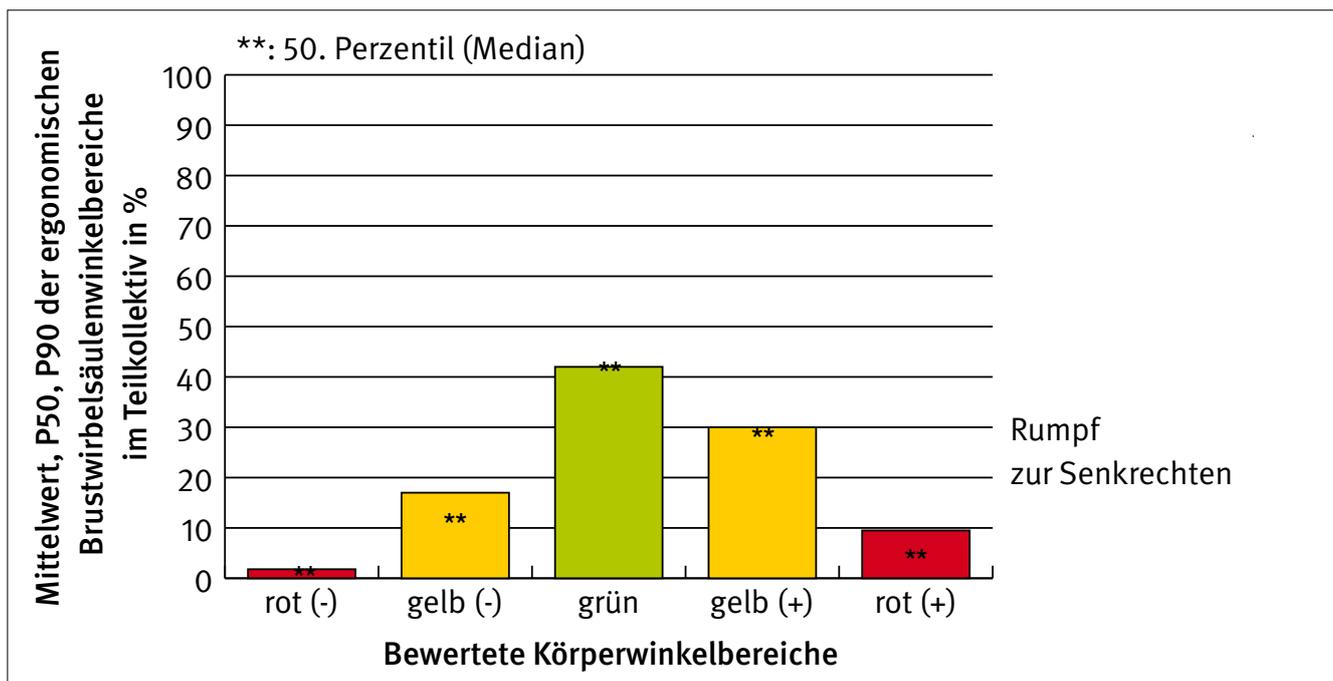
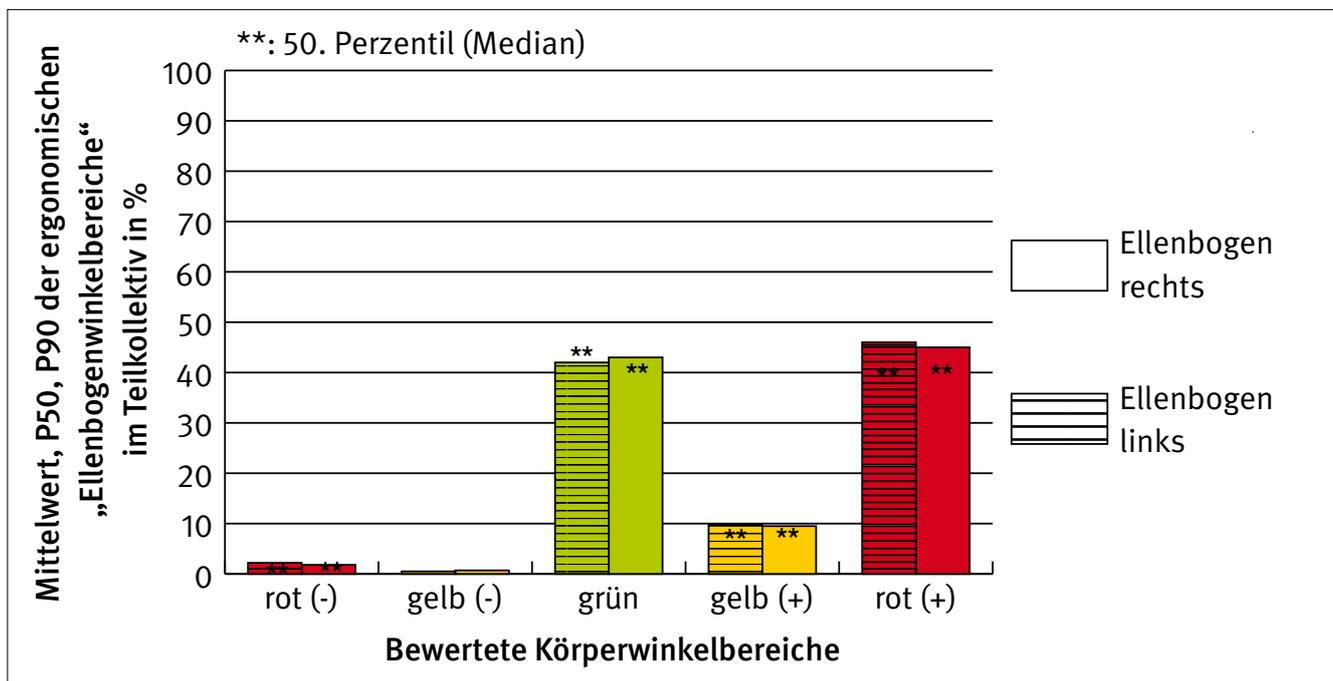


Abbildung A18:
Häufigkeitsverteilung der Ellenbogenwinkel in Messphase 2 für das Teilkollektiv der „akzeptierenden Probanden“



C2.2 Ergebnisse aus Messphase 2 (Teilkollektiv: Geringe Memoryakzeptanz)

Für das kleine Teilkollektiv mit nur neun Personen kann kein 90. Perzentil berechnet werden.

Abbildung A19:
Häufigkeitsverteilung der Sprunggelenkwinkel in Messphase 2 für das Teilkollektiv der „nicht akzeptierenden Probanden“

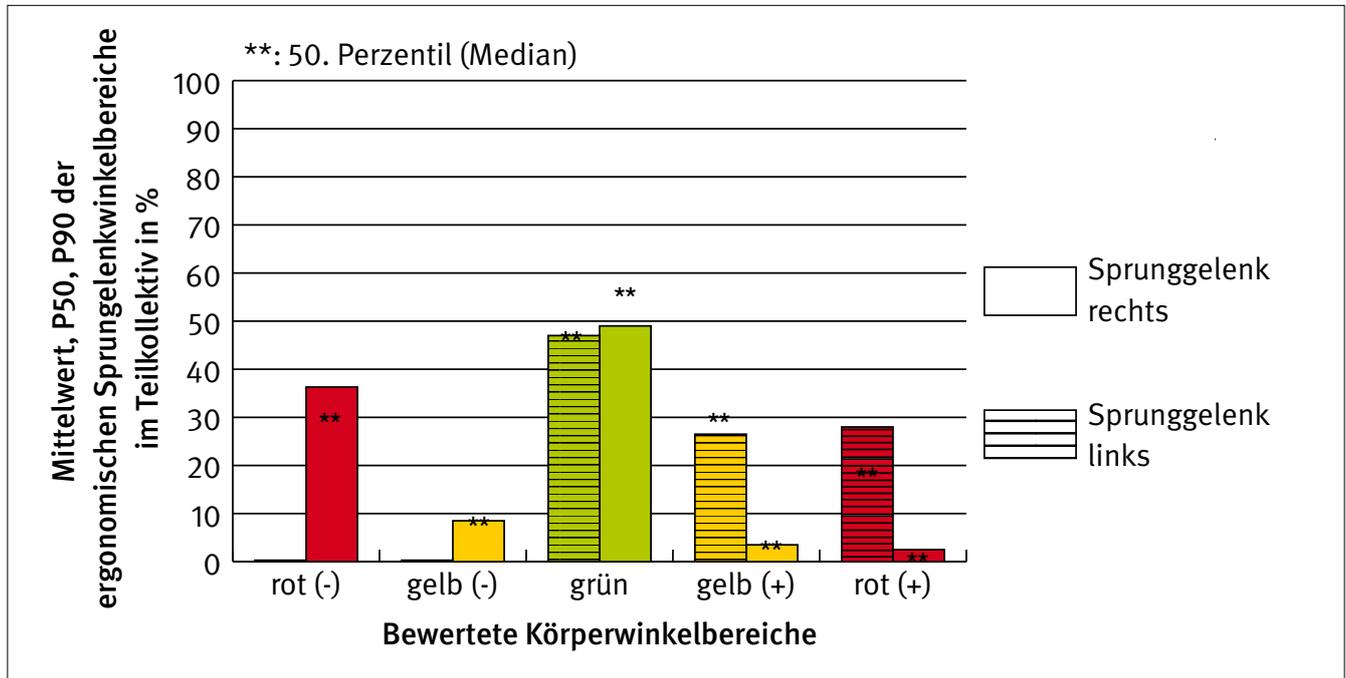


Abbildung A20:
Häufigkeitsverteilung der Kniewinkel in Messphase 2 für das Teilkollektiv der „nicht akzeptierenden Probanden“

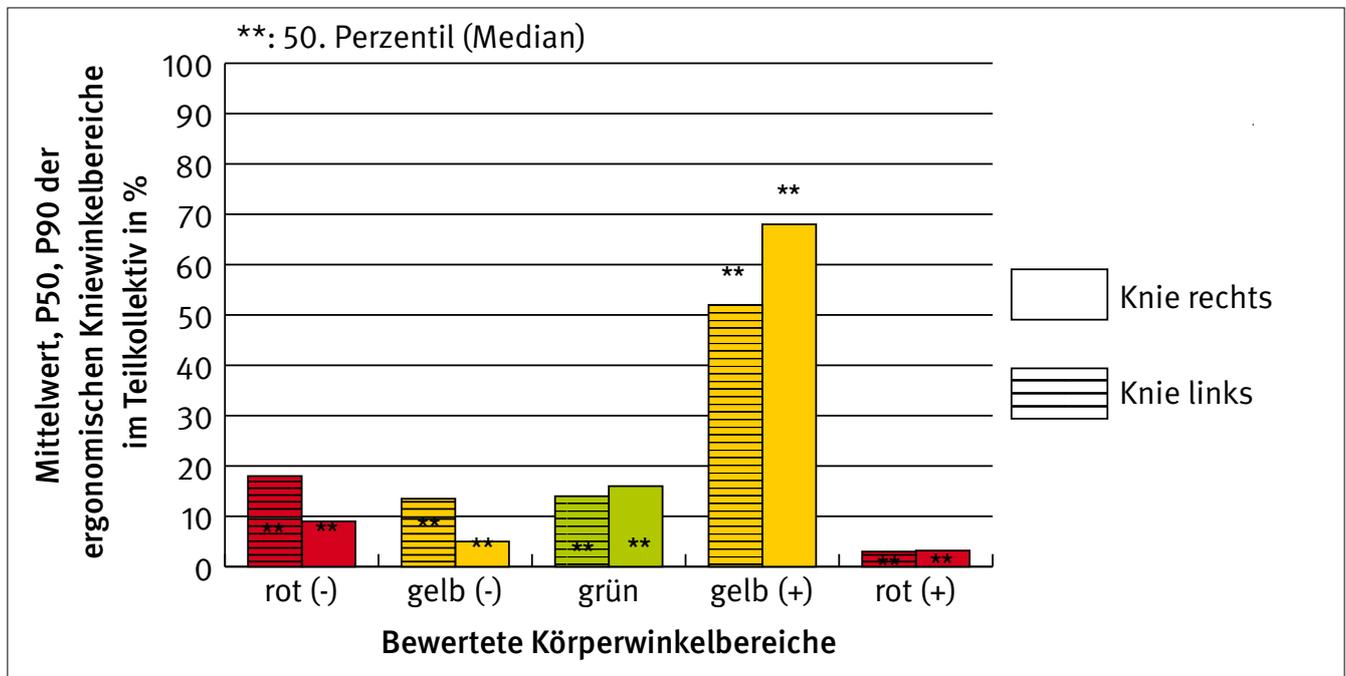


Abbildung A21:
Häufigkeitsverteilung der Hüftwinkel in Messphase 2 für das Teilkollektiv der „nicht akzeptierenden Probanden“

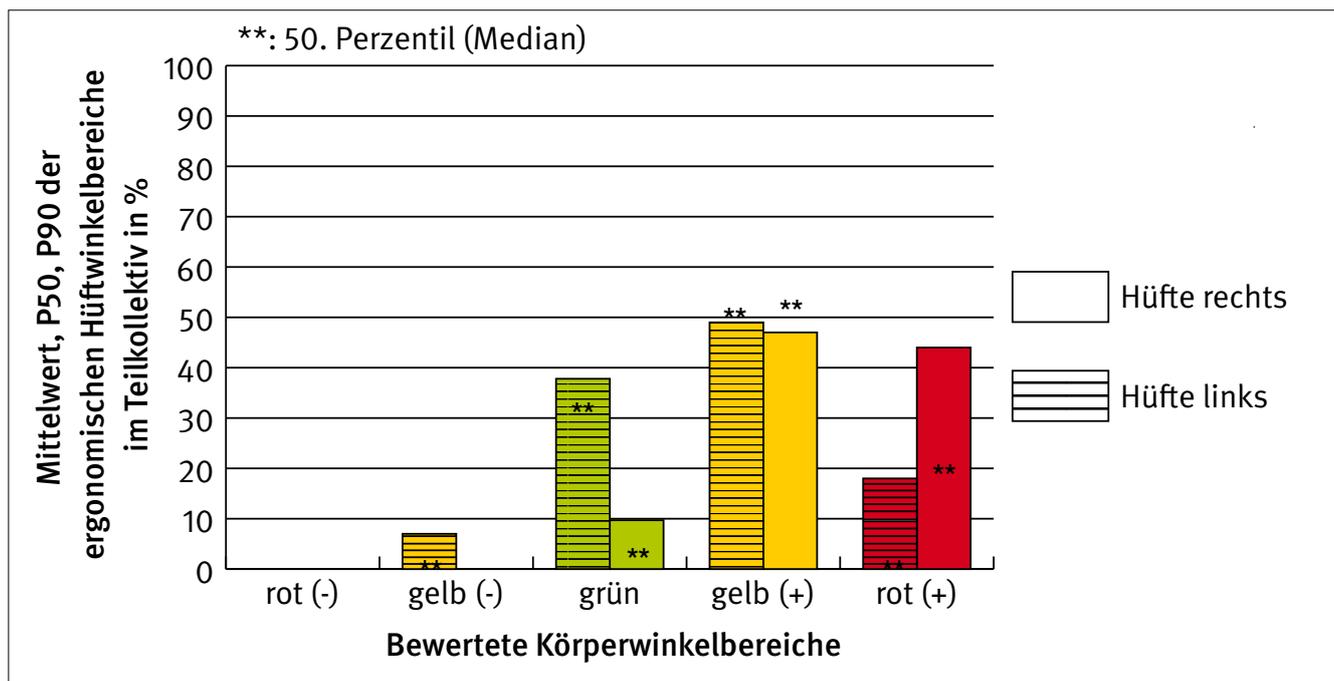


Abbildung A22:
Häufigkeitsverteilung des Winkels Oberschenkel zur Horizontalen in Messphase 2 für das Teilkollektiv der „nicht akzeptierenden Probanden“

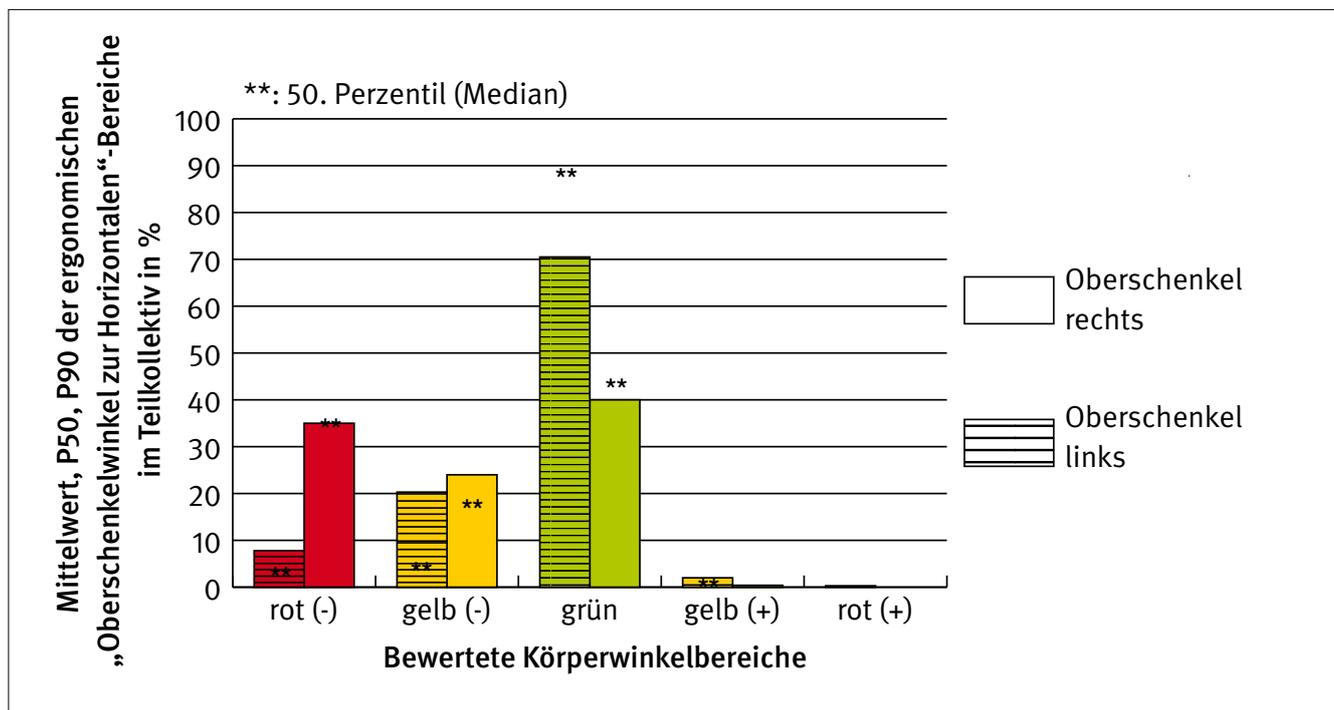


Abbildung A23:
Häufigkeitsverteilung des Winkels Rumpf zur Senkrechten in Messphase 2 für das Teilkollektiv der „nicht akzeptierenden Probanden“

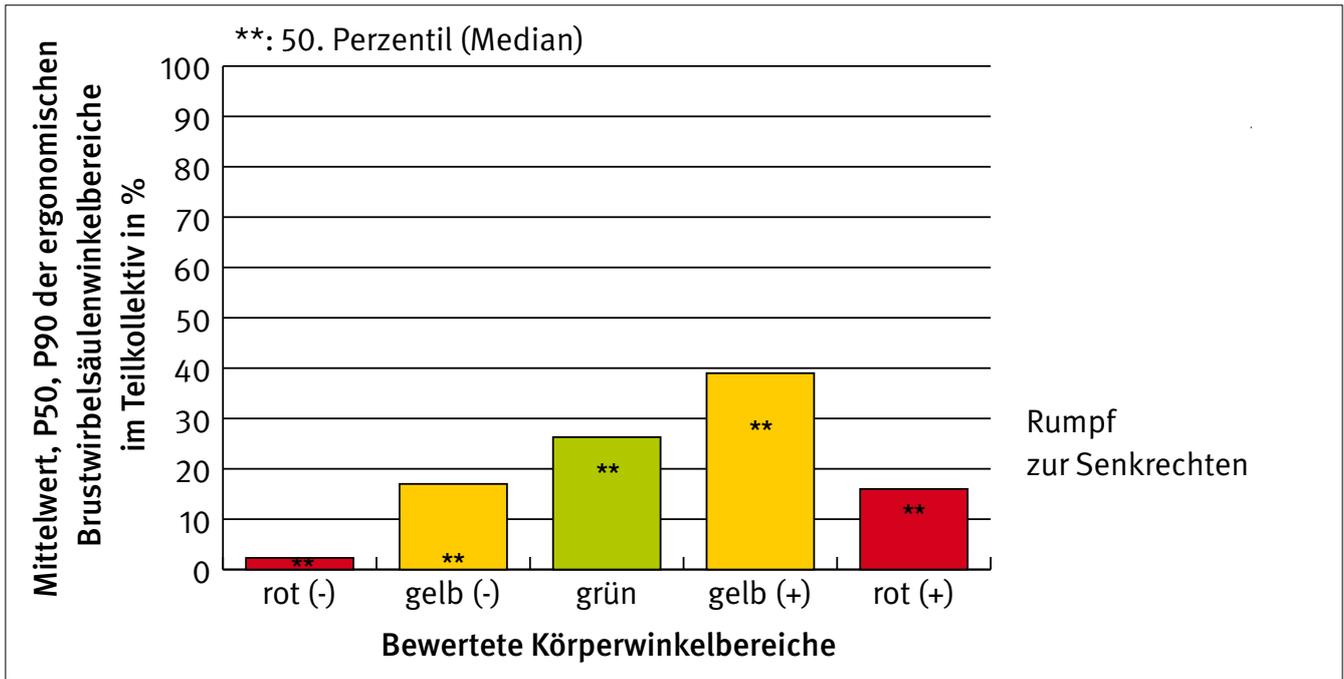


Abbildung A24:
Häufigkeitsverteilung der „Ellenbogenwinkel“ in Messphase 2 für das Teilkollektiv der „nicht akzeptierenden Probanden“

