Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.

Forschungsbericht Nr. 80

Evakuierung aus Reisebussen

Peter König
Karl Hofmann-von Kap-herr
Tim Berger
Luisa Valentina Fuchs
René Behrmann
Jennifer Molitor
Axel Malczyk

Unfallforschung der Versicherer
GDV

Im Auftrag der Unfallforschung der Versicherer (UDV)

Forschungsbericht Nr. 80

Evakuierung aus Reisebussen

Bearbeitet durch:

Institut für Fahrzeugtechnik Trier
Prof. Dr.-Ing. Peter König
Prof. Dr.-Ing. Karl Hofmann-von Kap-herr
Tim Berger, M.Eng.
Luisa Valentina Fuchs, B.Eng.
René Behrmann, B.Eng.
Jennifer Molitor, B.Sc.

ift Institut für Fahrzeugtechnik Trier

Projektleitung bei der UDV:
Dr. Axel Malczyk

Unfallforschung der Versicherer
GDV

Impressum

Herausgeber
Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.
Unfallforschung der Versicherer

Wilhelmstraße 43 / 43 G, 10117 Berlin
Postfach 08 02 64, 10002 Berlin
Tel. 030 / 20 20 – 50 00, Fax 030 / 20 20 – 60 00

E-Mail: unfallforschung@gdv.de
Internet: www.udv.de
Facebook: www.facebook.com/unfallforschung
Twitter: @unfallforschung
YouTube: www.youtube.com/unfallforschung

Redaktion
Dr. Axel Malczyk

Bildnachweise
UDV und siehe Quellenangaben

Erschienen
02/2022

ISBN-Nr.
978-3-948917-11-1

Im Auftrag der Unfallforschung der Versicherer (UDV)

Evakuierung aus Reisebussen

Bearbeitet durch:
Institut für Fahrzeugtechnik Trier
Prof. Dr.-Ing. Peter König
Prof. Dr.-Ing. Karl Hofmann-von Kap-herr
Tim Berger, M.Eng.
Luisa Valentina Fuchs, B.Eng.
René Behrmann, B.Eng.
Jennifer Molitor, B.Sc.



Projektleitung bei der UDV:
Dr. Axel Malczyk

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis 9

Kurzfassung 13

Abstract 15

1 Einleitung 17

2 Vorstudie 22

2.1 Definition von Kraftomnibussen 22

2.2 Klassifizierung von Omnibussen gem. ECE R 107 22

2.3 Bestand von Kraftomnibussen der Klassen II und III 24

2.4 Beteiligung von Omnibussen am Unfallgeschehen 24

2.5 Technische Vorgaben für Notausstiegssysteme 25

2.5.1 Mindestanzahl von Notausstiegen 27

2.5.2 Mindestgröße von Notausstiegen 27

2.5.3 Anordnung von Notausstiegen 28

2.5.4 Kennzeichnung von Notausstiegen 30

2.6 Evakuierung aus Verkehrsmitteln 31

2.6.1 Evakuierung aus Flugzeugen 31

2.6.2 Evakuierung aus Eisenbahnen 31

2.6.3 Evakuierung von Schiffen 32

2.6.4 Evakuierung aus Reisebussen 33

3 Analyse von Verkehrsunfällen mit Reisebussen 34

3.1 Datenbestand 35

3.2 Alter und Geschlecht der Businsassen 36

3.3 Auswertung nach Endlage des Busses 37

3.3.1 Nach Unfall verfügbare Notausstiege 38

3.3.2 Genutzte Notausstiege bei Endlagen zwischen 0° und 19° 39

3.3.3 Genutzte Notausstiege bei Endlagen zwischen 20° und 39° 40

3.3.4 Genutzte Notausstiege bei Endlagen zwischen 80° und 99° 41
4 Packageuntersuchungen mit RAMSIS 43
5 Psychologische Einflussfaktoren bei der Busevakuierung 48
5.1 Typische Belastungsreaktionen des Menschen 48
5.2 Psychophysiologische Reaktionen bei Unfällen 49
5.3 Herleitung von Handlungsfeldern für Probandenversuche 51
6 Probandenstudien 53
7 Probandenstudien zur Evakuierung aus einem realen Reisebus 55
7.1 Versuchsaufbau 55
7.2 Beschreibung der Versuchsdurchführung 57
7.2.1 Evakuierungsversuche in der Endlage 30° 57
7.2.2 Evakuierungsversuche in der Endlage 90° 58
7.3 Ergebnisse der Evakuierungsversuche aus dem Reisebus 59
7.3.1 Statistische Analyse der Stichprobe 59
7.3.2 Analyse der Fortbewegung zum Notausstieg in der Endlage 30° 59
7.3.3 Bewertung der Fortbewegung zum Notausstieg in der Endlage 30° ... 64
7.3.4 Analyse der Fortbewegung zum Notausstieg in der Endlage 90° 64
7.3.5 Bewertung der Fortbewegung zum Notausstieg in der Endlage 90° ... 66
7.3.6 Identifikation nutzbarer Notausstiege in der Endlage 30° 66
7.3.7 Identifikationshäufigkeit und -reihenfolge bei 30° Endlage 67
7.3.8 Identifikation nutzbarer Notausstiege in der Lage 90° 68
7.3.9 Identifikationshäufigkeit und -reihenfolge bei 90° Endlage 69
7.3.10 Bedienbarkeit des Heckausstiegs in der 90° Lage 69
7.3.11 Durchstieg durch die Dachluke unter realistischen Randbedingungen 70
7.3.12 Bewertung des Durchstiegs durch die Dachluke unter realistischen Randbedingungen 71
7.3.13 Schlussfolgerungen 71
8 Probandenstudien zur Evakuierung mittels eines Versuchsträger 72

8.1 Einfluss der Dachlukengeometrie auf die Ausstiegskinematik 74
8.2 Versuchsaufbau 76
8.3 Beschreibung der Versuchsdurchführung 77
8.4 Ergebnisse der Ausstiegsversuche 79
8.4.1 Statistische Analyse der Stichprobe 79
8.4.2 Analyse der Ausstiegszeit 79
8.4.3 Körperliche Beanspruchung beim Durchstieg der Dachluke 81
8.4.4 Bewertung des Durchstiegs der Dachluke..... 81
8.4.5 Einschätzung der benötigten Fähigkeiten..... 83
8.4.6 Videoanalyse der Durchstiegsversuche 83
8.4.7 Schlussfolgerungen 86
8.5 Analyse der Bedienbarkeit von unterschiedlichen Gurtsystemen im Notfall 87
8.6 Versuchsaufbau 89
8.7 Versuchsdurchführung 91
8.8 Auswertung des persönlichen Sicherheitsverhaltens und der An- und Abschnallversuche..... 92
8.8.1 Statistische Analyse der Stichprobe 92
8.8.2 Sicherheitsverhalten der Proband:innen in Reisebussen 93
8.8.3 Bedienbarkeit von Gurtsystemen, Testreihe unter 0° 94
8.8.4 Bedienbarkeit von Gurtsystemen, Testreihe unter 30° 95
8.8.5 Ermittlung der Abschnallzeiten für unterschiedliche Gurtsysteme..... 96
8.8.6 Zeitaufnahmen beim Abschnall-Vorgang unter 0° und beim Abschnall-Vorgang unter 30° 96
8.8.7 Videoanalyse der Abschnallversuche in der 30°-Position..... 97
8.8.8 Ausblick auf die Akzeptanz alternativer Gurtsysteme..... 99
8.8.9 Schlussfolgerungen 100
9 Potentiale von Lichtführung zur rascheren Identifikation von Notausstiegen... 102
9.1 Versuchsaufbau 102

9.2 Beschreibung der Versuchsdurchführung 103
9.3 Ergebnisse der Lichtführungsversuche 104
9.3.1 Schlussfolgerungen 105
10 Weitere fahrzeugtechnische Potentiale und Risiken bezüglich der Evakuierung aus Reisebussen 106
10.1 Nutzung der Frontscheibe als Notausstieg 106
10.2 Nutzung eingeklebter Glasdachluken als Notausstieg 107
10.3 Reglementierung von Anbauteilen im Bereich der Notausstiege 109
10.4 Notausstiege bei der Integration neuer Antriebs- und Speicherkonzepte. 109
11 Fazit 110
12 Literaturverzeichnis 113
13 Anhang 115

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Personenverkehrsleistungen nach Fahrzwecken 18
Abbildung 2: Entwicklung der Unfallzahlen von 1992 bis 2019..... 19
Abbildung 3: Unterteilung des Fahrzeugtyps M 23
Abbildung 4: Entwicklung des Bestands an unterschiedlichen Kategorien von Kraftomnibussen [10]..... 24
Abbildung 5: Unfallzahlen mit Busbeteiligung [5, S. 136ff] 25
Abbildung 6: Verfügbare Notausstiege eines Reisebusses 29
Abbildung 7: Beispiel für Beschädigungsbild mit nicht mehr nutzbaren Betriebstüren nach Kollision 34
Abbildung 8: Übersicht des Datenbestands der Datenbank 35
Abbildung 9: Alter der Insassen bei Unfällen 37
Abbildung 10: Genutzte Notausstiege bei Reisebusunfällen mit einer Endlage zwischen 0° und 19° 40
Abbildung 11: Genutzte Notausstiege bei Reisebusunfällen mit einer Endlage zwischen 20° und 39° 41
Abbildung 12: Genutzte Notausstiege bei Reisebusunfällen mit einer Endlage zwischen 80° und 99° 42
Abbildung 13: Prüfkörper gemäß ECE R 107 43
Abbildung 14: Vergleich der Hüftbreite einer Frau des 95. Perzentils im Alter von 50-70 Jahren mit dem Gangprüfkörper..... 45
Abbildung 15: Vergleich der Hüftbreite bei ebenen Gang..... 46
Abbildung 16: Prozesse der akuten Belastungsreaktion „Verkehrsunfall“ 49
Abbildung 17: Versuchsmatrix für Evakuierungsversuche..... 54
Abbildung 18: Versuchsaufbau bei 30° Endlage..... 56
Abbildung 19: Positionierung des Reisebusses unter 30° und 90° 56
Abbildung 20: Versuchsdurchführung in der Endlage 30° 57
Abbildung 21: Versuchsdurchführung in der Endlage 90° 58
Abbildung 22: Nutzung der Lehnen zur Fortbewegung in 30° Endlage 60
Abbildung 23: Vorschläge für Maßnahmen zur Verbesserung des Vorankommens im um 30° gekippten Bus 61
Abbildung 24: Fortbewegung im Bus bei 30° Kippwinkel..... 62

Abbildung 25: Körperausrichtung bei der Fortbewegung durch den 30° geneigten Reisebus 63
Abbildung 26: Genutzte Hilfsmittel bei der Fortbewegung durch den 30° geneigten Reisebus 63
Abbildung 27: Trittfläche bei 30° Kippwinkel 64
Abbildung 28: Maßnahmen zur Verbesserung des Vorankommens im um 90° gekippten Bus 65
Abbildung 29: Fortbewegung im Bus bei 90° Kippwinkel 66
Abbildung 30: Identifikationshäufigkeit und -reihenfolge von Notausstiegsmöglichkeiten in der Endlage 30° 67
Abbildung 31: Identifikationsreihenfolge in der Endlage 90° 68
Abbildung 32: Klappmechanismus der hinteren Sitzreihe 69
Abbildung 33: Ausstiegsmöglichkeiten aus der Dachluke 70
Abbildung 34: Analyse der Bewegungsmuster des Dachlukenausstiegs unter 90° Endlage 70
Abbildung 35: CAD-Modell des Versuchsträgers 73
Abbildung 36: Versuchsträger in 30° Kippstellung mit Sicherungsstützen 74
Abbildung 37: Längseingebaute und quereingebaute Dachluke im Versuchsträger 75
Abbildung 38: Versuchsträger für Evakuierungsversuche in 90°-Lage 77
Abbildung 39: Durchstieg durch Dachluken in Längs- und Querrichtung 78
Abbildung 40: Erster Vergleich der mittleren Ausstiegszeit nach Einbaulage 80
Abbildung 41: Bewertung der Einbaulage der Dachluke im Schulnotensystem im Hinblick auf die Evakuierung 82
Abbildung 42: Einschätzung der benötigten Fähigkeiten der Proband:innen beim Durchsteigen von längs- oder quereingebauten Dachluken 83
Abbildung 43: Durchsteigekinematik bei längs eingebauter Dachluke 84
Abbildung 44: Durchsteigekinematik bei quer eingebauter Dachluke 85
Abbildung 45: Ergebnisse der Videoanalyse des Durchstiegsverhaltens bei längs und quer eingebauten Dachluken 86
Abbildung 46: Befestigung der Sicherheitsgurte 88
Abbildung 47: Aufbau des Versuchsträger für die Gurtlöseversuche 90
Abbildung 48: Versuchsträger in 30° Endlage 91
Abbildung 49: Sitzposition bei den Versuchen 92

Abbildung 50: Ergebnisse der Abfrage des persönlichen Anschnallverhalten der Proband:innen 94
Abbildung 51: Mittlere Bewertungen der Bedienbarkeit der unterschiedlichen Gurtsysteme in der Testreihe 0° durch die Proband:innen (umgekehrtes Schulnotensystem) 95
Abbildung 52: Mittlere Bewertungen der Lösbarkeit der unterschiedlichen Gurtsysteme in der Testreihe 30° durch die Proband:innen (umgekehrtes Schulnotensystem) 96
Abbildung 53: Ermittelte Abschnallzeiten unterschiedlicher Gurtsysteme unter 0° und 30° 97
Abbildung 54: Bedienung der verschiedenen Gurtsysteme (Zweipunktgurt (1), Zweipunktgurt mit Flügelschnalle (2); Dreipunktgurt (3, 4)) 98
Abbildung 55: Ergebnisse der Videoanalyse der Abschnallversuche im auf 30°gekippten Versuchsträger 99
Abbildung 56: Akzeptanz der unterschiedlichen Gurtsysteme von den Proband:innen nach Versuchsdurchführung 100
Abbildung 57: LED-Lauflicht im Mittelgang zur Anzeige der geeigneten Fluchtrichtung und -möglichkeiten 103
Abbildung 58: Probandin mit Eye-Tracking Brille während der Versuchsdurchführung 104
Abbildung 59: Blickverlauf der Probanden beim Identifizieren des Notausgangs mit Lichtleitsystemen (Aufnahmen aus der Eye-Tracking Brille) 105
Abbildung 60: RAMSIS Simulation zur Ermittlung der zu überwindenden Höhendifferenz bei einem Dachlukenausstieg in 90°-Endlage mit längs eingebauter Dachluke 108

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Unterscheidung der Fahrzeugklassen [8], [9] 23
Tabelle 2: Übersicht aller gemäß ECE R 107 zulässigen und verpflichtenden Notausstiege für M_3 Busse 26
Tabelle 3: Mindestanzahl an Notausstiegen gem. ECE R 107 27
Tabelle 4: Mindestanforderungen an Notausstiege gem. ECE R 107 28
Tabelle 5: Evakuierungsvorgaben unterschiedlicher Verkehrsmittel 32
Tabelle 6: Strukturierungsebenen der Unfalldatenbank 36
Tabelle 7: Anzahl der auswertbaren Unfälle nach Endlagen 38
Tabelle 8: Analyse des Gangprüfkörpers gemäß ECE R 107 44
Tabelle 9: Ergebnisse der Korrelationsanalyse (r-Werte) 81

Kurzfassung

Das Institut für Fahrzeugtechnik der Hochschule Trier (ift) wurde von der Unfallforschung der Versicherer (UDV) beauftragt, unter dem Projekttitel „Evakuierung aus Reisebussen“ eine Analyse der Notausstiegssysteme von Reisebussen zu erstellen. Das Projekt umfasste die Untersuchung des Unfallgeschehens unter Beteiligung von Reisebussen, die Analyse der Evakuierungsprozesse und der damit verbundenen ergonomischen Fragestellungen, um daraus Maßnahmen zur Optimierung des Evakuierungsprozesses abzuleiten. Von zentraler Bedeutung waren dabei Evakuierungsversuche mit Probanden aus Reisebussen in gekippter Lage.

Es wurde eine Datenbank erstellt, in der Informationen zu Verkehrsunfällen in Verbindung mit Reisebussen eingepflegt wurden. Diese wurden zum einen von der Unfallforschung der Versicherer (UDV) zur Verfügung gestellt, zum anderen vom Projektteam aus frei verfügbaren Unfallberichten recherchiert. Relevante Parameter waren dabei die Endlage des Busses nach dem Unfall, die für die Eigen- und Fremdrettung verwendeten Notausstiege, die Altersverteilung der Insassen und deren Verletzungsschwere. Aus dieser Datenbank wurden die Testparameter und die Evakuierungsszenarien für die nachfolgenden Probandenversuche abgeleitet.

Für Vorversuche und abschließende Detailuntersuchungen wurde ein kippbarer Busabschnitt in Originalgröße nachgebaut. Mit diesem konnten mit einer begrenzten Anzahl von Probanden Versuche zu Gurtsystemen und Notausstiegsöffnungen im Dach mit zahlreichen Testparametern durchgeführt werden.
Die Evakuierungsversuche mit einer großen Anzahl von Probanden sollten in einem Reisebus durchgeführt werden, der für diese Zwecke erworben wurde. Der Reisebus konnte in einer Halterung für zwei Versuchsreihen um 30° beziehungsweise um 90° gekippt werden, bevor die Proband:innen in den Bus geleitet wurden und diesen über die Notausstiege wieder verließen. Aufgrund der Corona-Pandemie fanden diese Versuche mit Proband:innen nur einzeln oder bei Versuchen mit mehreren Personen gemeinsam mit Familienmitgliedern statt.
Begleitend zu den praktischen Versuchen wurden für die Untersuchung von Einzelaspekten der Evakuierung CAD-Simulationsmodelle aufgebaut und analysiert.

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass die Erstellung einer Richtlinie mit der Definition von Anforderungen an die Evakuierung von Busse notwendig erscheint, entsprechende Richtlinien bestehen bereits seit geraumer Zeit für andere Verkehrsmittel und haben dort zu vergleichbaren Sicherheitsstandards geführt.

Zudem sollten die aktuellen Richtlinien für Notausstiege im Hinblick auf Mindestkantenlängen und Einbaulage der Dachluken (nur quer zur Fahrtrichtung), die Vermeidung von Schnittgefahren im geöffneten Zustand (bei Fenster und Dachluken) und die Kennzeichnung der Öffnungen (auch bei Dunkelheit und in gekippter Lage nach einem Unfall erkennbar) überarbeitet werden, um den Evakuierungsvorgang zu beschleunigen.

Die Frontscheibe wurde bei einem Großteil der untersuchten Unfälle im Rahmen der Fremdrettung geöffnet, sie wurde zudem vom Großteil der Proband:innen spontan als bester Notausstieg benannt. Daher sollte die Frontscheibe des Busses generell als Notausstieg genutzt werden können.

Da nach einem Unfall mit einer 90° Endlage ein Ausstieg durch die Frontscheibe versperrt sein kann, muss alternativ dennoch die Heckscheibe als Notausstieg verfügbar sein.

Die Heckscheiben werden aber immer öfter durch Kofferanbauten oder Fahrradträger am Heck der Fahrzeuge so verdeckt, dass eine Evakuierung durch die Heckscheibe unmöglich wird. Hier müssen neue Anforderungen an die Anbauten definiert werden, um dennoch eine rasche Selbstrettung durch die Heckscheibe zu ermöglichen.

Da die Reisebusse oft in einer Schräglage evakuiert werden müssen, muss der Mittelgang eine ausreichende Breite aufweisen, um sich auch in Schräglage noch zügig zu einem Notausstieg bewegen zu können. Seitlich verschiebbare Sitze können den Durchgang zusätzlich so weit verringern, dass ein Durchkommen unmöglich ist, zumal sie in Schräglage nur mit sehr großem Auswand in die Ausgangsposition zurückgeschoben werden können.

Neue Statistiken zeigen, dass die aktuellen Vorschriften und Gangprüfkörper die Proportionen der heutigen Bevölkerung zu wenig berücksichtigen, eine Anpassung der Prüfkörper würde die Evakuierung besonders in gekippter Lage verbessern können.

Abstract

The Institute of Vehicle Technology at Trier University of Applied Sciences (ift) was commissioned by the Insurers Accident Research (UDV) to carry out an analysis of the emergency exit systems of coaches under the project title "Evacuation from coaches". The project comprised the investigation of accidents involving coaches, the analysis of evacuation processes and the associated ergonomic issues in order to derive final measures for optimising the evacuation process. Evacuation tests with test persons from coaches in a tilted position were of central importance.

A database was created in which information on traffic accidents involving coaches was entered. This information was provided by the Insurers Accident Research (UDV) and researched from freely available accident reports. Relevant parameters were the final position of the bus after the accident, the emergency exits used for self-rescue and external rescue, the age distribution of the occupants and their injury severity. From this database, the test parameters and evacuation scenarios for the subsequent test person trials were finally derived.

For preliminary tests and final detailed investigations, a tiltable bus section was designed as a full-size model. This made it possible to carry out tests on belt systems and emergency exit openings in the roof with multiple parameters and a limited number of test persons.

The evacuation tests with a large number of test persons were to be carried out in a coach, as it had been purchased for this purpose. This could be tilted in a holder by 30° and by 90° for two test series before the test persons were guided into the bus and left it again via the emergency exits.

Due to the Corona pandemic, the test persons could only be guided through the bus one at a time; tests with several persons only took place with families.

In addition, numerous new coaches were made available by bus operators in the region for package trials. Accompanying the practical trials, CAD simulation models were also built and analysed for the investigation of individual aspects of evacuation.

In summary, it can be stated that the creation of a guideline with the definition of requirements for the evacuation of buses appears necessary; comparable guidelines

have already existed for some time for other means of transport and have led to comparable safety standards there.

In addition, the current guidelines for emergency exits should be revised with regard to minimum edge lengths and installation position of the roof hatches (only transverse to the direction of travel), the avoidance of cutting hazards when open (for windows and hatches) and the marking of the openings (also recognisable in the dark and in a tilted position after an accident) in order to speed up the evacuation process.

The front windscreen was opened in the majority of the accidents investigated as part of the third-party rescue; it was also intuitively named as the preferred emergency exit by the majority of the test persons. Therefore, it should generally be possible to use the front windscreen of the bus as an emergency exit.

Since an exit through the windscreen may be blocked after the accident with a 90° end position, the rear window must still be available as an emergency exit.

However, the rear windows are increasingly covered by luggage attachments or bicycle racks at the rear of the vehicles in such a way that evacuation through the rear window becomes impossible. Here, new requirements must be defined for the attachments in order to nevertheless enable rapid self-rescue.

Since coaches often have to be evacuated in an inclined position, the centre aisle must be wide enough to allow rapid movement to an emergency exit even then. Moreover, seats that can be moved sideways can reduce the passage to such an extent that it is impossible to get through, especially as they can only be pushed back to their original position in an inclined position with a great deal of effort.

New statistics show that the current regulations and aisle test bodies take too little account of the dimensions of today's population; a new definition of test bodies would be able to improve evacuation, especially in a tilted position.

1 Einleitung

Unter „Verkehr“ wird jede Bewegung von Fahrzeugen, Menschen, Gütern und Nachrichten auf dafür vorgesehenen Strecken verstanden. Innerhalb einer Gesellschaft ermöglicht der Verkehr einem jeden Menschen seine individuelle Mobilität, an die er den natürlichen Anspruch hat, dass sie sicher und effizient zu sein hat. Dass Mobilität für einen Menschen ein absolutes Grundbedürfnis ist, kommt schon dadurch zum Ausdruck, dass in einer Demokratie der Entzug von Mobilität in Form von Haftstrafen als die härteste, ethisch vertretbare Strafe angesehen wird.

Werden alle Fahrtstrecken der einzelnen Verkehrsmittel zusammengezählt, so ergibt sich die „Fahrleistung“ als Kennwert für die einzelnen Verkehrsmittel. Allerdings ist die Fahrleistung noch unabhängig von der Anzahl der jeweils transportierten Personen oder der beförderten Ware. Erst die „Verkehrsleistung“ berücksichtigt diese Transportleistung, indem zum Beispiel im Personenverkehr die Fahrtstrecken mit der Anzahl der beförderten Personen multipliziert werden.
Die Gesamtfahrleistung aller Kraftfahrzeuge in Deutschland ist zwischen 2010 und 2019 von 704,8 Mrd. km auf 755,0 Mrd. km angestiegen. Dabei stieg in diesem Zeitraum die Fahrleistung der Pkw um 8% auf 644,8 Mrd. km (entspricht 85,4% der Gesamtfahrleistung) und die Fahrleistung von Bussen um 39% auf 4,6 Mrd. km (entspricht 0,6% der Gesamtfahrleistung) [1].
Der bei den Bussen ermittelte, fast fünffache Zuwachs der Fahrleistung erlaubt allerdings keinen direkten Rückschluss auf eine vergleichbare Entwicklung der Verkehrsleistung, also der Entwicklung der Personenbeförderung in Bussen. Die offiziellen deutschen Statistiken berücksichtigen bei der Fahrleistung von Bussen alle registrierten Reise- und Linienbusse, während für die Bestimmung der jeweiligen Verkehrsleistung nur die Personenkilometer des Öffentlichen Straßenpersonen-verkehrs ermittelt werden. Damit bleibt die Verkehrsleistung der oft privatwirtschaftlich betriebenen Reisebusunternehmen ohne Berücksichtigung. Dabei hat sich die Nutzung genau dieses Verkehrsmittels „Reisebus“ seit der Liberalisierung des inländischen Fernbuslinienverkehrs im Jahr 2013 gravierend geändert: Während nach alter Gesetzeslage das Verbot der Doppelbedienung ein Konkurrenzschutz von Eisenbahnfernverkehr und Reisebusfernlinien galt und eine Busverbindung parallel zu

einer bestehenden Eisenbahnverbindung nicht genehmigungsfähig war, besteht seit der Gesetzesänderung in diesem Markt nun ein freier Wettbewerb. Die Zahl der Fernbuslinien in Deutschland ist seitdem erheblich gestiegen, so dass Verbraucher:innen heute die Möglichkeit haben, auch über längere Strecken mit einem gegebenfalls kostengünstigeren Bus zu reisen. Nach einer Auswertung des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur wurden vor der Liberalisierung gerade einmal 86 Fernbusstrecken bedient, Ende des Jahres 2019 bestanden in Deutschland bereits 189 Fernbusverbindungen, deren Anzahl stieg also innerhalb der sechs Jahren um 120% [2].

Die Statistiken der Personenverkehrsleistungen in Deutschland können allerdings nach Fahrzwecken unterschieden werden. Ein Vergleich für die Jahre 2003 und 2018 zeigt, dass die Personenverkehrsleistungen insgesamt von 1.142 Mrd. Pkm auf 1.237 Mrd. Pkm gestiegen sind, dabei fällt auf, dass 77% dieses Zuwachses den Geschäftsreisen zuzuschreiben sind, für die oftmals Pkw, Zug oder das Flugzeug genutzt werden.

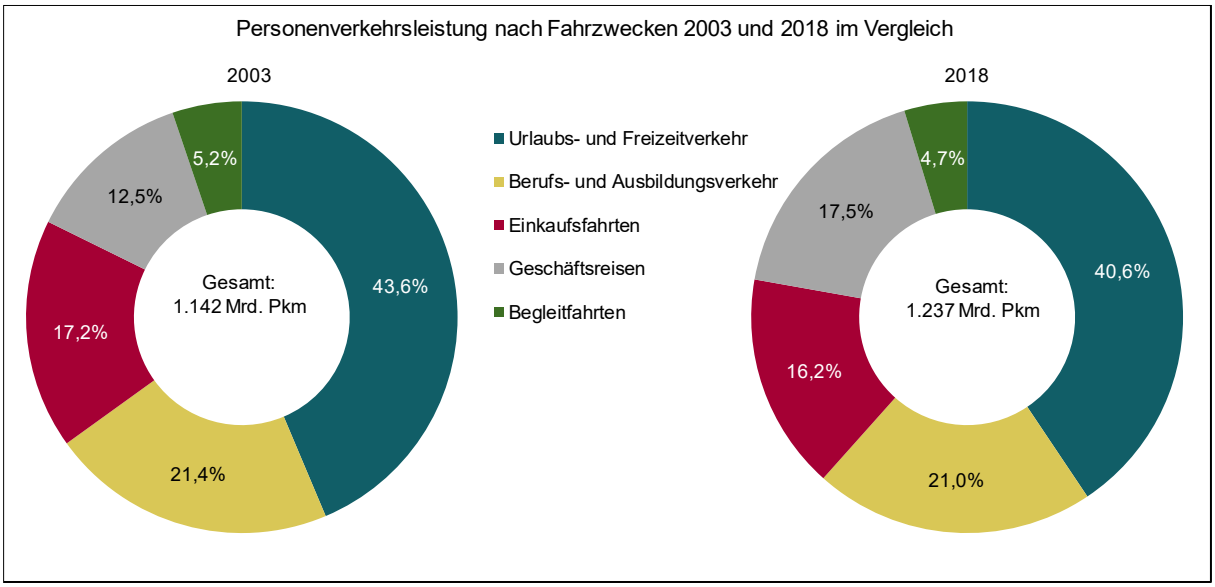


Abbildung 1: Personenverkehrsleistungen nach Fahrzwecken

Reisebusse werden eher zum Zweck der Freizeitgestaltung und für Urlaubsfahrten genutzt, diesem Segment konnten 2003 noch 43,6% aller Personen-verkehrsleistungen zugeordnet werden, während es im Jahr 2018 nur noch 40,6% waren, was aber in absoluten Zahlen dennoch einer Steigerung um 4,5 Mrd. Pkm

entspricht [3]. Während der Reisebus für Geschäftsreisen eine untergeordnete Rolle spielt, bevorzugen Personengruppen den Reisebus für die Fortbewegung, so nutzen Gruppenreisen heutzutage zu fast 70% den Reisebus als Verkehrsmittel [4].

Die Kehrseiten des wachsenden Verkehrsaufkommens mit all seinen Vorteilen für die persönliche Mobilität, den Handel und die Warentransporte sind die steigende Anzahl an Straßenverkehrsunfällen, die steigenden Emissionen und die Lärmbelastungen der Anwohner.

Bezüglich der Anzahl der Straßenverkehrsunfälle zeigt die Statistik ein kontinuierliches Ansteigen, bei der allerdings die Schwere der Unfälle und damit die Zahl der bei Straßenverkehrsunfällen verletzten und getöteten Personen rückläufig ist. Die Unfälle sind also weniger folgenschwer und die Insassen werden besser geschützt. So ist dann auch die Anzahl der Unfälle mit Personenschaden bei Pkw seit 1992 um 31,2% gesunken, im gleichen Zeitraum ist allerdings die Anzahl der Unfälle mit Personenschaden unter Beteiligung von Omnibussen um 1,9% gestiegen. [5]

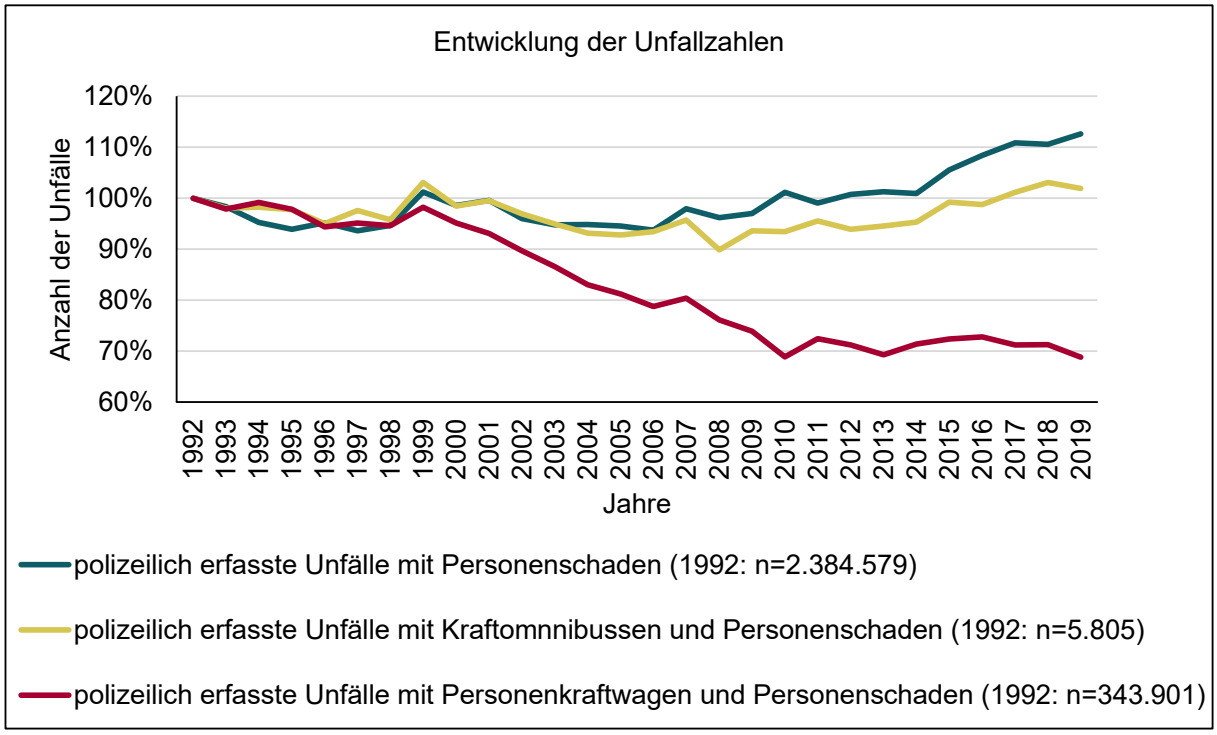


Abbildung 2: Entwicklung der Unfallzahlen von 1992 bis 2019

Diese Trendumkehr zeigt, dass bei der Untersuchung von Unfällen mit Beteiligung von Reisebussen detailliertere Analysen stattfinden müssen, da gegebenenfalls bei einem einzigen schwereren Unfall gleich eine ungleich höhere Anzahl von Verletzten zu verzeichnen sein wird, das heißt absolute Jahreszahlen können aufgrund nur eines einzigen schweren Busunglücks stark schwanken. Hier gilt es zu untersuchen, welche Hintergründe zu dieser Steigerung führten und daraus Maßnahmen abzuleiten, wie die Anzahl der Busunfälle und die Schwere der auftretenden Verletzungen reduziert werden können.

Maßnahmen zur Unfallvermeidung können unter anderem in „aktive“ und „passive“ Maßnahmen der Fahrzeugsicherheit eingeteilt werden. Zu den aktiven Maßnahmen, die Unfälle vermeiden sollen, zählen zum Beispiel fahrzeugeigene, technische Sicherheitssysteme wie Antiblockiersystem (ABS), Elektronisches Stabilitäts-programm (ESP), Scheinwerfer und auch externe Infrastrukturmaßnahmen, wie die Gestaltung von Straßen, Straßenbeleuchtung oder auch Geschwindigkeitslimits. Maßnahmen der aktiven Fahrzeugsicherheit sollten nicht Inhalt dieser Untersuchung sein.
Der „passiven“ Fahrzeugsicherheit werden alle Maßnahmen zugeordnet, die im Falle eines Unfalls die Unfallfolgen reduzieren können. Hierzu zählen die energieabsorbierende Fahrzeugstruktur der Fahrzeuge, durch die die Verzögerung der Insassen bei einem Fahrzeugcrash limitiert wird, wie auch Airbagsysteme und Gurtsysteme, durch die Verletzungen der Insassen im Fahrzeuginneren begrenzt werden. Darüber hinaus zählen auch Maßnahmen zur Rettung und Selbstrettung der Insassen als wirkungsvolle, passive Sicherheitsmaßnahmen, die mit steigender Anzahl der Insassen in einem Fahrzeug an Bedeutung gewinnen.

Bei Flugzeugen, Schiffen und auch Zügen wurde dies frühzeitig erkannt, sodass es global einheitliche Vorschriften zum Schutz des menschlichen Lebens und so auch zur Evakuierung geben muss. In der Schifffahrt beispielsweise wurden von internationalen Teams frühzeitig typische Unfälle analysiert, Schutzpotenziale erarbeitet und in global verbindlichen SOLAS-Vorschriften[1] vereinheitlicht, einem allgemeingültigen Abkommen zum Schutz menschlichen Lebens auf See. Auch im Flugverkehr gibt es

[1] Engl.: International Convention for the Safety of Life at Sea

einheitliche, streng regulierte Richtlinien für zum Beispiel den Brandschutz, die Evakuierungsmöglichkeiten sowie die Schulung des Begleitpersonals, die weltweit Anwendung finden.

Diese Vereinheitlichung von Rettungsmaßnahmen steht für das Transportmittel Reisebus noch aus, obwohl auch diese längst grenzüberschreitend betrieben werden. Insbesondere bei der Kennzeichnung von Notausgängen und Fluchtwegen sowie bei Vorgaben zum maximal erforderlichen Zeitbedarf für eine Evakuierung unterscheiden sich die Anforderungen an Busse noch signifikant von denen an andere Verkehrsmittel.

Bereits in den Jahren 1985 und 1989 wurde im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen BASt untersucht, welche technischen Möglichkeiten es für Notausstiege gibt [6], auch wurde die Sicherheit von Bussen analysiert [7]. Diese Untersuchungen kamen übereinstimmend zu dem Schluss, dass - auch wenn Kraftomnibusse, zu denen die Reisebusse zählen, gemessen an den unfallfreien Personenkilometern das sicherste Landreisemittel darstellen - dennoch insbesondere im Hinblick auf die Evakuierung noch erhebliches Verbesserungspotenzial besteht.

Der hiermit vorliegende Bericht des Forschungsprojekts „Evakuierung aus Reisebussen“ nimmt diesen Punkt daher erneut auf und umfasst theoretische und statistische Analysen, Computersimulationen sowie Evakuierungsversuche mit Proband:innen in einem gekippten Reisebus.
In diesen Umsturzversuchen wurden bereits die Zusammenhänge zwischen dem erforderlichen Zeitbedarf für eine Busevakuierung und den Unfallparametern wie Sicherheitsgurte, der Art, Größe und Kennzeichnung von Notausstiegen und der Endlage des Busses nach dem Unfall, ersichtlich.
Um deren Auswirkung auf den Evakuierungsprozess detaillierter beschreiben zu können, wurde nachfolgend ein Busabschnitt nachgebaut, mit dessen Hilfe Einzelaspekte gezielt untersucht werden konnten.

2 Vorstudie

2.1 Definition von Kraftomnibussen

Kraftomnibusse (KOM) sind gemäß UNECE Kraftfahrzeuge mit mehr als acht Sitzplätzen außer dem Fahrersitz, welche zur Personenbeförderung genutzt werden. Untergruppen der KOM werden anhand des zulässigen Gesamtgewichts oder nach Anzahl der Sitz- und Stehplätze unterschieden.

2.2 Klassifizierung von Omnibussen gemäß ECE R 107

Nach den Definitionen in der ECE R 107[2] [8] werden alle Fahrzeuge mit mindestens vier Rädern, welche hauptsächlich zur Personenbeförderung ausgelegt sind, der Untergruppe des Typs M zugeordnet. Während kleinere Fahrzeuge mit höchstens acht Sitzplätzen noch als Pkw der Klasse M_1 gelten, werden Fahrzeuge zum Transport von mehr als acht Personen in Abhängigkeit ihres Gesamtgewichts den Klassen M_2 und M_3 zugeordnet. Die Definition der Fahrzeugklassen geht aus der Richtlinie 2018/858[3] [9] hervor:

M_1:	**„**Kraftfahrzeuge mit höchstens acht Sitzplätzen zusätzlich zum Fahrersitz und ohne Stehplätze, unabhängig davon, ob die Anzahl der Sitzplätze auf den Fahrersitz beschränkt ist.“
M_2:	„Kraftfahrzeuge mit mehr als acht Sitzplätzen zusätzlich zum Fahrersitz und mit einer Gesamtmasse von höchstens 5 Tonnen, unabhängig davon, ob diese Fahrzeuge über Stehplätze verfügen.“
M_3:	„Kraftfahrzeuge mit mehr als acht Sitzplätzen zusätzlich zum Fahrersitz und mit einer Gesamtmasse über 5 Tonnen, unabhängig davon, ob diese Fahrzeuge über Stehplätze verfügen.“

Die Einstufung in die Klassen M_2 und M_3 umfasst sowohl Eindeck-Einzelfahrzeuge, Doppelstock-Einzelfahrzeuge, Doppelstock-Gelenkfahrzeuge sowie Fahrzeuge, die speziell der Beförderung von Schülerinnen und Schülern oder zur Verwendung durch die Polizei oder Sicherheits- und Streitkräfte dienen.

---

[2] Die Regulierung ECE R 107 der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen enthält einheitliche Bestimmungen für die Genehmigung von Fahrzeugen der Klassen M_2 und M_3.

[3] Die Verordnung 2018/858 des europäischen Parlaments und des Rates regelt die Genehmigung und die Marktüberwachung von Kraftfahrzeugen.

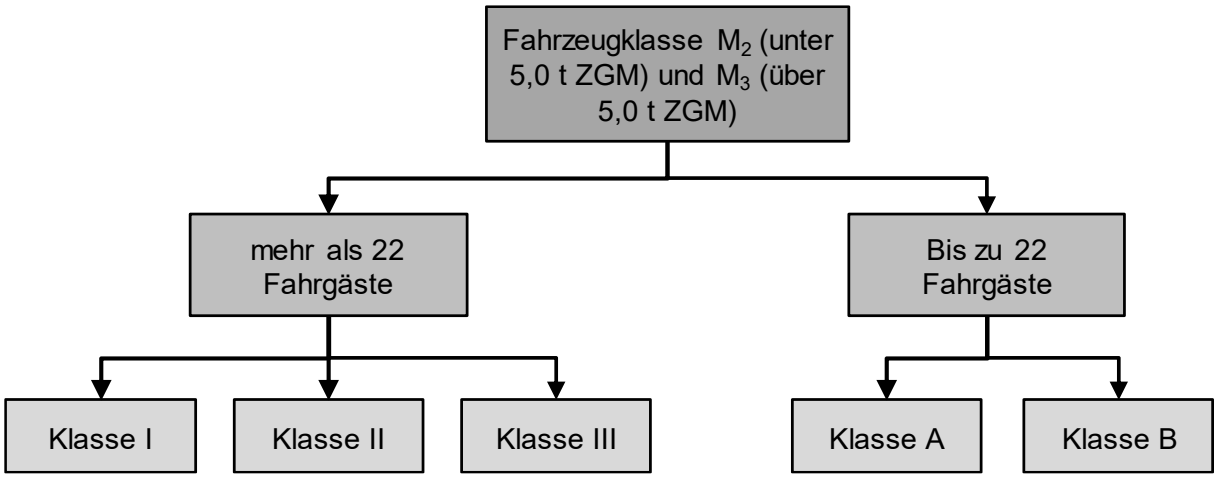


Abbildung 3: Unterteilung des Fahrzeugtyps M

Fahrzeuge mit einer Transportkapazität von mehr als 22 Fahrgästen werden zusätzlich in die Unterklassen I, II oder III eingeteilt. Die Klassen unterscheiden sich in der Art der Beförderung der Passagiere: Fahrzeuge der Klasse I verfügen über Stehplätze, wie sie typischerweise in Linienbussen vorhanden sind. In Fahrzeugen der Klasse II sitzen die Fahrgäste vornehmlich, es können aber ausgewiesene Bereiche für zusätzliche Stehplätze vorhanden sein.
Diese Unterteilung erfolgt bei Fahrzeugen für bis zu 22 Fahrgästen vergleichbar in die Klassen A und B.
Reisebusse sind in der Regel für den Transport von mehr als 22 Fahrgästen vorgesehen und gehören zur Klasse III, da die Passagiere in diesen Fahrzeugen ausschließlich auf Sitzplätzen sitzend transportiert werden.

Tabelle 1: Unterscheidung der Fahrzeugklassen [8], [9]

	Stehplätze	Sitzplätze
Klasse A	✓	✓
Klasse B	×	✓
Klasse I	✓	✓
Klasse II	(✓)	✓
Klasse III	×	✓

2.3 Bestand von Kraftomnibussen der Klassen II und III

Unterstützt durch die Liberalisierung der Fernreisebuslinien im Jahr 2013 werden vermehrt große Reisebusse als Transportmittel für Fernreisen, aber auch Kurz- und Städtefahrten genutzt. Die Analyse des Bestandes an Kraftomnibussen in Deutschland anhand der Statistiken des Statistischen Bundesamts zeigt, dass der Bestand kleiner Omnibusse der Klasse M_2 (bis 5 t) zwischen 2010 und 2020 von 5.437 auf 5.083 Einheiten sank. Bei großen Bussen vom Typ M_3 (mehr als 5 t) ist hingegen ein Anstieg der Fahrzeugzahl um 7,4% von 70.996 auf 76.281 Fahrzeugen zu verzeichnen.

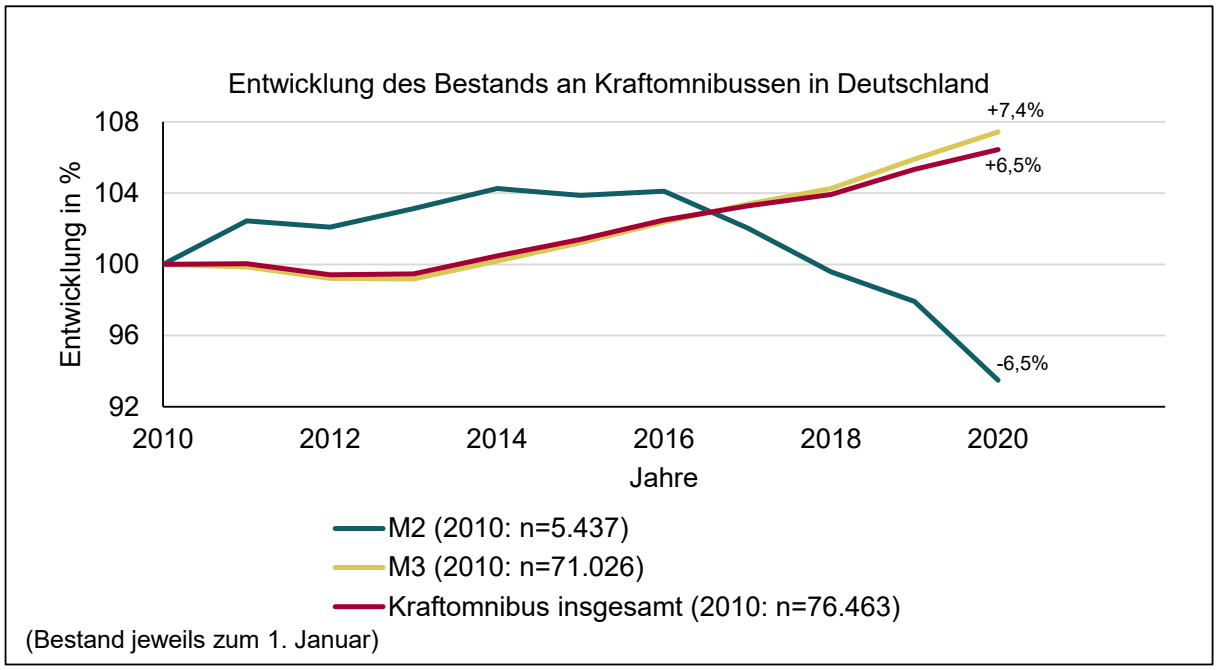


Abbildung 4: Entwicklung des Bestands an unterschiedlichen Kategorien von Kraftomnibussen [10]

2.4 Beteiligung von Omnibussen am Unfallgeschehen

Mit einem vermehrten Einsatz von Kraftomnibussen musste statistisch auch mit einer steigenden Beteiligung an Unfällen gerechnet werden. Die Anzahl sämtlicher Unfälle mit Personenschaden in Deutschland ist gemäß dem Statistischen Bundesamt im Zeitraum zwischen 2009 bis 2019 bei 10% gestiegener Fahrleistung um 4,1% gestiegen. Die Anzahl sämtlicher Unfälle mit Personenschaden mit Beteiligung von Bussen ist im gleichen Zeitraum um 9,1% gestiegen, allerdings aufgrund der

Liberalisierung des Fernbusverkehrs bei einer deutlichen Steigerung der Fahrleistung im gleichen Zeitraum von 36%.
Die Gesamtanzahl aller in Deutschland polizeilich gemeldeten Verkehrsunfällen ist im genannten Zeitraum um 11% gestiegen, die der Unfälle mit Beteiligung von Bussen hingegen trotz des gestiegenen Bestands und der gestiegenen Fahrleistungen nur um 5%. Beide Vergleiche zeigen nochmals, dass Busse zu den vergleichsweise sicheren Verkehrsmitteln zählen.

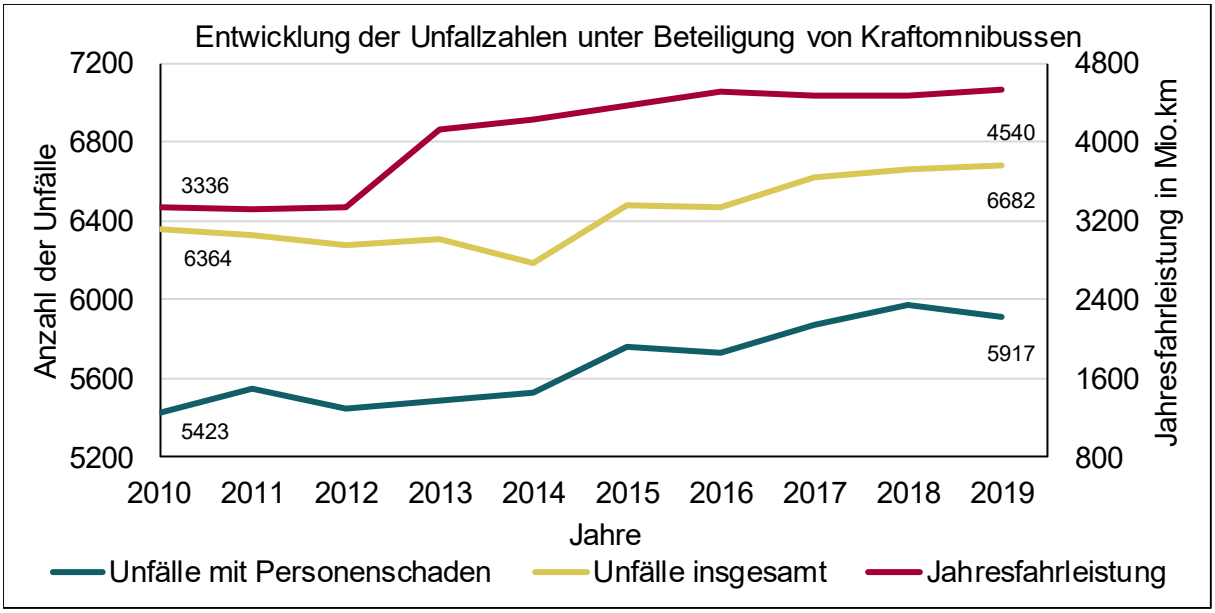


Abbildung 5: Unfallzahlen mit Busbeteiligung [5, S. 136ff]

2.5 Technische Vorgaben für Notausstiegssysteme

Notausstiegssysteme ermöglichen den Businsassen, den Reisebus nach einem Unfall möglichst schnell zu verlassen. Dies kann zum einen über die Ein- und Ausstiegstüren sowie über zusätzliche, nur im Notfall zu öffnende Ausstiegsmöglichkeiten geschehen. Wie rasch die Evakuierung der Businsassen nach einem Unfall erfolgen kann, wird allerdings nicht allein durch die Anzahl der verbauten Notausstiege bestimmt, sondern auch durch deren Bauart.

<u>Notausstiegsarten</u>
Bedingt durch die Vielzahl unterschiedlicher Aufbauarten wie zum Beispiel einstöckige Reisebusse, Hochdecker-Reisebusse, Doppeldeck-Reisebusse oder Gelenk-

Stadtbusse, variieren auch die Arten der vorgesehenen Notausstiege. Alle derzeit relevanten Notausstiegsarten nach ECE R 107 werden nachfolgend aufgelistet.

Betriebst r	„Eine Tür, die von den Fahrgästen im Normalfall benutzt wird, wenn der Fahrer auf seinem Platz sitzt“
Notfenster	„Ein von den Fahrgästen nur im Notfall als Ausstieg zu benutzendes Fenster, das nicht unbedingt verglast sein muss“
Dachluke/ Notluke	„Eine Öffnung im Dach oder Boden, die den Fahrgästen nur im Notfall als Notausstieg dient“
Nott r	„Eine Tür, die von den Fahrgästen nur ausnahmsweise und insbesondere im Notfall als Ausstieg benutzt werden soll“

Wie schnell eine Evakuierung eines Reisebusses nach einem Unfall erfolgen kann, wird nicht nur über die Anzahl der verbauten Notausstiege bestimmt, sondern auch anhand von Notausstiegsmerkmalen wie Größe und Anordnung, Art und Handhabung sowie der Nutzbarkeit des Notausstiegs in verschiedenen Endlagen des Busses nach dem Unfall (geradestehend, schräg gekippt, seitlich oder auf dem Kopf liegend).

Daher wurden in der Richtlinie ECE R 107 die jeweils zulässigen und verpflichtenden Notausstiegsarten aufgeführt und Anforderungen an zum Beispiel die Mindestabmaße für alle Betriebstüren und Notausstiege definiert. So erfüllt jede Betriebstür auch die Voraussetzungen an eine Nottür und gilt somit als Notausstieg, wohingegen nicht jede Nottür zwangsläufig alle Bedingungen einer Betriebstür erfüllen muss.

Tabelle 2: Übersicht aller gemäß ECE R 107 zulässigen und verpflichtenden Notausstiege für M_3 Busse

	ECE R 107				
	Betriebstür	**Nottür**	**Notfenster**	**Dachluke**	**Bodenluke**
Zulässig	✓	✓	✓	✓	✓
Pflicht	1	1	1	1	0

2.5.1 Mindestanzahl von Notausstiegen

Im Geltungsbereich der ECE R 107 ist die Mindestanzahl der Notausstiege an die Anzahl der Sitzplätze geknüpft, wobei auch Sitzplätze für das Fahrpersonal eingeschlossen werden:
Ist der Fahrerraum des Fahrpersonals vom Passagierraum abgetrennt, so muss der Fahrerraum zwei separate Notausstiege aufweisen, die sich nicht auf der gleichen Fahrzeugseite befinden dürfen.
Bei den Notausstiegen im Passagierraum wird zwischen einzelnen Fahrgastebenen differenziert: So besitzt ein Doppeldeckfahrzeug zwei Fahrgastebenen, wobei jede der Ebenen die Mindestanzahl der Notausstiege für die darin befindliche Anzahl der Sitzplätze vorhalten muss.
Tabelle 3 gibt für Kraftomnibusse an, wie viele Notausstiege je Fahrgastebene in Abhängigkeit von der Fahrgastanzahl vorzuhalten sind:

Tabelle 3: Mindestanzahl an Notausstiegen gem. ECE R 107

Anzahl der Insassen	1-8	9-16	17-30	31-45	46-60	61-75	76-90	91-110	111-130	> 130
Notausstiege	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

2.5.2 Mindestgröße von Notausstiegen

Um eine rasche Evakuierung des Kraftomnibusses zu ermöglichen, sind auch Vorgaben für die erforderlichen Abmessungen der Notausstiege definiert worden. Im Geltungsbereich der ECE R 107 haben Notausstiege folgende Mindestmaße aufzuweisen:

Tabelle 4: Mindestanforderungen an Notausstiege gem. ECE R 107

Notausstiegsart	Mindestfläche	Mindestmaße		
		Länge	x	Breite
Betriebstür	-	1,50 m	x	0,65 m
Nottür	-	1,45 m	x	0,60 m
Dachluke/Bodenluke	0,45 m²	0,60 m	x	0,70 m
Notfenster	0,40 m²	0,50 m	x	0,70 m
Heckfenster	-	1,55 m	x	0,35 m

Bei den beschriebenen Abmessungen fällt auf, dass für die Dach- und Bodenluke sowie für das Notfenster sowohl Mindestmaße bezüglich der Fläche als auch der Kantenlängen gelten. Die ausschließliche Definition neuer Mindestmaße in Länge und Breite wäre hier sinnvoller.

2.5.3 Anordnung von Notausstiegen

Im Hinblick auf eine Busevakuierung ist von besonderer Bedeutung, wie die Notausstiege über die Fahrzeuglänge verteilt sind und wie deren Einbaulage ist. So wird in den Richtlinien der ECE R 107 auch vorgegeben, an welchen Stellen die einzelnen Notausstiege zu positionieren sind, beziehungsweise welche Art von Notausstieg an der einzelnen Position jeweils vorgesehen werden muss.
Zur Reduzierung des Risikos, beim Verlassen des Busses von einem anderen Verkehrsteilnehmer erfasst zu werden, schreibt die ECE R 107 vor, dass sich die Betriebstüren auf der fahrbahnabgewandten Seite befinden müssen. Übersteigt die Fläche des Fahrgastraums 10 m², ist eine zweite Betriebstür vorzusehen.
Die Notausstiege hingegen sind auf beiden Seiten und über die gesamte Länge des Fahrzeuges gleichwertig aufzuteilen. Mögliche Ausnahmen greifen erst dann, wenn das Fahrzeug mehr Notausstiege vorweist als sie durch die Norm vorgeschrieben sind.

Weiterhin gilt für die Positionierung der Notausstiege in einem M_3-Kraftomnibus der Klasse III:

1. Eine Betriebstür muss in der vorderen Hälfte des Fahrzeuges angeordnet sein. Die Position der zweiten Tür ist frei wählbar, der Abstand zur anderen Betriebstür muss 40% der Gesamtlänge des Fahrzeuges entsprechen.

2. Die Dachluke ist im mittleren Drittel des Fahrzeuges zu platzieren. Stehen mehr als 30 Sitzplätze zur Verfügung, ist eine weitere Dachluke erforderlich, wobei der kürzeste Abstand zwischen den beiden Luken nicht weniger als zwei Meter betragen darf.
3. Gemäß Unterpunkt 7.6.2.5. der ECE R 107 muss sich zudem ein weiterer Ausstieg auf der Rückseite oder auf der der Vorderseite des Fahrzeuges befinden.

Während die ersten beiden Anforderungen problemlos von den Herstellern erfüllt werden können, stellt die dritte Anforderung eine technische Herausforderung dar. Die Heckscheibe ist oft als Notausgang deklariert, wird allerdings immer öfter durch Anbauten auf dem Fahrzeugheck (Koffer- oder Fahrradträger) blockiert, so dass auch bei einer Endlage im 90° Winkel eine Evakuierung deutlich erschwert würde.
Aus diesem Grund sollte auch die Frontscheibe als potenzielle Position für einen Notausgang in Betracht gezogen werden. Diese Maßnahme würde auch die Fremdrettung erleichtern, da Rettungskräfte unmittelbar nach Ankunft bei einem verunfallten Bus vorrangig die Frontscheibe unter Einsatz von Spezialwerkzeug als großflächigen und fast ebenerdigen Ein- und Ausstieg nutzbar machen.
Allerdings existieren Unfallsituationen, in denen aufgrund eines Auffahrunfalls die Frontscheibe nicht als Notausstieg nutzbar ist. In diesem Fall sind die Insassen auf den Heckausstieg angewiesen, so dass letztendlich gefordert werden muss, dass die Front- und die Heckscheibe für die Insassen als Notausstiege verfügbar sein müssen und nicht durch Anbauten verdeckt werden dürfen.

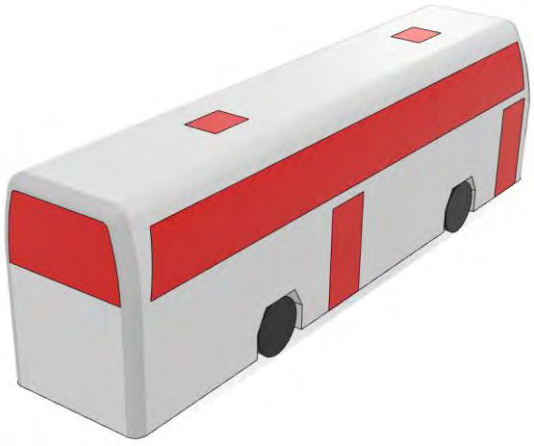


Abbildung 6: Verfügbare Notausstiege eines Reisebusses

2.5.4 Kennzeichnung von Notausstiegen

Gemäß ISO - Norm 3864-1:2011 [11] müssen Fenster und Türen (ausgenommen die Fahrgast- und Fahrzeugführertüren) deutlich gekennzeichnet werden, wenn sie als Notausstiege genutzt werden sollen. Dabei dürfen alle Sicherheitszeichen nur die relevanten Sicherheitsinformationen beinhalten und müssen diesen entsprechen. Sie dürfen ergänzend zu Piktogrammen auch Zahlen und Buchstaben enthalten, müssen jedoch stets leicht nachvollzogen werden können. Piktogramme sind so zu gestalten, dass die zum Betätigen der Öffnungseinrichtung erforderliche Handlung durch den relevanten Körperabschnitt der Person sowie der Gegenstand selber abgebildet ist.
Für den Fall einer einzuschlagenden Abdeckung wird somit eine sich bewegende Hand und die Abdeckung als Gegenstand gezeigt. Sind mehrere Arbeitsschritte erforderlich, so sind diese mit Nummerierungen zu versehen. Piktogramme müssen sowohl von innen wie auch von außen bei Tag und Nacht eindeutig zu erkennen sein. In der Norm wird jedoch keine Aussage gemacht, in welcher Lage des Busses diese Piktogramme eindeutig zu erkennen sein müssen. Eine seitlich im oberen Bereich des Heckfensters positionierte Kennzeichnung als Notausstieg kann, zum Beispiel außerhalb des Blickfelds der Insassen liegen, wenn der Bus nach einem Unfall auf der Seite liegt.
Daher wäre es sinnvoll, eine Notausstiegsöffnung auch bei einer Seitenlage des Fahrzeugs eindeutig als Notausstieg kenntlich zu machen.
Im Dachbereich der Reisebusse werden vermehrt große Glasflächen vorgesehen, von denen einzelne (oft nicht alle) als Dachluke vorgesehen sind. Hier ist eine eindeutige Kennzeichnung der Dachluke notwendig, damit intuitiv und auch unter Stress die richtige Öffnung als Notausstieg identifiziert werden kann.
Ebenso müssen Kraftomnibusse der Klasse II, III und B mit einem Notbeleuchtungssystem ausgestattet sein, welches im Falle eines Unfalls automatisch eingeschaltet wird oder manuell vom Fahrer/der Fahrerin aktiviert werden kann. Die Beleuchtungsstärke muss an Zugangswegen und Gängen unter jeder Beleuchtungseinheit auf einer Höhe von 750 mm über dem Fahrgastboden mindestens 10 Lux betragen. Auf der Mittellinie aller Zugangswege und Gänge und auf der Mitte jeder Stufe auf Stufenhöhe muss die Beleuchtungsstärke auf

Bodenebene noch 1 Lux betragen. Das System muss nach Aktivierung für mindestens 30 Minuten eingeschaltet und funktionsfähig bleiben.
Ist der Fahrer/die Fahrerin allerdings als Folge einer plötzlichen Gesundheitsstörung oder einer Kollision dazu nicht in der Lage, bleibt das Notbeleuchtungssystem gegebenenfalls deaktiviert, sodass für die Insassen bei Dunkelheit weder der Mittelgang noch die Treppenstufen und die Kennzeichnung von Notausgängen sichtbar sind.

2.6 Evakuierung aus Verkehrsmitteln

Für Flugzeuge, Eisenbahnen und Schiffe wurden verbindliche Vorgaben über die Mindestanzahl der Notausstiege und eine maximale Zeit zur Evakuierung pro Passagier erarbeitet und international festgelegt. Für Busse existieren bislang lediglich Vorgaben zur Mindestanzahl an Notausstiegen, jedoch keine einheitlichen oder verbindlichen Vorgaben bezüglich der Evakuierungszeit.

2.6.1 Evakuierung aus Flugzeugen

Damit im Notfall eine schnelle Evakuierung möglich ist, muss jeder Besatzungs- und Fahrgastraum über Notfallfluchtwege verfügen, welche sowohl mit eingezogenem als auch ausgefahrenen Fahrwerk benutzbar sein müssen. Sind mehr als 44 Passagierplätze verfügbar, schreibt die Leistungsforderung an das Notausstiegssystem vor, dass das Flugzeug bei maximaler Besetzung inklusive aller Besatzungsmitglieder innerhalb von 90 Sekunden evakuiert sein muss. Die Erfüllung der Anforderung ist in einem Evakuierungstest nachzuweisen [12]. Die Einweisung in Passagiere in die Sicherheitssysteme und den Evakuierungsprozess vor jedem Start ist verpflichtend, die Evakuierung selbst erfolgt auf Anleitung der Besatzung.

2.6.2 Evakuierung aus Eisenbahnen

Die Anzahl der Waggontüren und deren Abmessungen soll die vollständige Evakuierung der Fahrgäste ohne Gepäck innerhalb von maximal drei Minuten ermöglichen. Dabei wird vorausgesetzt, dass Fahrgästen mit eingeschränkter Mobilität geholfen wird und dass Rollstuhlfahrer ohne ihren Rollstuhl evakuiert wird. Auch diese Erfüllung der Anforderung ist in einem Evakuierungstest nachzuweisen [13]. Die

Evakuierung muss von den Passagieren eigenständig initiiert und organisiert werden können, da nicht in jedem Abteil Besatzung verfügbar ist.

2.6.3 Evakuierung von Schiffen

Aufgrund der weitaus höheren Passagierkapazität und der Komplexität des Vorgangs wird für die Evakuierung von Schiffen mehr Zeit benötigt. In einem Beschluss des Maritime Safety Committee (MSC)[4] ist die Berechnungsgrundlage der kalkulierten Evakuierungszeit angegeben: die maximale Dauer für Passagierschiffe mit höchstens drei vertikalen Hauptzonen liegt bei 60 Minuten, für größere Passagierschiffe bei 80 Minuten Evakuierungsdauer [14].

Tabelle 5: Evakuierungsvorgaben unterschiedlicher Verkehrsmittel

Verkehrs-mittel	Evakuierungs-zeitrahmen	Passagieranzahl	Rechnerische Evakuierungszeit pro Person	Richtlinie
Bus	- nicht festgelegt - Erfahrungswerte etwa 3 Min	- Standartreisebus bis ca. 60 - Doppeldecker max. ca. 91	- etwa 2,0 Sek/Person	
Flugzeug	- max. 90 Sek bei maximaler Passagierzahl inkl. Crew	- Airbus A380 max. ca. 900	- etwa 0,1 Sek/Person	- Easy Access Rules for Large Aeroplanes (CS-25)(Amendment 21)
Eisenbahn	- max. 3 Min ohne Gepäck	- pro Wagen bei ICE 4 und 200% Auslastung 176	- etwa 1,0 Sek/Person	- VERORDNUNG (EU) Nr. 1302/2014 DER KOMMISSION vom 18. November 2014
Schiff	- je nach Aufteilung/Größe 60 bzw. 80 Min - Rettungsboote voll besetzt und bereit zum Aussetzen nach 30 Min	- auf Megalinern bis zu 8500	- etwa 0,6 Sek/Person	- MSC.1/Circ.1533, 2016

Um eine Vergleichbarkeit herzustellen, kann die Gesamtdauer der Evakuierung mit der Anzahl der Passagiere verrechnet werden. So beträgt die rechnerische Evakuierungszeit pro Person bei großen Linienflugzeugen etwa 0,1 Sekunden.

[4] Der **Schifffahrtssicherheitsausschuss (MSC)** befasst sich unter anderem mit der Sicherheit im Seeverkehr, welche die Passagierschiffe und alle Handelsschiffe betrifft

Selbst bei großen Schiffen kann bei der vorgeschriebenen Evakuierungszeit von 80 Minuten eine Dauer von 0,6 Sekunden pro Person ermittelt werden. Vergleichbar wird im Bereich der Eisenbahn in der europaweit festgelegten Norm eine Evakuierungszeit von 1,0 Sekunden pro Person vorgegeben.

2.6.4 Evakuierung aus Reisebussen

Ein Rettungsdienst berichtete in einer Diskussion von früheren Evakuierungsversuchen mit einem vollbesetzten und aufrechtstehenden Reisebus mit einer Evakuierungsdauer von ca. 3 min. An diesen Versuchen hatten allerdings keine älteren (mehr als 60 Jahre) oder mobilitätseingeschränkten Personen teilgenommen. Bei einer Kapazität von ca. 60 Sitzplätzen würde das eine Zeit von etwa 2,0 Sekunden pro Person bedeuten. Angesichts der steigenden Bedeutung von Reisebussen in zukunftsorientierten Mobilitätskonzepten sollten für dieses Verkehrsmittel ebenfalls normative Anforderungen an Rettungsmittel und -wege sowie auch für den Evakuierungsprozess definiert werden, um einen hohen Sicherheitsstandard zu gewährleisten und damit eine hohe Akzeptanz bei den Kunden zu erreichen.

3 Analyse von Verkehrsunfällen mit Reisebussen

Reisebusse sind sichere Verkehrsmittel, wie die Unfallstatistik in Kapitel 2.4 gezeigt hat. Aufgrund des vermehrten Einsatzes der Busse insbesondere seit 2013 liegen jedoch mittlerweile zahlreiche Informationen zu Verkehrsunfällen unter Beteiligung von Reisebussen vor, die im Rahmen dieses Projekts untersucht werden sollen.
Als Datenquelle für diese Unfallanalyse standen zwei Quellen zur Verfügung. Ein Teil der Daten wurde der Unfalldatenbank der Versicherer (UDB) entnommen, ein weiterer Teil stammt aus einer eigenen Internetrecherche. Alle Datensätze wurden in eine gemeinsame Datenbank überführt und beinhalteten final zahlreiche unfallspezifische Merkmale, wie unter anderem die Art der Kollision, Unfallort, Witterungs- und Straßenverhältnisse und Anzahl der Fahrgäste. Während bei diesen Unfallanalysen jedoch vornehmlich der Unfallhergang betrachtet wird, fehlen oft wichtige Informationen zur Eigen- und Fremdrettung. Einige Datensätze lassen jedoch Schlussfolgerungen auf die Evakuierung zu, insbesondere bei einer Fotodokumentation der Endlage des Busses kann eine Einschätzung über einerseits die verfügbaren und die im Rahmen der Evakuierung tatsächlich verwendeten Notausstiege gemacht werden.



Abbildung 7: Beispiel für Beschädigungsbild mit nicht mehr nutzbaren Betriebstüren nach Kollision

3.1 Datenbestand

Die Datenbasis umfasste zum Zeitpunkt der Untersuchung 163 Datensätze zu Unfällen aus den Jahren 2010-2021 in Europa, wobei 63% der Busunfälle frei zugänglichen Quellen wie dem Internet entnommen wurden. Hierbei wurden auch Brandereignisse ohne Kollision mit aufgenommen, da Reisebusse auch bei Brandereignissen evakuiert werden müssen. Diese sind in der Verkehrsunfallstatistik des Statistischen Bundesamtes nicht zu finden, da sie deren Kriterien eines Straßenverkehrsunfalls nicht entsprechen. [5, S. 10f]

Der zur Verfügung stehende Datenbestand enthält ausschließlich Busunfälle von linksgelenkten Bussen. Diese haben unterschiedliche Aufbauarten, sind also beispielsweise einstöckige Reisebusse, Doppelstock-Reisebusse sowie Stadtbusse. Da bei der Analyse ausschließlich Reisebusse betrachtet werden sollten, wurden die anderen Aufbauarten bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

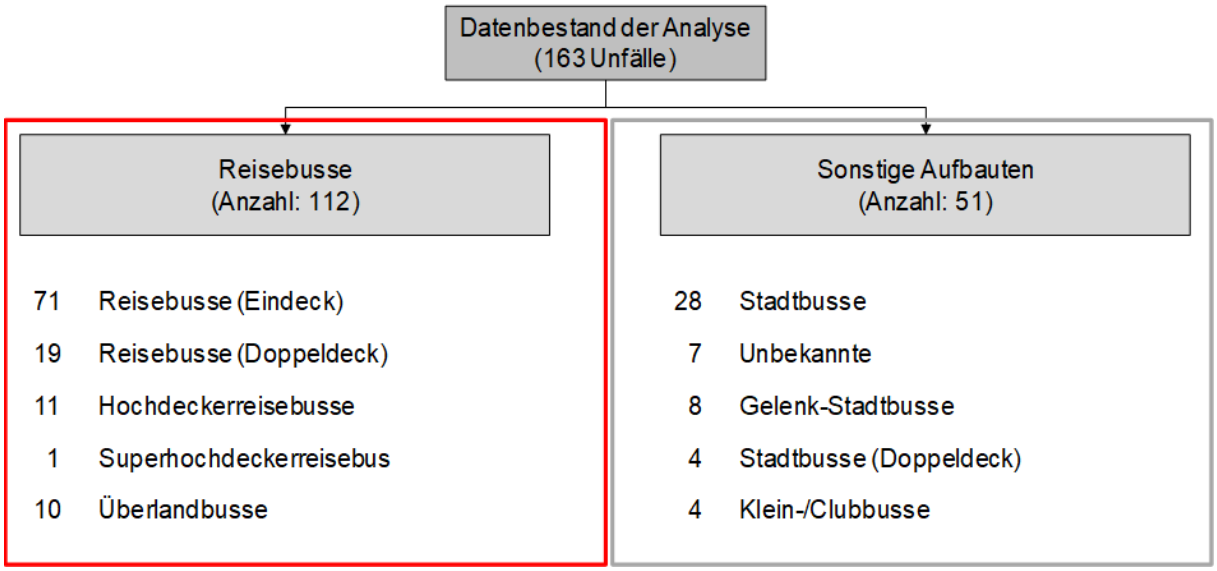


Abbildung 8: Übersicht des Datenbestands der Datenbank

Alle verfügbaren Informationen zu den Unfällen wurden in vier Ebenen gegliedert, so dass neben unfallanalytischen auch evakuierungsrelevante Merkmale strukturiert vorlagen.

Tabelle 6: Strukturierungsebenen der Unfalldatenbank

Unfall-Ebene	Beinhaltet alle äußeren Umstände zum Unfall, wie dem Unfalldatum, der Straßenklasse, etc.
Bus-Ebene	Den Bus betreffende Daten wie zum Beispiel das Alter und der Zustand des Fahrzeugs, unfallspezifische Informationen wie die Endlage, Beschädigungen, Kollisionsgegner, etc.
Insassen-Ebene	Insassenspezifische Informationen wie Alter, Geschlecht, etc.
Evakuierungs-Ebene	Informationen, welche Aufschlüsse über die Busevakuierung geben, wie zum Beispiel die noch verfügbaren Notausstiege

3.2 Alter und Geschlecht der Businsassen

Das Alter von Personen hat einen großen Einfluss auf die Kraft und Beweglichkeit, Eigenschaften, die bei einer Evakuierung gegebenenfalls von großer Bedeutung sein können. Die Unfalldatenbank der Versicherer (UDB) weist für 27 Reisebusunfälle das Alter und Geschlecht von insgesamt 354 Insassen aus, für weitere 34 Personen konnte über die Unfalldokumentationen im Internet das Alter bestimmt werden, so dass zu insgesamt 388 Insassen das Alter vorlag, welches zur weiteren Analyse in folgende Altersgruppen eingeteilt wurde:

- bis einschließlich 15 Jahre
- 16 bis einschließlich 25 Jahre
- 26 bis einschließlich 45 Jahre
- 46 bis einschließlich 65 Jahre
- älter als 65 Jahre

Die Kategorie der Personen bis einschließlich 15 Jahre beinhaltet Kinder bzw. Schüler:innen, welche einen Reisebus vorrangig für Ausflugs- und Schulfahrten nutzen.
Jugendliche und junge Erwachsene im Alter von 16 bis 25 Jahre, die den Reisebus nutzten, können sowohl Schüler:innen auf Ausflugs- und Schulfahrten gewesen sein, aber auch Auszubildende und Studierende, welche die Reisebusangebote für ihre Zwecke nutzen. Diese Gruppe verfügt oft noch nicht über ein eigenes Fahrzeug und nutzt daher vermehrt eigenständig das Fernbusangebot für Fern- und Auslandsreisen.

Die beiden Altersabschnitte der 26- bis 65-Jährigen umfassen die in der Regel berufstätigen Generationen bis zum Eintritt in die Rente, die Reisebusse für Veranstaltungsfahrten, Fern-, Städte- und Auslandsreisen nutzt, wobei der Abschnitt des mittleren Alters nochmals unterteilt wurde. Die letzte Gruppe bezieht sich auf die Personen im höheren Erwachsenenalter. Besonders diese nutzt den Reisebus häufig als Gruppenreisemittel [15] .

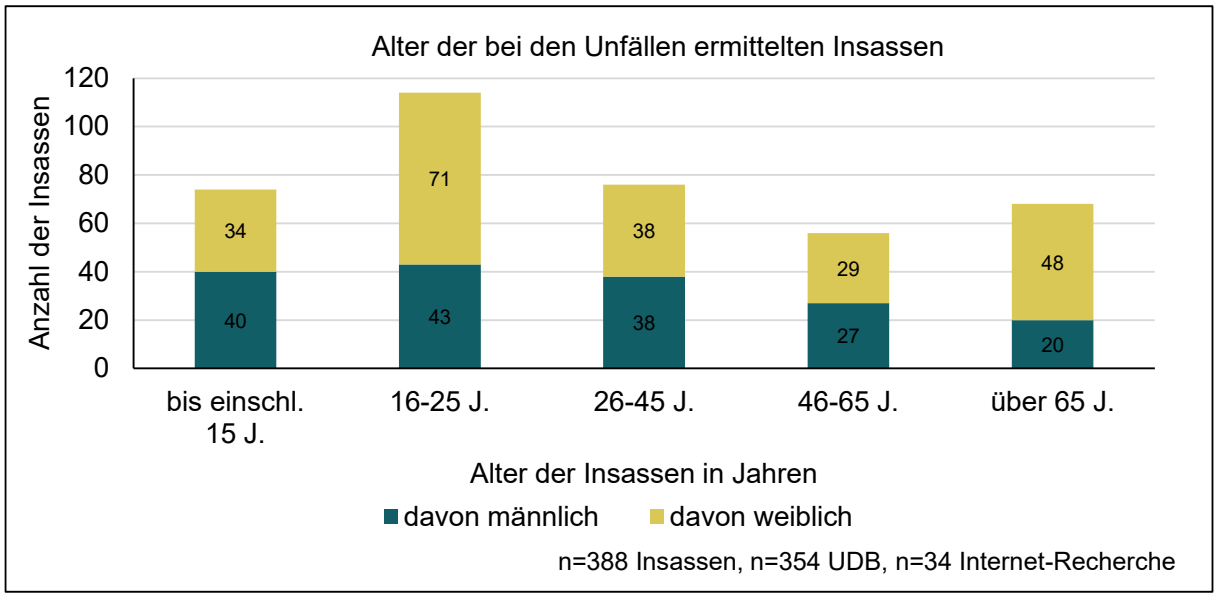


Abbildung 9: Alter der Insassen bei Unfällen

3.3 Auswertung nach Endlage des Busses

Nach einem Unfall ist die Endlage des Busses ausschlaggebend für den Evakuierungsprozess, denn aus ihr folgt, welche Ausstiegsöffnungen nach einem Unfall blockiert und somit nicht nutzbar sind beziehungsweise welche Ausstiege für Insassen und Rettungskräfte gefahrenfrei und sinnvoll für die Evakuierung zur Verfügung stehen [6].

Prinzipiell können folgende Endlagen unterschieden werden:

- Der Bus steht weiterhin aufrecht
- Der Bus weist (zum Beispiel aufgrund des Abkommens von der Straße) eine Seitenlage mit einem bestimmten Kippwinkel auf[5]

[5] Bezugsachse zur Winkelbestimmung ist die Senkrechte, wobei der Bus um seine Längsachse gekippt sowohl links- als auch rechtsseitig eine Endlage unter dem Winkel > 0° und < 180° einnehmen kann.

- Der Bus befindet sich nach einer Drehung um die Längsachse in einer Dachlage

Aus 62 der 112 analysierten Unfallberichte von Reisebussen konnte die finale Endlage eindeutig ermittelt werden. In 39 dieser Unfälle stand der Bus nach dem Unfall noch aufrecht, dieses war eine Lage im Winkel zwischen 0° und 19° die am häufigsten vorliegende Endlage.
Als zweithäufigste Endlage wurde in 18 Fällen ein Kippwinkel zwischen 80° und 99° ermittelt, in diesem Bereich stürzte der Reisebus in 15 von 18 Fällen in die 90° Endlage um. In zwölf dieser 18 Fällen stürzte der Bus auf die rechte Seite, sodass die Betriebstüren nicht für den Evakuierungsvorgang genutzt werden konnten, stattdessen mussten Dachluken und Front-/Heckscheiben für den Notausstieg genutzt werden.
Die dritthäufigste Endlage liegt im Kippbereich zwischen 20° und 39°. In dieser Schräglage fällt es außerordentlich schwer, sich im Bus voran zubewegen und einen Notausstieg zu erreichen, was den gesamten Evakuierungsprozess verzögert (siehe Kapitel 7.3.2).

Tabelle 7: Anzahl der auswertbaren Unfälle nach Endlagen

Anzahl der auswertbaren Unfälle nach Endlagen		
0° - 19°	20° - 39°	80° - 99°
39 Unfälle	5 Unfälle	18 Unfälle

3.3.1 Nach Unfall verfügbare Notausstiege

Auf Basis des Datenmaterials wurde in einem weiteren Schritt analysiert, welche Notausstiege bei der Evakuierung für die Eigen- oder Fremdrettung tatsächlich nutzbar waren. Folgende Notausstiege wurden bei der Auswertung berücksichtigt:

- Betriebstür vorne
- Betriebstür hinten
- Fahrertür (falls vorhanden)
- Frontscheibe
- Seitenscheiben
- Heckscheibe
- Dachluken

Die Analyse der Verfügbarkeit der Notausstiege erfolgte nur bei Endlagen zwischen 0° und 100°, da bei den übrigen Unfällen mit der Endlage größer als 100° die Busstruktur in der Regel so stark deformiert war, dass die Dokumentationen keine Aussage über genutzte beziehungsweise verfügbare Notausstiege zuließen.

3.3.2 Genutzte Notausstiege bei Endlagen zwischen 0° und 19°

Auf Basis des Bildmaterials wurde ermittelt, welche Ausstiege von den Insassen oder den Fremdrettern genutzt wurden. Dabei wurden offene Türen und Luken sowie eingeschlagene Fensterscheiben als ein „genutzter“ Notausstieg bewertet.
Wie Abbildung 10 zeigt, standen nach Reisebusunfällen mit einer Endlage 0° bis 19° vorwiegend noch beide Betriebstüren und die Seitenfenster als Ausstiegsöffnung zur Verfügung.
Bei den untersuchten Frontalunfällen wurde die vordere Betriebstür oft so beschädigt, dass die hintere Betriebstür die primär genutzte Notausstiegsöffnung darstellte, zumal sie von den mittleren und hinteren Sitzplätzen besser erreichbar ist.
Weiterhin ist auffällig, dass trotz aufrechter Endlage die Frontscheibe in drei Fällen geöffnet wurde. Hier kann von einer Fremdrettung durch die Feuerwehr ausgegangen werden, da Frontscheiben in Bussen in der Regel aus Verbundsicherheitsglas bestehen, welches von den Insassen nicht von innen zur Selbstrettung zerstört werden kann. Auch die Heckscheibe als weitere großflächige Notöffnung wurde nur zweimal als Ausstieg genutzt, was unter anderem mit der beträchtlichen Höhendifferenz zwischen Fensterrahmenunterkante und Untergrund erklärt werden kann.

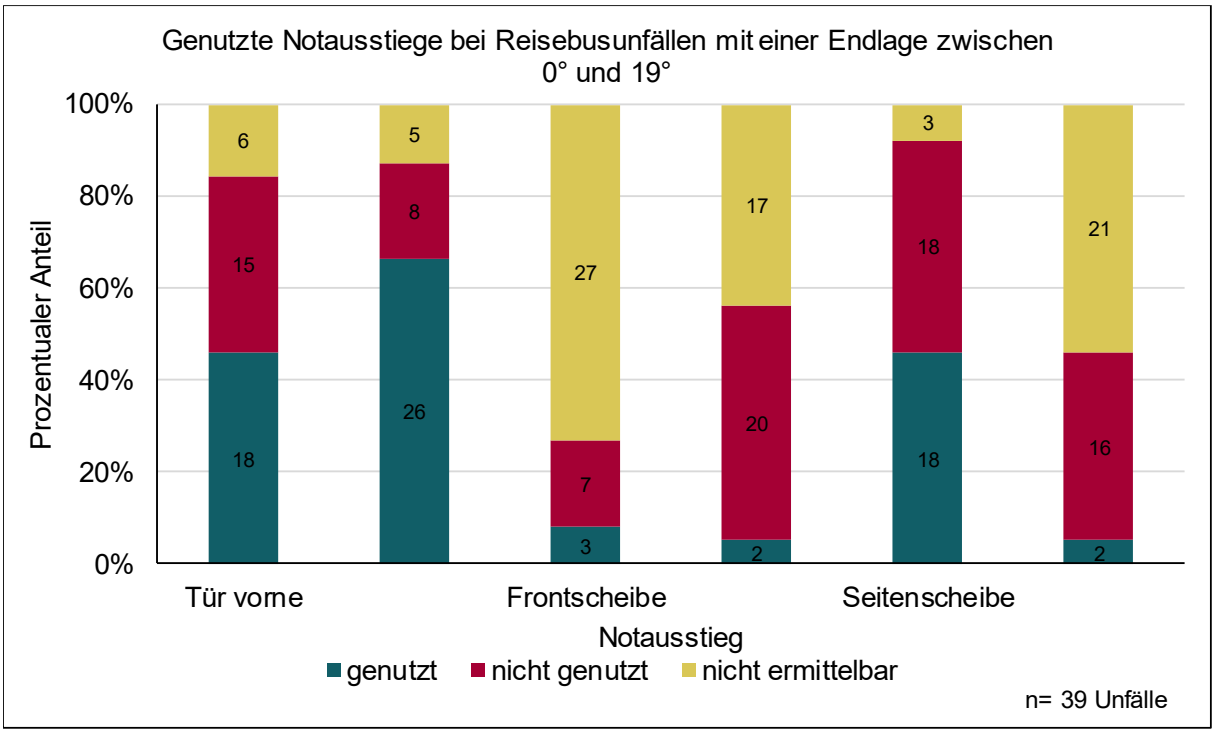


Abbildung 10: Genutzte Notausstiege bei Reisebusunfällen mit einer Endlage zwischen 0° und 19°

3.3.3 Genutzte Notausstiege bei Endlagen zwischen 20° und 39°

Während die Betriebstüren vorne und hinten in drei von den fünf Unfällen zum Ausstieg genutzt wurden, wurde die Dachluke lediglich zweimal genutzt. In drei von fünf Unfällen wurde die Frontscheibe geöffnet und stand zur Evakuierung zur Verfügung. Bei zwei der auswertbaren fünf Unfälle mit dieser Endlage kippte der Bus nach dem Abkommen von der Fahrbahn einen Hang hinunter, bevor dieser zur Ruhe kam. Bei beiden Unfällen waren die Beschädigungen im Bereich des Fahrgastraums so groß, dass nur bedingt Aussagen über effektiv genutzte Notausstiege getroffen werden konnten.

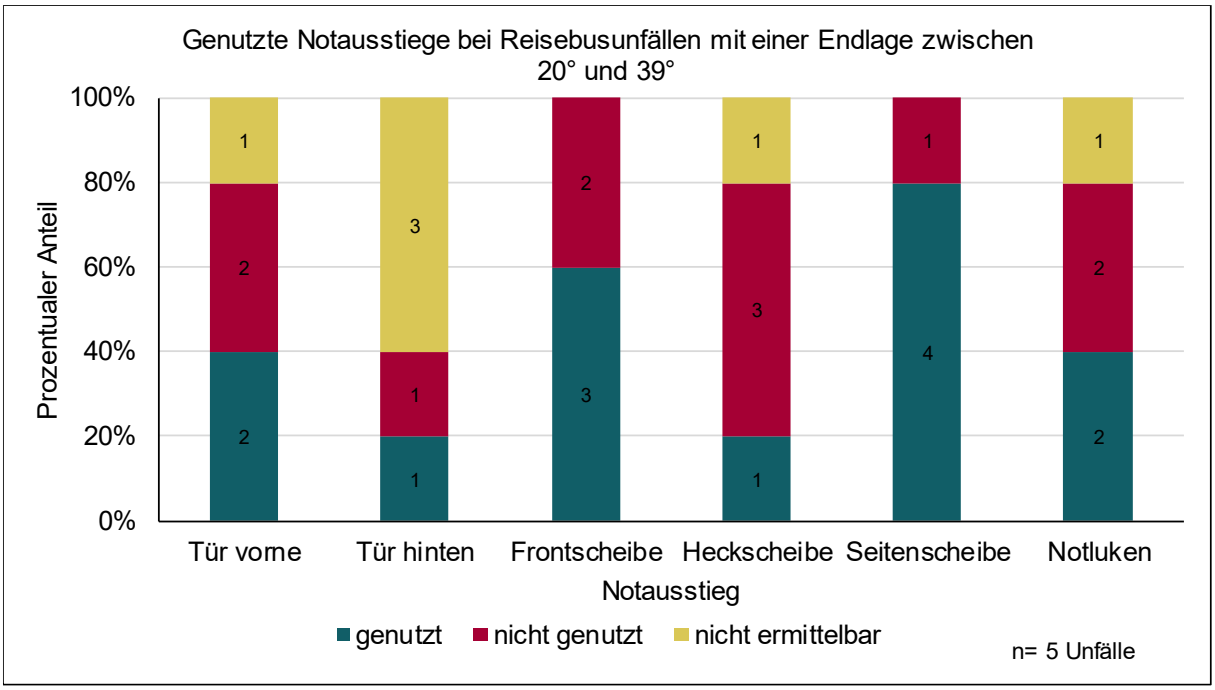


Abbildung 11: Genutzte Notausstiege bei Reisebusunfällen mit einer Endlage zwischen 20° und 39°

3.3.4 Genutzte Notausstiege bei Endlagen zwischen 80° und 99°

Bei den 18 Unfällen mit der Endlage im Bereich von 80° bis 99° lag der Bus in zwölf Fällen, also zwei Drittel, auf der rechten Seite, in sechs Fällen lag der Bus auf der linken Seite.

Falls der Bus auf der linken Seite liegt, könnten die dann oben liegenden Betriebstüren zwar mit einem gesetzlich vorgeschriebenen Drehschalter drucklos geschaltet und anschließend von Hand geöffnet werden. Diese Möglichkeit zum Ausstieg wurde jedoch in keinem der sechs untersuchten Unfälle genutzt. Die oben liegenden Seitenfenster der rechten Fahrzeugseite wurden in vier der sechs Fälle als Notausstiegsmöglichkeit genutzt, Es war jedoch nicht zu bestimmen, ob die Scheiben zur Rettung oder zur Fremdrettung geöffnet wurden. Allerdings würden die Insassen nach der schwierigen manuellen Öffnung der Scheiben nur auf die rechte Seitenwand des Fahrzeugs in 2,5 m Höhe gelangen, von wo aus ohne Fremdretter (mit Leitern) eine Evakuierung nur schwierig erfolgen kann.

Bei Endlage des Busses auf der rechten Seite sind die Betriebstüren blockiert.

Bei diesen beiden Endlagen standen also als sinnvolle Evakuierungsöffnungen ausschließlich die Front- sowie Heckscheibe und die Dachluken zur Verfügung.

Besonders häufig wurde im Bildmaterial die Frontscheibe als offener Ausstieg erkannt, diese wurde in 81% der Unfälle zur Evakuierung genutzt. Jedoch kann eine Öffnung der Verbundglasscheibe durch die Insassen nahezu ausgeschlossen werden, diese wird also von Fremdrettern geöffnet worden sein.
Im Gegensatz zur Frontscheibe kann die Heckscheibe von den Insassen selber zerstört werden und bietet in diesen Endlagen nach der Zertrümmerung einen fast ebenerdigen Ausstieg. Diese Option wurde auch in 50% dieser Endlagen genutzt.

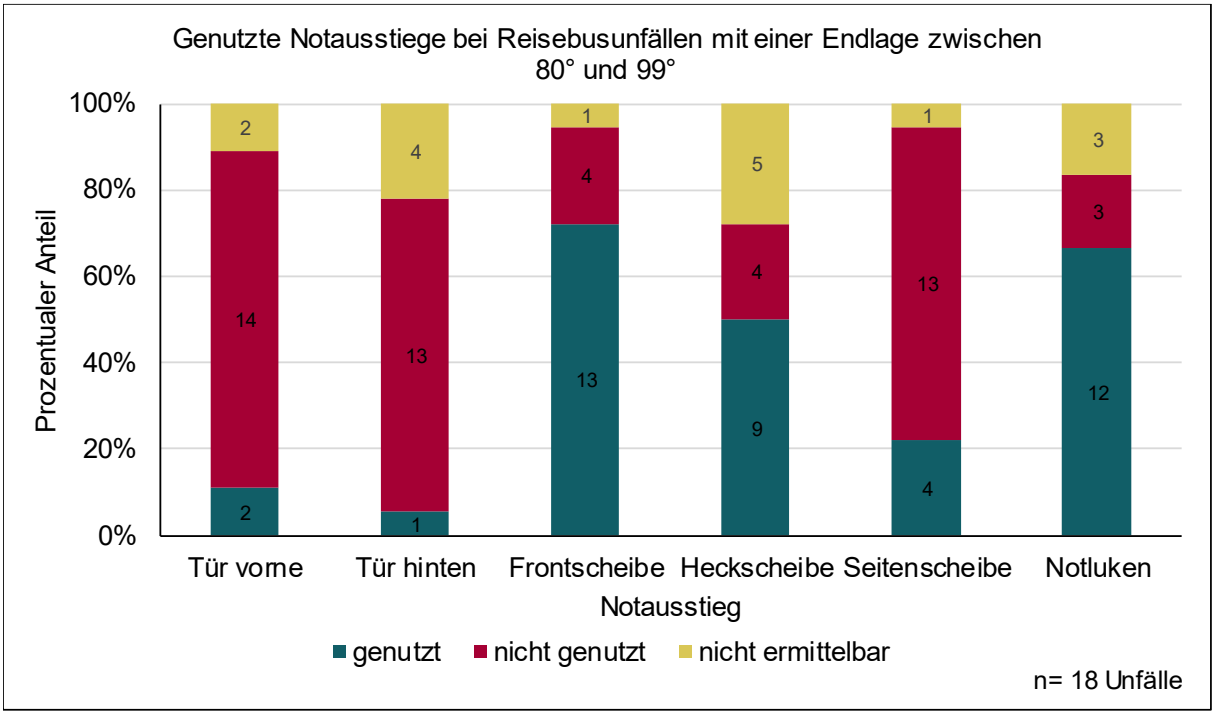


Abbildung 12: Genutzte Notausstiege bei Reisebusunfällen mit einer Endlage zwischen 80° und 99°

4 Packageuntersuchungen mit RAMSIS

Die rasche Fortbewegung der Insassen nach einem Unfall durch den Bus ist für eine Evakuierung von größter Bedeutung. Richtlinie ECE R 107 beschreibt ein Testverfahren, bei dem ein standardisierter Gangprüfkörper durch den Mittelgang des Busses geführt wird, um die zur Verfügung stehenden Gangbreite im Hinblick auf einen ungehinderten Durchgang zu überprüfen.

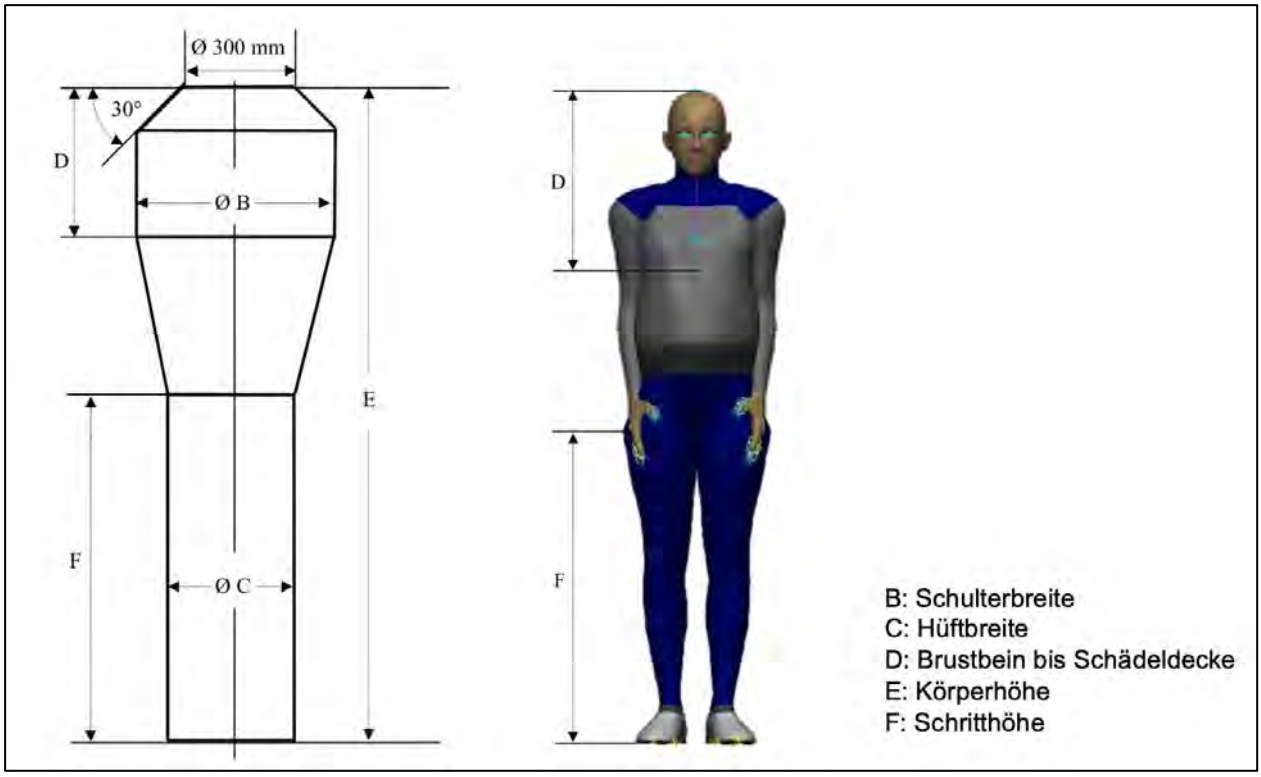


Abbildung 13: Prüfkörper gemäß ECE R 107

Mittlerweile hat sich in der Automobilindustrie das Softwareprogramm RAMSIS als Standard etabliert, welches über eine umfassende und aktuelle Datenbank verfügt, in der detaillierte Informationen bezüglich der aktuellen Körpermaße der Bevölkerung vorliegen. Die Tabelle 8 stellt die gesetzlichen Vorgaben gemäß ECE R 107 und die Daten der deutschen Bevölkerung der RAMSIS Datenbank gegenüber, so dass die Problematik deutlich wird.

Tabelle 8: Analyse des Gangprüfkörpers gemäß ECE R 107

			Abmessungen				
			B	**C**	**D**	**E**	**F**
Gangprüfkörper gemäß ECE R 107			450	300	500	1900	900
Geschlecht	Perzentile	Altersgruppe	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**
Frau	**5%**	18 - 29	379	329	437	1600	756
		30 - 49	404	354	419	1560	748
		50 - 70	397	338	398	1500	727
	50%	18 - 29	414	372	470	1700	793
		30 - 49	430	388	456	1660	780
		50 - 70	437	398	449	1630	773
	95%	18 - 29	449	402	504	1790	820
		30 - 49	484	429	491	1750	819
		50 - 70	464	428	478	1720	800
Mann	**5%**	18 - 29	412	345	466	1710	830
		30 - 49	437	342	450	1670	812
		50 - 70	443	372	431	1630	814
	50%	18 - 29	465	367	499	1820	872
		30 - 49	475	379	491	1790	859
		50 - 70	471	400	474	1750	845
	95%	18 - 29	501	403	539	1930	909
		30 - 49	509	405	530	1900	893
		50 - 70	514	412	502	1850	898

Es ist zu erkennen, dass der in ECE R 107 definierte Gangprüfkörper den Platzbedarf aktueller durchschnittlicher Körpermaße der deutschen Bevölkerung nicht ausreichend berücksichtigt [16]. Wird zum Beispiel ein Fahrzeug gemäß ECE R 107 entwickelt und freigegeben, so muss der Gang im Beinbereich (Maß C) nur 300 mm Breite aufweisen, woraus folgt, dass sich Frauen und Männer jeden Alters nur mit gedrehter Hüfte seitlich - und damit langsamer - durch den Gang fortbewegen können.

Reduzierte Gangbreite durch Armlehnen

Für die Armlehnen der gangseitigen Sitze werden in Reisebussen Stellungen angeboten, so dass die Armlehnen entweder nach oben in eine vertikale Position neben die Rückenlehne oder in eine horizontale Position neben die Sitzfläche abgeklappt werden können. Insbesondere beim Klappen in die vertikale Position

reduzieren die Armlehnen die Gangbreite im Hüftbereich eines stehenden Menschen noch zusätzlich.

In einem Reisebus der Marke Neoplan Cityliner N116 mit tiefergelegtem Gang wurde in einer Hüfthöhe von 898 mm der Abstand zwischen den Armlehnen in vertikaler Stellung mit 370 mm ermittelt. Die gesetzlichen Anforderungen der ECE R 107 wurden also erfüllt, jedoch zeigt der Vergleich mit den in RAMSIS hinterlegten Daten, dass sich in dieser Situation nur ein Mann des 50. Perzentils im Alter von 18-29 Jahren gerade und ohne Verdrehung der Hüfte durch den Gang bewegen kann. Schon Frauen des 50. Perzentils jeden Alters und Männer des 50. Perzentils mit zunehmenden Alter werden beim Durchgang durch die reduzierte Gangbreite behindert.

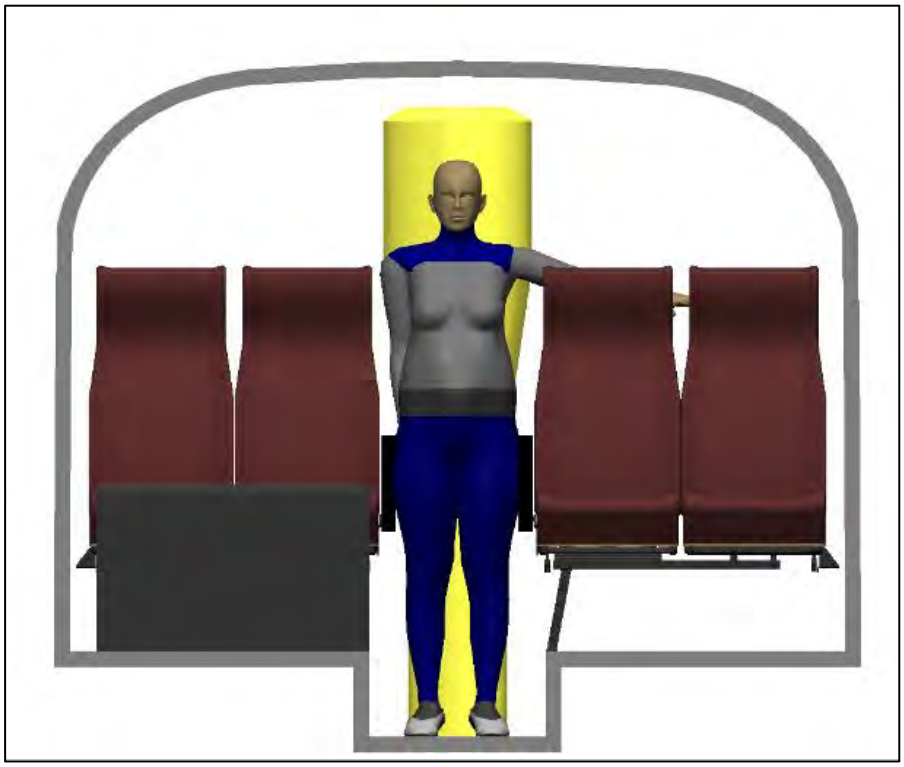


Abbildung 14: Vergleich der Hüftbreite einer Frau des 95. Perzentils im Alter von 50-70 Jahren mit dem Gangprüfkörper

Hochgestellte Armlehnen können also besonders bei einem tiefergelegten Gang kritisch sein, da sie sich dann auf Höhe der Hüfte befinden. Soll eine Evakuierung in Richtung Heck erfolgen, kann der Gang nur gerade durchschritten werden, wenn die hochgestellten Armlehnen manuell gegen die Bewegungsrichtung der Flüchtenden heruntergeklappt werden. Armlehnen mit einer Stellung auf Höhe der Sitzflächen können hier bereits Abhilfe leisten.

Fahrzeuge mit dem durchgängigen Fußboden im Bereich der Sitze und des Gangs, einem Flatfloor (siehe Abbildung 15), sind hier ebenfalls vorteilhaft, da die Hüfte der Insassen sich dann oberhalb der vertikal hochgeklappten Armlehnen befindet. Allerdings bieten diese Gänge bei einem verunfallten und schräg liegenden Bus für die Füße keinerlei Seitenhalt beim Durchschreiten (siehe Kapitel 7.3.2 Abbildung 27).

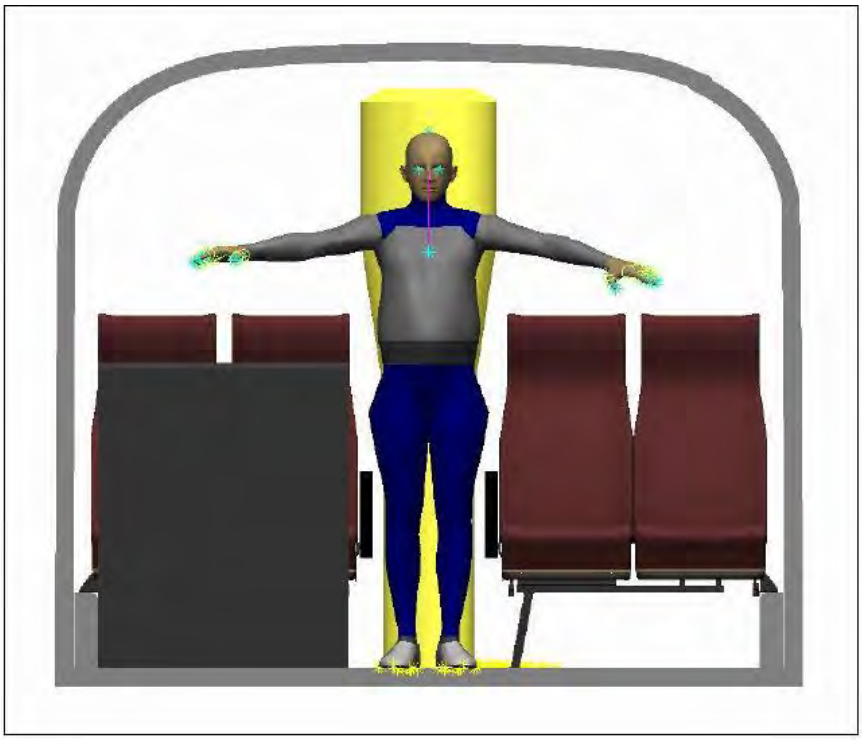


Abbildung 15: Vergleich der Hüftbreite bei ebenen Gang

Seitlich verschiebbare Sitze

Seitlich verschiebbare Sitze bieten einen zusätzlichen Sitzkomfort und sind in Reisebussen weit verbreitet. Hierzu beschreibt die ECE R 107 im Unterpunkt 7.7.5.3. „Bei Fahrzeugen der Klasse III dürfen die Sitze auf einer oder beiden Seiten des Gangs seitlich verschiebbar sein; in diesem Fall kann die Breite des Gangs auf einen Wert verringert werden, der einem Durchmesser von 220 mm für den unteren Zylinder entspricht, sofern die Betätigung einer an jedem Sitz befindlichen und von einer im Gang stehenden Person leicht erreichbaren Einrichtung es gestattet, den Sitz, auch wenn er besetzt ist, leicht und, wenn möglich, selbsttätig in eine Position zurückzufahren, die einer Mindestbreite von 300 mm entspricht.“

Im Rahmen der Packagestudie wurden bei Bussen die Sitze beidseitig in den Gang verschoben, wodurch verbleibende Gangbreiten zwischen 220 bis 230 mm ermittelt

werden konnten, die Norm wurde also in jedem Falle erfüllt. Allerdings würde schon bei dem aufrecht stehenden Fahrzeug die Evakuierung durch die notwendige Rückverschiebung der Sitze deutlich verzögert.

Im Fall eines nach einem Unfall schräg liegenden Busses jedoch muss davon ausgegangen werden, dass die Insassen nicht in der Lage sind, auch unbesetzte Sitze zurück in die Ausgangslage zu verschieben. Daher stellt diese Komfortfunktion eine ernstzunehmende Beeinträchtigung dar, zumal sie in der Regelung explizit als erlaubte Abweichung von der generellen Anforderung von 300 mm angeführt wird.

Aufgrund der Erkenntnisse dieser initialen Packageanalyse wurde ein Teilabschnitt eines Reisebusses in der Simulation abgebildet, so dass das Durchschreiten des Ganges mit Hilfe von RAMSIS für unterschiedliche Fahrzeugkonzepte und die verfügbaren Personengruppen detailliert untersucht werden konnte.

Der in der ECE R 107 vorgegebene Prüfkörper erfordert im Bein- und Hüftbereich einen Freiraum von C = 300 mm und würde gemäß Tabelle 8 für Erwachsene aller Altersstufen ein seitliches Durchschreiten erfordern.

Anhand der in RAMSIS hinterlegten anthropometrischen Daten der Bevölkerung würde aber auch dieses seitliche Durchschreiten nicht für jede Bevölkerungsgruppe möglich sein, da die Tiefe im Hüftbereich

- bei einem Mann des 95. Perzentils in der Altersgruppe zwischen 30 und 49 Jahren 302 mm beträgt,
- bei einem Mann des 95 Perzentils in der Altersgruppe zwischen 50 und 70 Jahren 306 mm beträgt,
- bei einer Frau des 95. Perzentils in der Altersgruppe zwischen 50 und 70 Jahren 304 mm beträgt

Es sei hier darauf hingewiesen, dass alle untersuchten Busse eine reale Gangbreite von mehr als 300 mm auswiesen, dieses Problem also in diesen Bussen nicht aufgetreten wäre. Dennoch sollte die zentrale Auslegungsnorm für das Verkehrsmittel Bus auch angesichts des zunehmenden Körpergewichts der Bevölkerung die daraus resultierende Körperfülle berücksichtigen, Abmaße des Prüfkörpers aktualisieren und damit mehr Gangbreite fordern.

Das Maß C sollte daher zumindest die maximale Tiefe des 95. Perzentils der Menschen berücksichtigen und entsprechend angepasst werden.

5 Psychologische Einflussfaktoren bei der Busevakuierung

Extreme Belastungssituationen können bei Menschen erhebliche psychische Beeinträchtigungen hervorrufen, welche mit veränderter Wahrnehmung und Aufmerksamkeit sowie veränderten affektiven Reaktionen einhergehen können [17]. Besonders Verkehrsunfälle mit zahlreichen Personen wie Busunfälle versetzen Beteiligte plötzlich in diese akuten Belastungssituationen.
Um die Handlungsfähigkeit der Businsassen aufrechtzuerhalten und somit eine schnelle Evakuierung zu gewährleisten, könnten unterstützende und kompensatorische Maßnahmen eingesetzt werden. Ziel dieses Kapitels ist es, psychisch relevante Faktoren bei der Evakuierung aus Reisebussen herauszustellen, damit die Ergebnisse bei der Entwicklung neuer Evakuierungskonzepte berücksichtigt werden können, um die Sicherheit der beförderten Personen zu erhöhen und im Falle eines Unfalls psychische Langzeitfolgen zu vermeiden.

5.1 Typische Belastungsreaktionen des Menschen

Der Zeitraum vom Eintreten des Extremerlebnisses bis zum Abklingen der psychischen Beeinträchtigung oder der Manifestation derselben wird als „akute Belastungsreaktion“ definiert. […] Die Symptomatik zeigt typischerweise ein gemischtes und wechselndes Bild, beginnend mit einer Art von "Betäubung", mit einer gewissen Bewusstseinseinengung und eingeschränkten Aufmerksamkeit, einer Unfähigkeit, Reize zu verarbeiten und Desorientiertheit. Diesem Zustand kann ein weiteres Sichzurückziehen aus der Umweltsituation folgen […] oder aber ein Unruhezustand und Überaktivität, wie zum Beispiel unkontrollierte Fluchtreaktionen. Auch vegetative Zeichen panischer Angst wie Herzrasen, Schwitzen und Erröten treten häufig auf. Diese Symptome erscheinen im Allgemeinen innerhalb von Minuten nach dem belastenden Ereignis und gehen innerhalb von zwei oder drei Tagen, oft innerhalb von Stunden zurück.“ [17]. Diese psychischen Fehlfunktionen und daraus resultierendes Fehlverhalten (zum Beispiel Unterlassen von Maßnahmen oder Panik) führen in Evakuierungssituationen letztlich dazu, dass die eigene Sicherheit oder die Sicherheit anderer zusätzlich gefährdet wird [18]. Neben akuten Belastungsreaktionen kann es bei Verfestigung der psychischen Beeinträchtigungen auch zu

posttraumatischen Belastungsstörungen kommen [19]. In diesem Projekt stehen jedoch das direkte Erleben und Verhalten während der Evakuierung eines verunglückten Reisebusses im Fokus.

5.2 Psychophysiologische Reaktionen bei Unfällen

Um herauszufinden, welche Faktoren bei einer Busevakuierung eine verstärkende beziehungsweise kompensatorische Rolle einnehmen könnten, müssen zunächst die einzelnen psychophysiologischen Prozesse, welche während einer akuten Belastung im Individuum wirken, betrachtet werden. Abbildung 16 zeigt die systematische Abfolge der ablaufenden Reaktionen auf die akute Belastung „Verkehrsunfall“, die im Folgenden kurz erläutert werden.

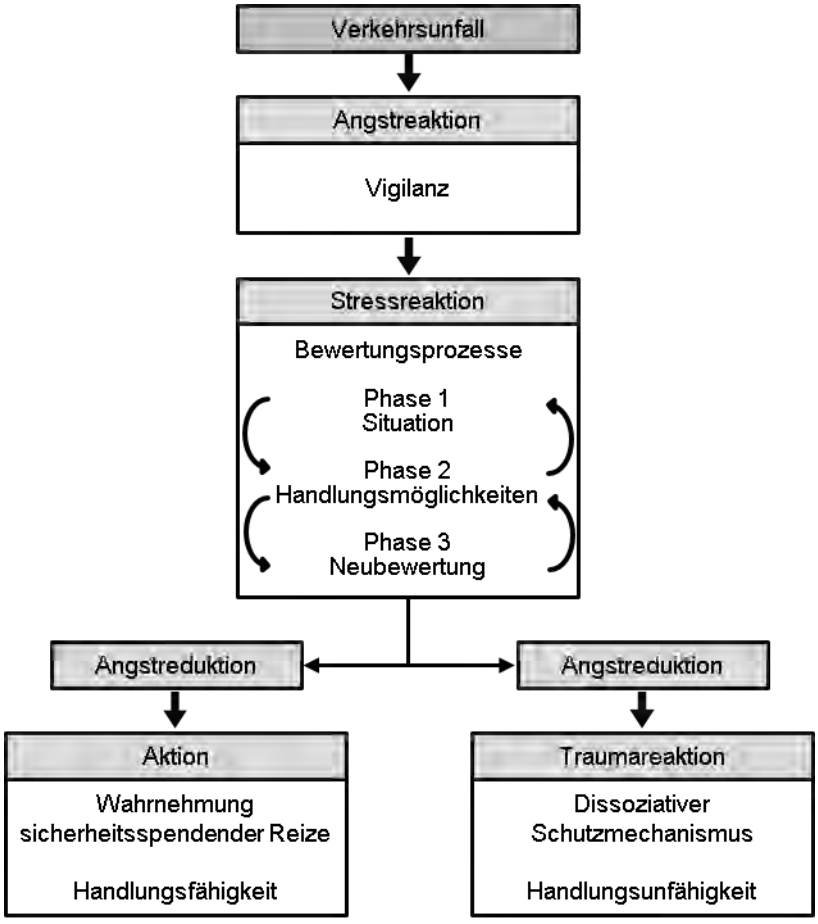


Abbildung 16: Prozesse der akuten Belastungsreaktion „Verkehrsunfall“

Schritt 1: Angstreaktion

Sobald Angst empfunden wird, wird das das Gehirn mit Noradrenalin versorgt, was eine unmittelbare Vigilanzerhöhung (Reaktionsbereitschaft) bewirkt. Dieser Prozess geht unter anderem mit einer Aufmerksamkeitseinengung einher, der Überblick über die Gesamtsituation wird verschlechtert, es erfolgt eine Konzentration auf wenige, als relevant angesehene Parameter im Umfeld. Über das Nebennierenmark wird zudem Adrenalin in den Blutkreislauf freigesetzt, was den Anstieg der Herzfrequenz, des Blutdrucks sowie weitere Veränderungen des Stoffwechsels bewirkt, um eine sofortige Energieversorgung (für z.B. Kampf- oder Fluchtimpulse) sicherzustellen. Die Ausschüttung von Cortisol durch die Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenachse leitet abschließend die Stressreaktion ein, welche sich in einer erhöhten Erregbarkeit zeigt [20].

Schritt 2: Stressreaktion

Der wesentliche Unterschied zur Angstreaktion besteht in der Relevanz von Bewertungsprozessen. Allgemein kann davon ausgegangen werden, dass bei der Stressreaktion individuelle Möglichkeiten zur Bewältigung der Situation abgewogen werden. Die Bewertung einer Situation ist maßgeblich für das resultierende Stresslevel verantwortlich [21]. So gilt beispielsweise die objektive Schwere des Unfalls (Zahl/Schweregrad der Verletzten/Toten) nicht als Indikator für posttraumatische Belastungen, die subjektiv bewertete Schwere hingegen schon [22]. Bewertungsprozesse lassen sich in Phasen untergliedern: eine erste Situationsbewertung (primary appraisal), eine folgende Bewertung möglicher Reaktionen (secondary appraisal) und die sich dadurch ergebende Neubewertung der Situation (reappraisal). Diese Transaktion kann im Sinne einer kontinuierlichen Wechselwirkung verstanden werden [21]. In jeder dieser Phasen können verschiedene Variablen relevant sein, zum Beispiel:

a) Kognitive Schemata, zum Beispiel Kontrollüberzeugung
b) Persönlichkeitsfaktoren, zum Beispiel Erfahrungen
c) Intellektuelle Fähigkeiten, zum Beispiel Problemlösekompetenz
d) Körperliche Fähigkeiten, zum Beispiel physische Kraft

3. Schritt: Mögliche Folgen der Stressreaktion

Wie Abbildung 16 dargestellt, kann die zu Beginn beschriebene Angstreaktion durch die Bewertungsprozesse der Stressreaktion sowohl verstärkt als auch reduziert werden, was sich different auf das Individuum auswirkt. Daraus können zwei Handlungsreaktionen resultieren:

a) **Traumareaktion**

Diese Reaktion wird durch die Verstärkung der ursprünglichen Angstreaktion eingeleitet. Wenn eine Person keine sicherheitsspendenden Reize (intern/extern) erkennt und dadurch die Situation negativ bewertet, führt das zur Aufrechterhaltung der Amygdalaaktivität, womit ein steigendes Stressniveau einhergeht. Unter dieser extremen Belastung kann auch ein dissoziativer Schutzmechanismus ausgelöst werden, bei welchem der Körper mit Opioiden geflutet wird. Eine übermäßige Ausschüttung endogener Opioide führt zu psychomotorischer Erstarrung, affektiver Betäubung und Hemmung der Schmerzwahrnehmung. In einem solchen Zustand wird die Umgebung entfremdet und die Zeitwahrnehmung verzerrt. Personen können beispielsweise eigene Schreie wahrnehmen, diese aber nicht mit der eigenen Person in Verbindung bringen. Eine weitere Steigerung dieser Reaktion bewirkt letztlich eine peritraumatische Dissoziation, bei welcher selbst Sprachzentrum und Frontalhirn nicht mehr reagieren [23].

b) **Aktion**

Bei einer Reduktion der Angst hingegen wird, durch die hormonelle Hemmung der stressbezogenen Aktivitäten in Hippocampus und Amygdala, die Symptomatik reduziert. Dies führt dazu, dass die Sicherheitsaspekte wahrgenommen und Handlungen eingeleitet werden können [23].

5.3 Herleitung von Handlungsfeldern für Probandenversuche

Das größte Potenzial für sicherheitsfördernde Maßnahmen lässt sich daher im Rahmen der Bewertungsprozesse vermuten. Durch die Verbesserung kognitiver Schemata (zum Beispiel konkrete Sicherheitsanweisungen, Eindeutigkeit der erforderlichen Maßnahmen, Bereitstellung intuitiver erkennbarer Fluchtwege) und gezielter Berücksichtigung intellektueller, körperlicher wie sprachlicher Fähigkeiten

(zum Beispiel Einfachheit des Systems, geringe Bedienkräfte, geringe Barrierenwirkung, Stütz- und Haltefunktionen) könnte das Verhalten der Insassen bei der Evakuierung von Reisebussen optimiert werden.

Die Gefahr potenzieller Traumareaktionen macht deutlich, wie wichtig auch externe sicherheitsspendende Reize in Unfallsituation sein können, um akute dissoziative Zustände zu vermeiden und die Handlungsfähigkeit von Insassen aufrecht zu erhalten. Ein großes Potenzial könnten besonders geeignete Lichtkonzepte aufweisen, da diese trotz der verengten Wahrnehmung die Aufmerksamkeit auf die relevanten Evakuierungssysteme lenken können.
Die hier abgeleiteten Potenziale sollen nachfolgend in Probandenstudien untersucht werden.

6 Probandenstudien

Die in den vorigen Kapiteln aufgezeigten gesetzlichen Vorgaben, statistischen Daten sowie die Auswertung der Unfallberichte zeigen verschiedene Problematiken bei der Evakuierung aus Reisebussen. Vor dem Ziel der Minimierung von verletzten und sogar getöteten Insassen rücken die gesetzlich vorgeschriebenen Sicherheitsgurte, die Anordnung der Dachluken oder auch auf die Sichtbarmachung von Notöffnungen und Wegen in den Fokus.
Daher sollen im Projekt folgende Forschungsfragen mit Probandenstudien näher beleuchtet werden:

1. Die Auswertung der Endlagen von verunfallten Reisebussen zeigt, dass bei zahlreichen Unfällen die Busse in Schräglage zur Ruhe kommen: Welchen Einfluss hat die Schräglage des Busses auf die Bewegungsmöglichkeiten im Inneren des Busses und somit auf die Evakuierungszeit?
2. Welche Notausstiege werden durch Proband:innen im Reisebus beim Evakuierungsfall in der Endlage 30° und 90° Fluchtmöglichkeit erkannt und genutzt?
3. Welchen Einfluss hat die Einbaulage von Dachluken auf die Ausstiegskinematik der Proband:innen. Unterscheiden sich die Durchstiegszeiten bei quer oder längs eingebauten Dachluken im Evakuierungsfall?
4. Während dieser Versuche wurde erkannt, dass die Bedienung der standardmäßigen Gurtsysteme durch die Insassen in einer Schräglage überaus schwierig sein kann. Können alternative Gurtsysteme in Schräglage besser bedient werden und welchen Einfluss haben die unterschiedlichen Schließmechanismen auf die erforderliche Zeit zum Abschnallen?
5. Im Laufe der Evakuierungsversuche im Fahrzeug wurde deutlich, dass häufig die erfolgversprechenden Notöffnungen nicht erkannt wurden. Können Lichtkonzepte die Erkennung von Notausstiegen verbessern oder beschleunigen?

Basierend auf diesen Fragestellungen wurde eine Versuchsmatrix für Evakuierungsversuche erarbeitet, die mit Proband:innen in einem nachgebauten

kippbaren Busabschnitt und in einem realen Reisebus durchgeführt und dokumentiert werden sollten. Das gesamte Vorgehen, angefangen von Fragebögen bis hin zur Speicherung der Daten wurde zuvor von einem Ethikrat überprüft und mit Datum vom 03.11.2020 akzeptiert. Alle Proband:innen wurden zuvor über die Aufzeichnung und der Auswertung der Daten unter informiert und hatten der Nutzung zugestimmt.

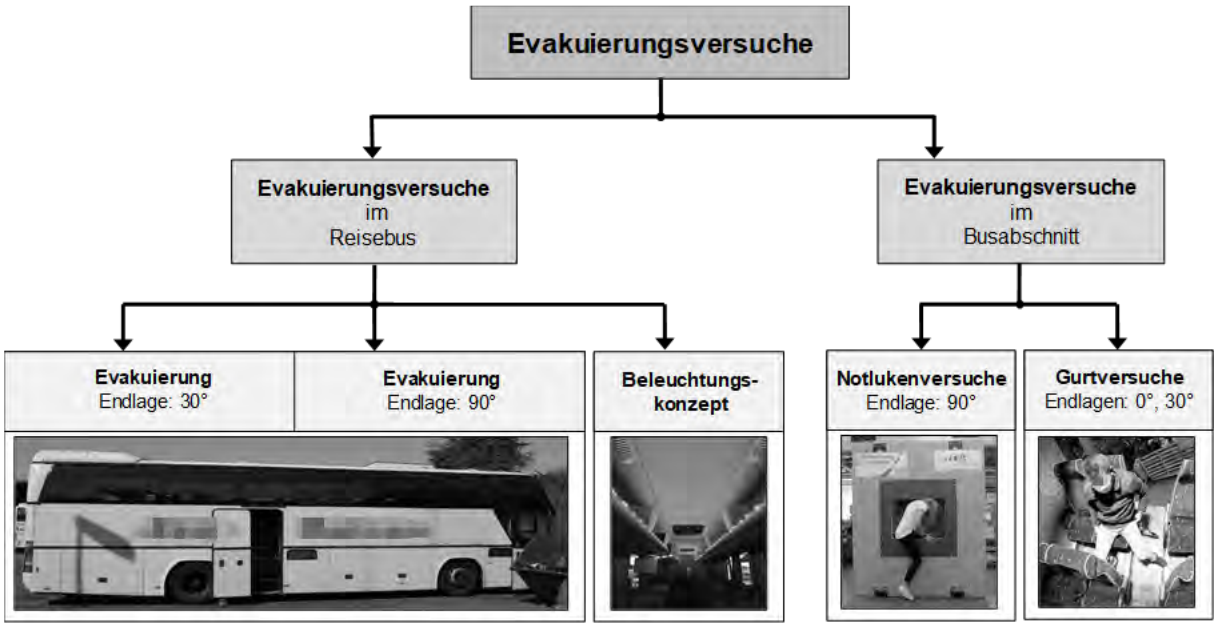


Abbildung 17: Versuchsmatrix für Evakuierungsversuche

7 Probandenstudien zur Evakuierung aus einem realen Reisebus

Nachdem die Simulation in RAMSIS bereits auf mögliche Schwierigkeiten beim Durchschreiten eines aufrechtstehenden Reisebusses aufgezeigt hat, sollten erweiterte Untersuchungen zum gesamten Evakuierungsvorgang mit Proband:innen in einem realen Reisebus unter verschiedenen Kippwinkeln untersucht werden. Entsprechend der Ergebnisse der Unfallanalyse sollten dabei die Hauptkippwinkel von 30° und 90° untersucht werden. Folgende Fragestellungen wurden untersucht:

1. Möglichkeit der Fortbewegung zum Notausstieg (unter 30° und unter 90°)
2. Identifikation nutzbarer Notausstiege (unter 30° und unter 90°)
3. Identifikation und Bedienbarkeit der Heckscheibe als möglichen Notausstieg (unter 90°)
4. Durchstieg durch die Dachluke (unter 90°)

Für diese Versuche wurde ein Reisebus des Herstellers Neoplan der Modellreihe N116 (Erstzulassung September 2001) eingesetzt. Der Reisebus verfügt über eine Fahrgastebene mit insgesamt 22 Sitzbänken und 49 Sitzplätzen und einem tiefergelegten Mittelgang. Das Notausstiegssystem besteht aus den Betriebstüren, die vorne und mittig angeordnet sind, zwei Dachluken (ebenfalls vorne und mittig angeordnet) sowie den Seitenscheiben, die als Notausstieg gekennzeichnet sind. Die Heckscheibe stellt ebenfalls eine Ausstiegsöffnung dar, muss allerdings zuvor durch Vorklappen der Rückenlehnen der letzten Sitzreihe freigegeben werden. Die Dachluken des Busses wiesen noch nicht die gemäß ECE R 107.06 ab dem 10.06.2019 für alle Zulassungen geforderten Mindestabmaße von 600 mm x 700 mm auf. Aus diesem Grund wurden nachträglich zusätzliche Evakuierungsversuche mit Dachluken dieser Abmaße im Busabschnittmodell durchgeführt (Kapitel 8.4).

7.1 Versuchsaufbau

Das Kippen der Busse erfolgte über zwei Schwerlastkräne. Für die Stabilisierung des Busses in der 30°-Endlage wurde eine zuvor simulativ ausgelegte Stützvorrichtung gebaut, auf die der Bus abgelegt werden konnte.



Abbildung 18: Versuchsaufbau bei 30° Endlage

Vor Durchführung der Evakuierungsversuche wurde im Fahrzeug jeweils für die Neigungswinkel 30° und 90° Sicherheitsvorkehrungen installiert. Für die Durchschreitversuche wurden unter dem 30° Kippwinkel am Einstieg und am Ausstieg des Reisebusses ein Handlauf und eine Rampe installiert, um insbesondere den Ausstieg über die Treppen zu erleichtern. Zum sicheren Einstieg in den Bus unter der 90° Schräglage durch das Fahrerfenster wurden eine Leiter und ein Einstiegspodest mit rutschfestem Boden und Geländer vorgesehen.



Abbildung 19: Positionierung des Reisebusses unter 30° und 90°

Zur Analyse des Bewegungsverhaltens der Proband:innen wurde das Versuchsfahrzeug mit mehreren Kameras ausgestattet, die die Bewegungsabläufe während der gesamten Versuchsdauer aus unterschiedlichen Perspektiven dokumentierten.

7.2 Beschreibung der Versuchsdurchführung

7.2.1 Evakuierungsversuche in der Endlage 30°

Zur Untersuchung des Bewegungsverhaltens innerhalb des gekippten Busses wurden die Proband:innen aufgefordert, das Fahrzeug über die vordere Betriebstür zu betreten und dem Mittelgang bis zur hinteren Betriebstür rasch zu folgen. Dabei wurde auf mögliche konstruktiv eingebaute Engpässe, die Überwindung von Hindernissen und mögliche Hilfsmittel, durch die die Erreichbarkeit des jeweiligen Notausstiegs vereinfacht werden könnte, geachtet.

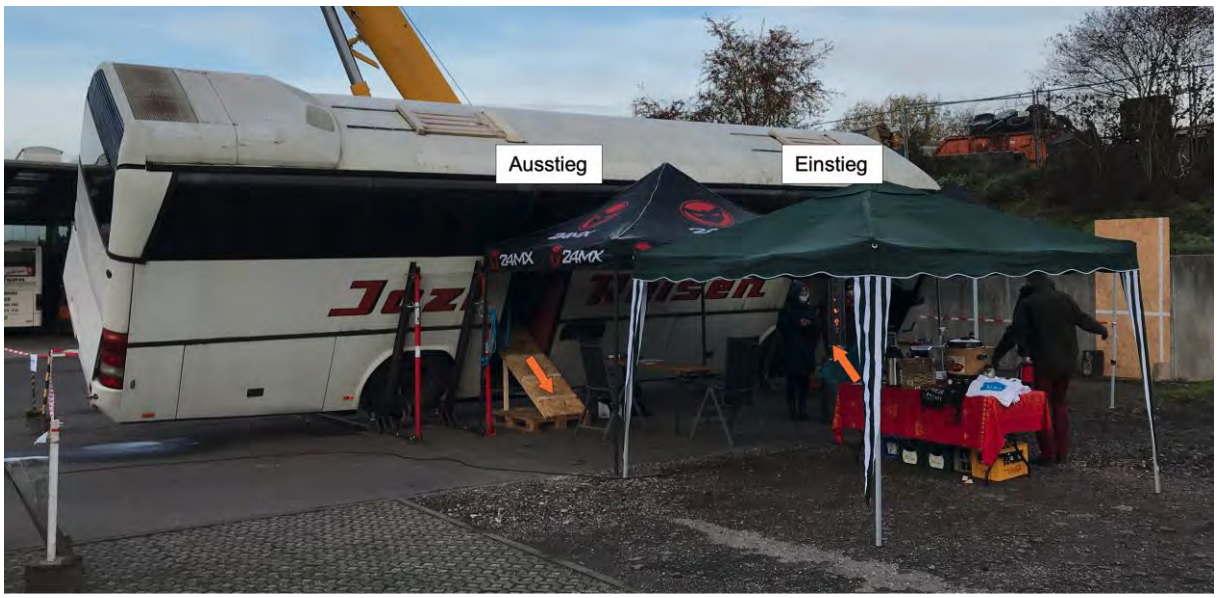


Abbildung 20: Versuchsdurchführung in der Endlage 30°

In dem Moment, in dem die Proband:innen die Hälfte der zurückzulegenden Strecke im Mittelgang des Busses durchschritten hatten, wurden ihnen von der Versuchsleitung die Aufgabe erteilt, den nächstgelegenen und im Anschluss daran alle weiteren Notausstiege zu identifizieren und zu benennen. Nach dem Verlassen des

Fahrzeuges erhielten die Teilnehmenden einen Fragebogen zur Bewertung der Fortbewegung im Fahrzeug (siehe Anhang II).

7.2.2 Evakuierungsversuche in der Endlage 90°

Wie schon in der Endlage 30° sollten die Proband:innen den Bus auch in der 90° Endlage selbstständig durchschreiten. Hierzu gelangten sie mittels Leiter über das Seitenfenster des Fahrers in den Reisebus und durchschritten anschließend das Fahrzeug bis zur Heckscheibe. Auf halbem Weg wurden die Probanden wiederum über präferierte und weitere mögliche Notausstiege befragt.
Anschließend durchschritten die Proband:innen das Fahrzeug bis zum Heck. Hier bestand die Fragestellung darin, ob die Proband:innen die Heckscheibe als Notausgang identifizieren und den Klappmechanismus zur Freilegung der Heckscheibe erkennen und intuitiv betätigen können.



Abbildung 21: Versuchsdurchführung in der Endlage 90°

Final wurden die Proband:innen aufgefordert, den Bus zu verlassen. Da in der 90° Lage ohne die Zerstörung von Scheiben nur die Dachluken als Ausstieg zur Verfügung standen, mussten diese von den Proband:innen identifiziert, bedient und genutzt werden.

Im Anschluss daran erhielten die Proband:innen einen Fragebogen zur Bewertung der Fortbewegungsmöglichkeiten im Fahrzeug, zur intuitiven Bedienbarkeit des Klappmechanismus sowie zum Ausstieg durch die Dachluke (siehe Anhang III).

7.3 Ergebnisse der Evakuierungsversuche aus dem Reisebus

7.3.1 Statistische Analyse der Stichprobe

A priori erfolgte eine Stichprobenumfangsplanung mit dem Programm „G* Power 3.1“ [24]. Für die Analyse des Fragebogens, der Identifikation der Ausstiege und des Klappmechanismus ergab sich, bei einem Alpha-Fehler-Niveau von 0,05, einer Teststärke von 0,95 und einem erwarteten mittleren bis großen Effekt von dz=0,65 eine erforderliche Stichprobengröße von mindestens 28 Proband:innen. Für eine Korrelationsanalyse der Fortbewegung bei einer Endlage von 30° ergab sich bei gleichem Alphaniveau, gleicher Teststärke und einem p von 0,5 je Gruppe eine erforderliche Anzahl von 34 Proband:innen.
Insgesamt konnten 73 Personen für die Teilnahme an dem Versuch gewonnen werden. 37 Personen nahmen an den Evakuierungsversuchen in der Endlage 30° teil, 36 Personen nahmen an den Evakuierungsversuchen in der Endlage 90° teil. Der Altersdurchschnitt der Proband:innen betrug 32,5 Jahre (SD=15,2; Range: 14-66 Jahre), 56,2% der Teilnehmenden waren männlich. Im Durchschnitt waren die Proband:innen 174,0 cm groß (SD=9,09) und wogen 74,3 kg (SD=14,22). Die Abfrage der physischen Konstitution zeigte, dass 94,5% der Probanden zustimmten, in einer guten körperlichen Verfassung zu sein. Die Merkmale unterschieden sich zwischen den einzelnen Untersuchungsgruppen (p>0,05).

7.3.2 Analyse der Fortbewegung zum Notausstieg in der Endlage 30°

Für die statistische Analyse bewerteten die Probanden die Fortbewegung im Bus per Fragebogen (siehe Anhang II). Die resultierenden Daten wurden mithilfe eines Einstichproben-t-Tests ausgewertet. Dieser kann überprüfen, ob die Bewertung im Mittel signifikant positiv oder negativ ausfällt. Dazu wird der Messwert gegen eine neutrale Bewertung getestet. Insgesamt zeigte sich, dass die Teilnehmenden das Durchlaufen positiv bewerteten, womit die Proband:innen allerdings nur bestätigten,

dass eine Fortbewegung auch im unter 30° gekippten Bus prinzipiell möglich ist. Der in den Filmen erkennbare, deutlich erschwerte Durchstieg weist jedoch im Vergleich zur Referenzmessungen bei 0° eindeutig auf einen erhöhten Schwierigkeitsgrad bei der Fortbewegung innerhalb des Busses hin (siehe Abbildungen 22, 24).



Abbildung 22: Nutzung der Lehnen zur Fortbewegung in 30° Endlage

95% der Proband:innen gaben an, dass sie weitere Maßnahmen für erforderlich hielten, um das Vorankommen im Bus zu erleichtern, nur 5% hielten keine zusätzlichen Maßnahmen für erforderlich (siehe Abbildung 23). Am häufigsten (von 78% der Proband:innen genannt) wurde angegeben, dass zusätzliche Griffe vorteilhaft wären, 22% der Teilnehmenden wünschten sich eine zusätzliche Trittfläche.

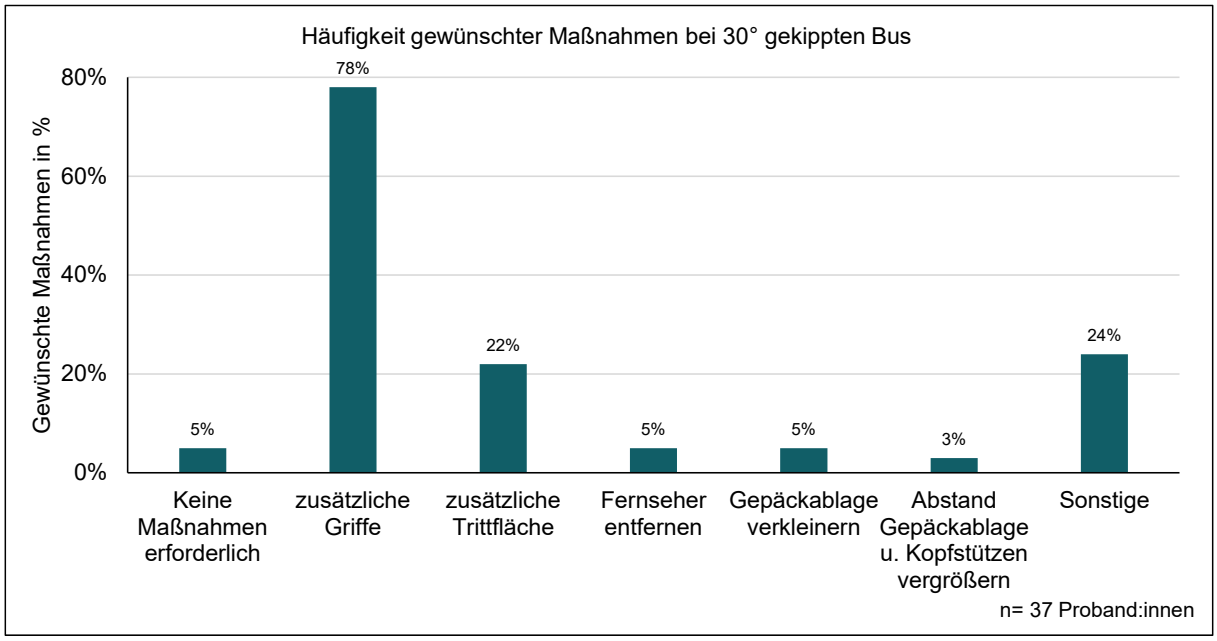


Abbildung 23: Vorschläge für Maßnahmen zur Verbesserung des Vorankommens im um 30° gekippten Bus

Im Freifeld des Fragebogens wurden von den Proband:innen weitere Maßnahmen zur Verbesserung des Vorankommens im (um 30° gekippten) Bus aufgeführt. Hier exemplarisch genannt:

- Abstand bzw. "Flur" verbreitern
- Kanten an den Sitzen abrunden, man stößt mit dem Knie dagegen
- Griffe am Ausstieg anbringen
- Breitere Gänge
- Griffe an Sitzen und Gepäckablage könnten helfen
- Äußere Armlehnen stören im Kniebereich
- Der Fußraum sollte frei sein
- Wenn die Sitze (in der seitlichen Verschiebung) in den Gang rutschen, wird das Weitergehen beeinträchtigt

In der Endlage 30 ° wurden die benötigten Zeiten zur Fortbewegung im gekippten Bus erfasst. Im Durchschnitt benötigten die Teilnehmenden 19,1 Sekunden (SD=5,34; Range=13-42 Sekunden, um den Bus zu durchsteigen. Die Korrelationsanalyse ergab,

dass die Personen mit zunehmendem Alter mehr Zeit für das Durchsteigen des Busses benötigten ($r=0,43$; $p<0,001$). Im Vergleich dazu wurde bei Referenzmessungen in der Endlage 0° für die Fortbewegung innerhalb des Busses von der vorderen bis zur hinteren Betriebstür eine Zeit von durchschnittlich 5,8 Sekunden ermittelt.
Personen, die ihren körperlichen Zustand schlechter einschätzten ($r=-0,38$; $p<0,05$) benötigten zur Fortbewegung durch den Bus ebenfalls mehr Zeit, wobei beide Maße (Alter und körperlicher Zustand) kovariierten ($r=-0,27$; $p<0,05$). Die Größe und das Gewicht der Proband:innen standen in keinem signifikanten Zusammenhang mit der benötigten Zeit zur Fortbewegung im um 30° gekippten Bus.
Allerdings konnte ein Zusammenhang zwischen der benötigten Zeit und der Bewertung der Proband:innen festgestellt werden. Teilnehmende, die länger für das Durchschreiten des Busses brauchten, bewerteten den Prozess auch negativer ($r=-0,46$; $p<0,01$).



Abbildung 24: Fortbewegung im Bus bei 30° Kippwinkel

Die Analyse des Videomaterials zeigte im 30° geneigten Bus Unterschiede hinsichtlich der Fortbewegung der Teilnehmenden. Es zeigte sich, dass 59% der Proband:innen den Bus in frontaler Körperhaltung durchliefen. Dies bedeutet, dass die Personen sich trotz verengter Gangbreite mit der Körpervorderseite voran durch den Gang bewegten. Die verbleibende Anzahl der Proband:innen (41%) bewegte sich seitlich, mit der Körperseite zuerst, durch den Bus. Dabei drehte sich etwa die Hälfte der Gruppe mit der Körperfront nach oben, während sich die andere Hälfte mit der Körperfront nach unten durch den Gang bewegte.

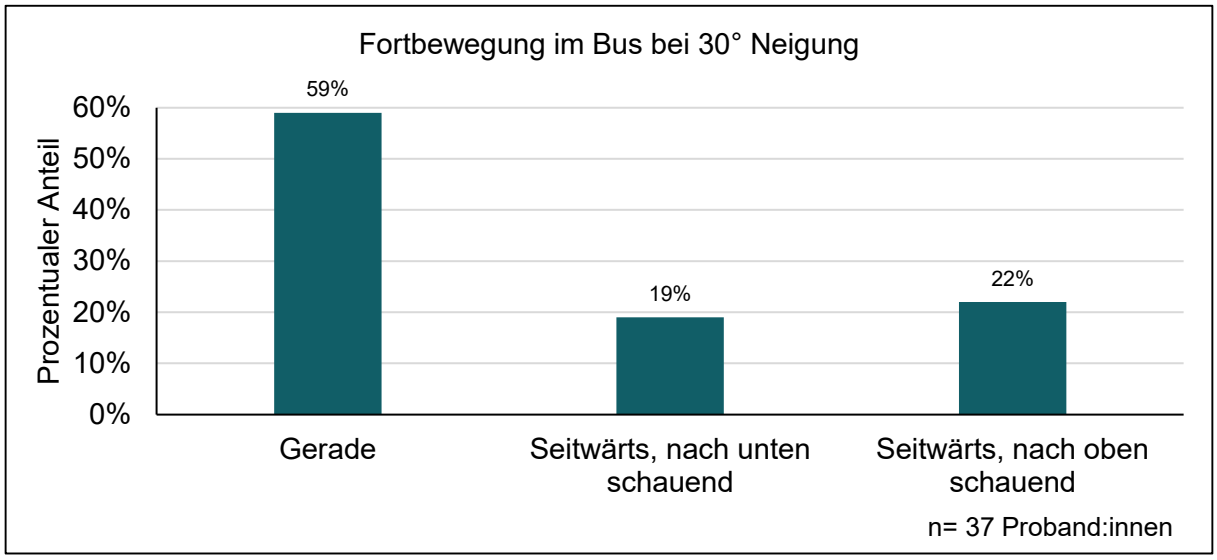


Abbildung 25: Körperausrichtung bei der Fortbewegung durch den 30° geneigten Reisebus

Betrachtet man dabei die angewendeten Hilfsmittel zum Festhalten und Abstützen ist zu erkennen, dass lediglich die Sitzlehnen zum Festhalten genutzt werden. Während sich die frontal durch den Bus bewegende Gruppe durch den Gang „schlängeln“ musste, wurden von den seitwärts Gehenden die Sitzlehnen der entsprechenden Seite zum Abstützen verwendet. Keine der Versuchspersonen hielt sich an der Gepäckablage fest.

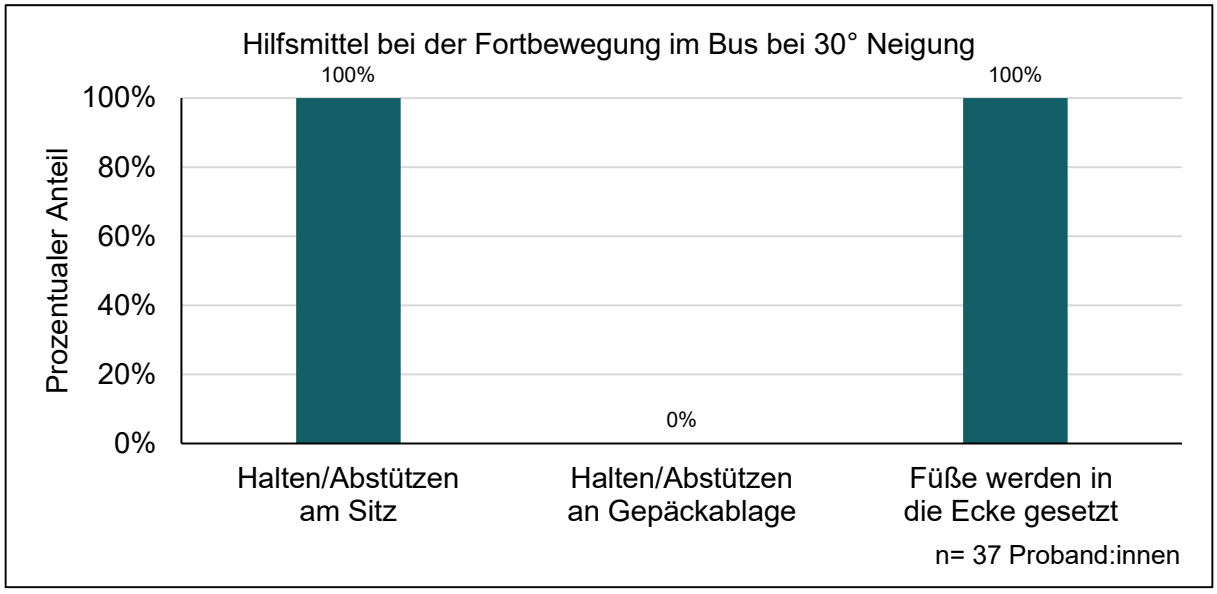


Abbildung 26: Genutzte Hilfsmittel bei der Fortbewegung durch den 30° geneigten Reisebus

Die Auswertung der Bewegung und Positionierung der Füße zeigt, dass alle Proband:innen die Füße diagonal in die Ecke zwischen Bodenfläche des tieferliegenden Gangs und der Flanke des Sitzpodestes setzen (siehe Abbildung 27).



Abbildung 27: Trittfläche bei 30° Kippwinkel

7.3.3 Bewertung der Fortbewegung zum Notausstieg in der Endlage 30°

Die statistischen Analysen liefern Evidenz für individuelle Unterschiede bei der Fortbewegungsmöglichkeit im 30° gekippten Bus zu Lasten älterer und körperlich beeinträchtigter Personen. Für alle Personengruppen gilt, dass die Fortbewegung für Busse mit einem ebenen Boden (keinem abgesenkten Gang) deutlich schwieriger wird, da ohne durchlaufende seitliche Flanke die Füße nur gezielt auf die Verankerungen der Sitze gesetzt werden können. Diese Fortbewegung kann im Notfall weder sicher noch rasch erfolgen und wird besonders für ältere Personen ein signifikantes Hindernis bei der Evakuierung darstellen.

7.3.4 Analyse der Fortbewegung zum Notausstieg in der Endlage 90°

Entsprechend der Analyse der Versuchsdaten unter 30° Kippwinkel wurden auch die Daten des 90° Versuchs mithilfe des Einstichproben-t-Tests ausgewertet. Hier zeigte sich wieder, dass die Teilnehmenden das Durchlaufen positiv bewerteten, womit die Proban:dinnen wiederum nur bestätigten, dass eine Fortbewegung auch im unter 90° gekippten Bus möglich ist.

Aus der zahlenmäßig deutlich selteneren Anforderung von zusätzlichen Hilfsmaßnahmen folgt, dass in einer Endlage von 90° weniger Schwierigkeiten bei der Fortbewegung bestanden (11% der Proband:innen hielten keine unterstützenden Maßnahmen für erforderlich). Allerdings gaben 64% der Teilnehmenden an, dass zusätzliche Griffe sinnvoll seien. Auch ein größerer Abstand zwischen Gepäckablage und Kopfstützen (36%), sowie zusätzliche Trittflächen (19%) und eine Verkleinerung der Gepäckablage (17%) wurde von einem Teil der Personen genannt.
Im Freifeld des Fragebogens wurde ebenfalls darauf hingewiesen, dass die Information, dass die Fensterscheiben begehbar sind und dass man sie betreten darf, helfen würde (siehe Anhang III).

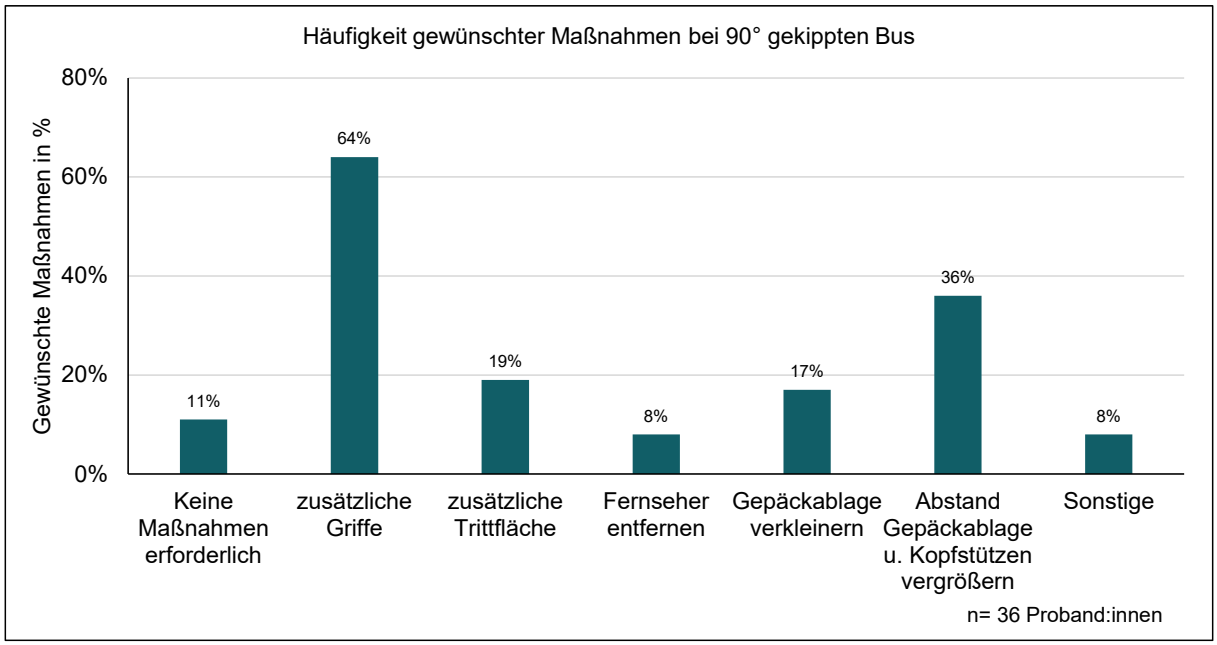


Abbildung 28: Maßnahmen zur Verbesserung des Vorankommens im um 90° gekippten Bus

Die Auswertung des Videomaterials zeigte, dass sich die Proband:innen in diesem Versuch ohne störendende Gegenstände, wie zum Beispiel loses Gepäck, oder Behinderung durch andere Fahrgäste sehr leicht durch den um 90° gekippten Bus bewegen können. Selbst für große und korpulente Personen war in dieser Situation ein Vorankommen problemlos möglich. Das lässt sich zum einen begründen mit einer sich ergebenden großen Gangbreite zwischen der Gepäckablage und den Sitzlehnen. Zum anderen bot die sich aus den Seitenfenstern ergebende Trittfläche einen guten Untergrund.



Abbildung 29: Fortbewegung im Bus bei 90° Kippwinkel

7.3.5 Bewertung der Fortbewegung zum Notausstieg in der Endlage 90°

Basierend auf den unter Coronaschutzbedingungen stattfindenden Versuchen mit jeweils nur einer Person kann bereits erkannt werden, dass in einem vollbesetzten Bus für vier Personen pro Sitzreihe ein nur sehr eingeschränktes Stehplatzangebot auf der Seitenscheibe vorhanden ist.
Aussagen über die strukturelle Tragfähigkeit der Seitenscheiben bei dieser Belastung konnten nicht getroffen werden.

7.3.6 Identifikation nutzbarer Notausstiege in der Endlage 30°

Fast alle Teilnehmenden (95%) identifizierten die Seitenfenster als geeigneten Notausstieg. Hier scheint die Vermutung naheliegend, dass die gute Kennzeichnung und die offensichtliche Anbringung des Nothammers diesen Ausstieg besonders ins Bewusstsein rücken. Auch die Betriebstür (76%) und die Dachluke (68%) wurden von einem hohen Anteil der Versuchspersonen erkannt. Die geringe Identifikation der Heckscheibe als Notausstiegsmöglichkeit zeigt Handlungsbedarf auf, denn nur 22% aller Teilnehmenden erkannten die Heckscheibe als Ausstieg.

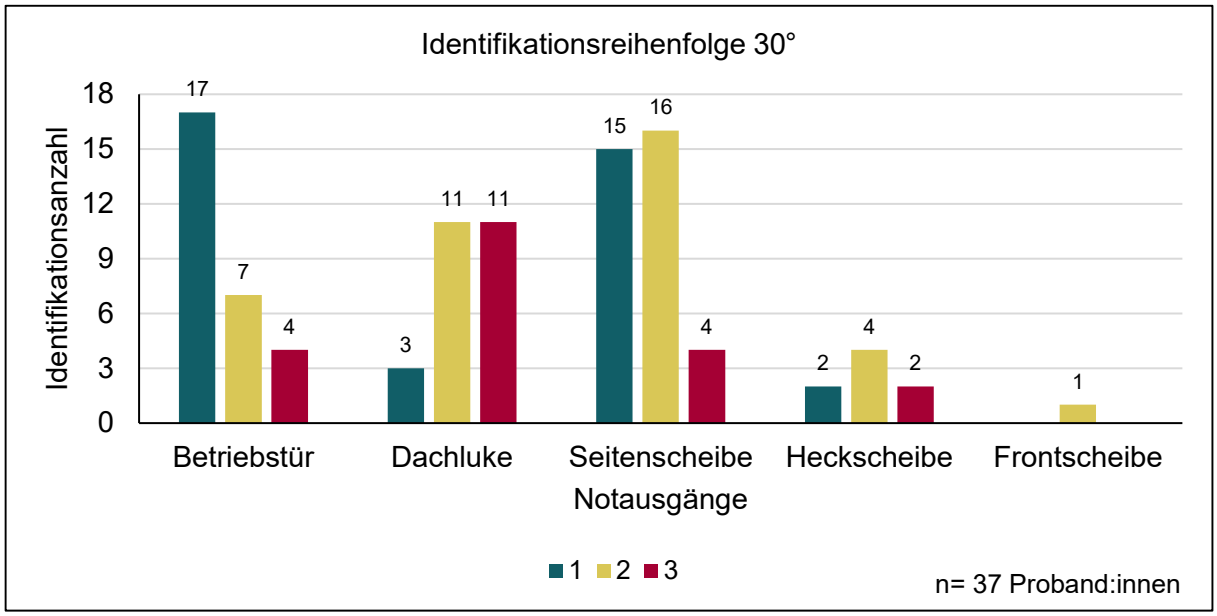


Abbildung 30: Identifikationshäufigkeit und -reihenfolge von Notausstiegsmöglichkeiten in der Endlage 30°

Ebenso wurde die Identifkationsreihenfolge der möglichen Notausstiege durch die Proband:innen ausgewertet: Bei einem Kippwinkel von 30° wurde die Betriebstür von den Teilnehmenden als erstes identifiziert, unmittelbar gefolgt von den Seitenfenstern. Die Frontscheibe wurde nur einmal als potenzielle Evakuierungsöffnung erkannt.

7.3.7 Identifikationshäufigkeit und -reihenfolge bei 30° Endlage

Insbesondere in 30°-Endlage können die Betriebstüren und die Seitenscheiben nicht nutzbar sein, sodass die Frontscheibe noch vor den Dachluken die einfachste und technisch sinnvollste Evakuierungsöffnung ist. Aufgrund der heute verwendeten Scheibentechnologien kann die Frontscheibe von innen ohne technische Hilfsgeräte nicht geöffnet werden, sodass diese aktuell zur Evakuierung nicht zur Verfügung steht. Gelingt es, geeignete Konzepte zur Öffnung der Frontschreibe zu installieren und diese über eine Kennzeichnung als Notausstieg zu identifizieren, eröffnet sich hier eine einfach zu erreichende Evakuierungsmöglichkeit aus verunglückten Reisebussen in nicht aufrechter Endlage.

Kennzeichnungen und geeignete Lichtkonzepte können die Identifikation alternativer geeigneter Ausstiege erleichtern.

7.3.8 Identifikation nutzbarer Notausstiege in der Lage 90°

Die Frontscheibe (81%) und die Heckscheibe (86%) wurden beide ähnlich häufig als Ausstieg erkannt. Auch die oberen Seitenfenster (86%) wurden als Notöffnung identifiziert, obwohl diese von den Proband:innen in der gekippten Lage nur schwer zu erreichen und öffnen sind und keine sichere Fluchtmöglichkeit bieten. Die Dachluke, welche in der gekippten Buslage die beste Möglichkeit zum Ausstieg bot, wurde nur von 61% der Proband:innen erkannt. Da der Reisebus in der Position 90° auf den Betriebstüren lag, war die geringe Identifikation (19%) dieses Ausstiegs zu erwarten.
Die Auswertung der Identifikationsreihenfolge der unterschiedlichen Notausstiege ergab, dass bei einem Kippwinkel von 90° die Frontscheibe von den Proband:innen als erstes identifiziert wurde. Auch wenn die Dachluke insgesamt seltener erkannt wurde, wurde sie fast ebenso häufig wie die Frontscheibe als erstes identifiziert. Besonders auffällig ist, dass die Heckscheibe im Verhältnis zur Frontscheibe erst spät als Ausstieg erkannt wird. Dies kann durch die letzte Sitzreihe, welche die Heckescheibe zu circa zwei Drittel verdeckt und die mangelnde Kennzeichnung begründet sein.

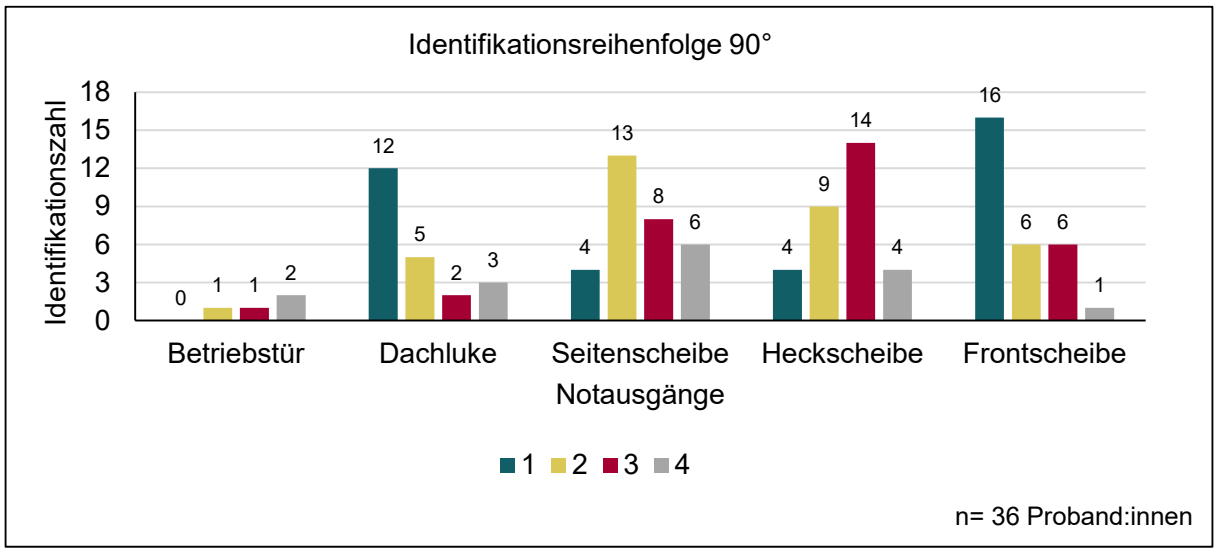


Abbildung 31: Identifikationsreihenfolge in der Endlage 90°

7.3.9 Identifikationshäufigkeit und -reihenfolge bei 90° Endlage

In der 90°-Endlage sind die Betriebstüren und die Seitenscheiben nicht nutzbar, sodass wiederum die Frontscheibe neben den Dachluken und der Heckscheibe eine einfache und ergonomisch sinnvolle Evakuierungsöffnung darstellen würde.
Kennzeichnungen und geeignete Lichtkonzepte können die Identifikation der Heckscheibe als alternativen Ausstieg unterstützen.

7.3.10 Bedienbarkeit des Heckausstiegs in der 90° Lage



Abbildung 32: Klappmechanismus der hinteren Sitzreihe

Zur Evaluierung der Bedienbarkeit und intuitiven Handhabung des Klappmechanismus der letzten Sitzreihe vor der Heckscheibe wurde ein Einstichproben t-Test durchgeführt. Dieser ergab eine signifikant positive Bewertung. Die meisten Teilnehmenden gaben an, dass der Mechanismus zwar schwer zu erkennen, aber leicht zu bedienen sei. Die resultierende Gesamtnote des Klappmechanismus belief sich auf 2,36 im Schulnotensystem.

7.3.11 Durchstieg durch die Dachluke unter realistischen Randbedingungen



Abbildung 33: Ausstiegsmöglichkeiten aus der Dachluke

Es zeigte sich beim Durchsteigen der Dachluke des um 90° gekippten Busses, dass ein Großteil der Teilnehmenden die Hände zum Abstützen auf der Dachlukenkante verwenden musste. Auch wurde oft die Möglichkeit genutzt, sich kurzzeitig auf der Luke abzusetzen, um sich dann abzustoßen und abzuspringen. Die Videoanalyse zeigt, dass 77% zunächst das rechte und anschließend das linke Bein aus der Luke bewegen. Lediglich 8,6% der Proband:innen stützen sich nicht im Dachlukenausschnitt ab, sondern nutzten Sitzlehne und Gepäckablage innerhalb des Busses zum Abstützen und schwangen dann beide Beine gleichzeitig durch die Dachluke.

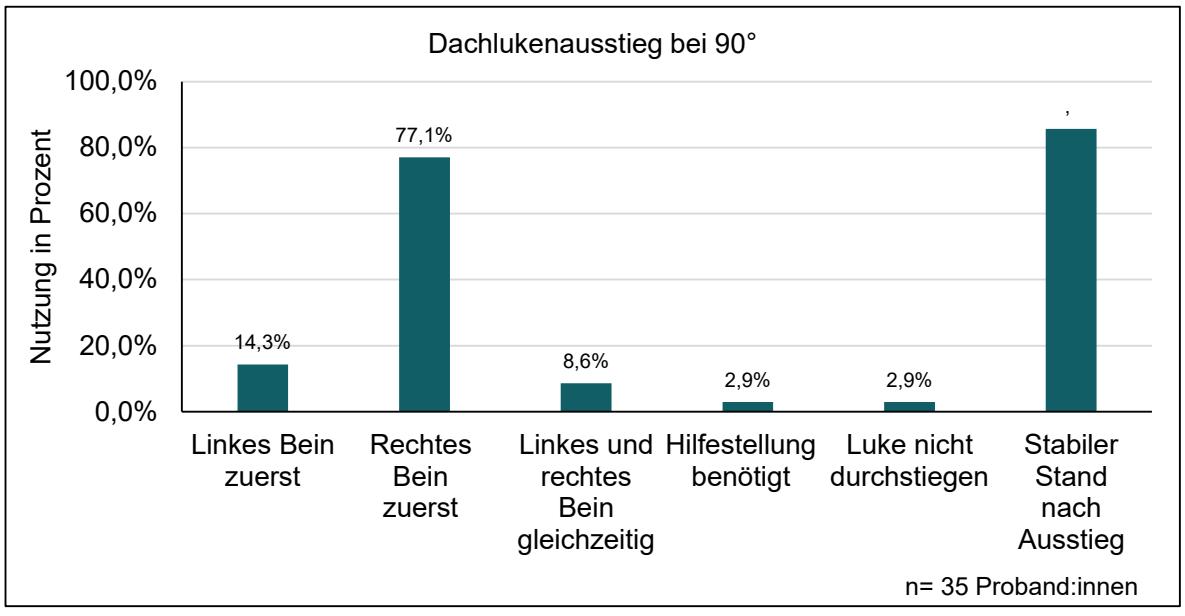


Abbildung 34: Analyse der Bewegungsmuster des Dachlukenausstiegs unter 90° Endlage

Fast alle Probanden:innen nutzten die Dachluke als Ausstieg und 85,7% der Proband:innen erreichen nach dem Ausstieg einen sicheren Stand. Allerdings war es einer Versuchsperson nicht möglich, den Bus über den längseingebauten Dachlukenausstieg zu verlassen, sie musste den Bus wieder über die Einstiegsleiter im Fahrerbereich verlassen.
Weiterhin benötigten 2,9% der Proband:innen Hilfestellung beim Ausstieg aus der Dachluke. Dies zeigt sich besonders bei Bewegungen, die einen gekrümmten Rücken sowie einen großen Spreizungswinkel der Beine erfordern. Ursache hierfür ist die große Schritthöhe zwischen der Dachlukenunterkante und dem Untergrund.

7.3.12 Bewertung des Durchstiegs durch die Dachluke unter realistischen Randbedingungen

Im Versuchsaufbau mit 90°-Endlage lag bereits die kleinstmögliche Schritthöhe zwischen Dachlukenunterkante und Untergrund vor. Dennoch benötigten einige Proband:innen Unterstützung. Dieser Hilfsbedarf wird in realen Unfällen mit Endlagen deutlich häufiger vorkommen. Kritisch ist zu bewerten, dass eine ältere, aber nicht mobilitätseingeschränkte Versuchsperson keine Möglichkeit fand, den Bus durch die Dachluke zu verlassen.

7.3.13 Schlussfolgerungen

Aus den Tests im Gesamtfahrzeug konnten bereits einige Potenziale für Verbesserungsmaßnahmen abgeleitet werden. Angesichts der Schwierigkeiten der Proband:innen beim Durchschreiten des Busses in 30°-Lage ergab sich die zusätzliche Fragestellung, wie sich ein angeschnallter Insasse in dieser Lage vom Gurtsystem befreien und in Sicherheit bringen kann. Um diesen Aspekt detailliert zu untersuchen und gleichzeitig das Verbesserungspotenzial einer querliegenden Dachluke insbesondere für die Selbstrettung kleinerer oder mobilitätseingeschränkter Personen bestimmen zu können, sollte nachfolgend ein Busabschnitt als generischer Versuchsträger gebaut werden.

8 Probandenstudien zur Evakuierung mittels eines Versuchsträger

Nach den Erkenntnissen aus den praktischen Versuchen am Reisebus wurde für systematische Analysen ein „Evakuierungssimulator“ aufgebaut, der mit identischen Maßen den Innenraum eines Reisebusses simuliert. Dieser Versuchsträger lässt sich um die Längsachse kippen und bildet einen Abschnitt eines Busses der Modells NEOPLAN Cityliner N116 nach.

Ein aus Stahl-Quadratrohren zusammengeschweißter Rahmen bildet den Grundträger, der in drei Segmente unterteilt ist: Das untere Segment umfasst den Boden und die Sitzverankerung, auf der die Sitzreihen des Busses verschraubt sind. Das mittlere Segment besteht aus vier Quadratrohren, die der Höhenverstellung des Daches dienen, und aus verstellbaren Längsträgern, die die Unterkante des Seitenfensters definieren. Das obere Segment bildet das Dach des Busabschnittes. In diesem verschweißten Rahmen sind verstellbare Längsträger integriert, so dass unterschiedliche Größen von Dachluken nachgestellt werden können.

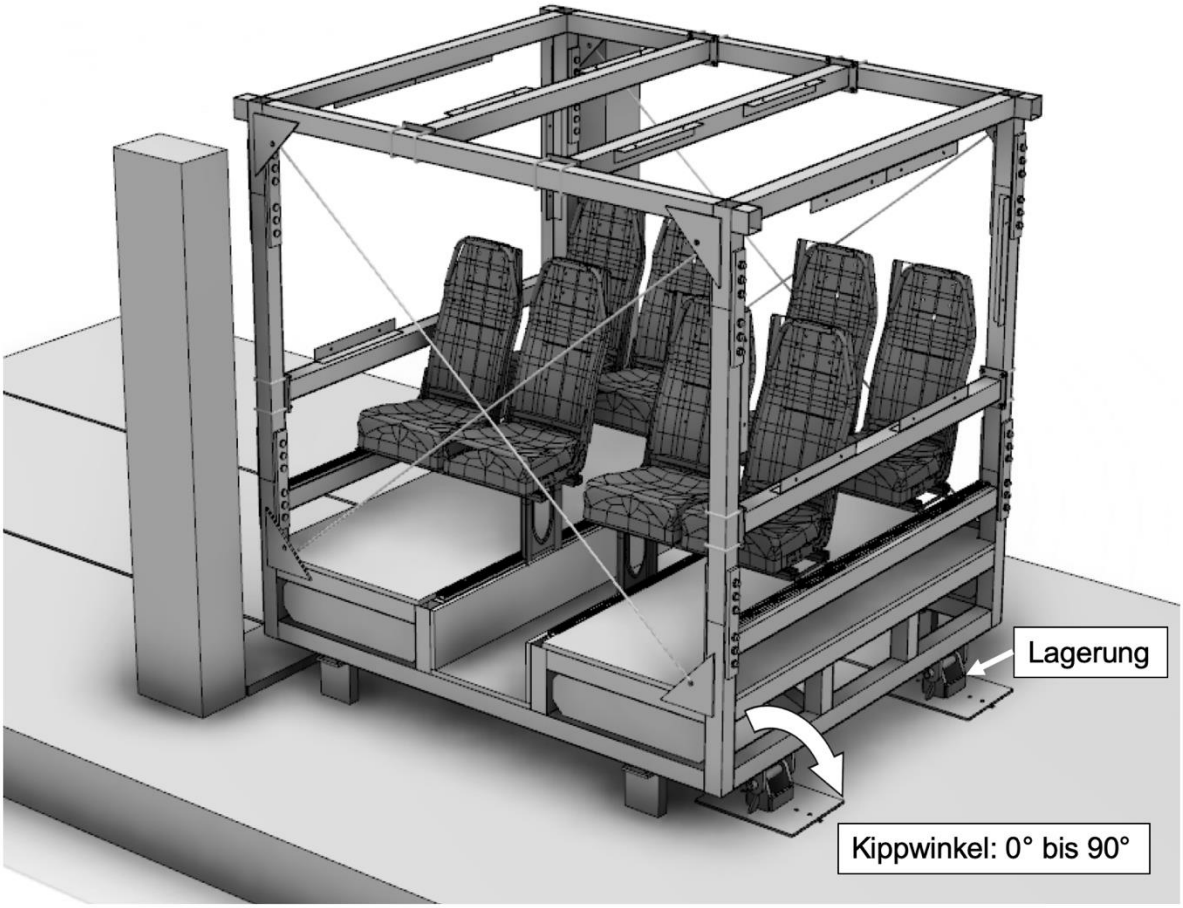


Abbildung 35: CAD-Modell des Versuchsträgers

Der Versuchsträger wurde mit zwei vollständigen Sitzreihen, also vier Doppelsitzen, eines Reisebusses ausgestattet, die auf Befestigungsschienen, wie sie auch in Reisebussen verbaut sind, befestigt sind. Zum Nachstellen verschiedener Schräglagen wird der Versuchsträger mit Hilfe eines Hallenkrans in unterschiedliche Winkel gekippt, wobei der Drehpunkt auf einem Schienensystem im Hallenboden fixiert ist. Hat der Versuchsträger den geforderten Winkel erreicht hat, wird dieser für die Versuche mit Hilfe von ebenfalls im Hallenboden-Schienensystem fixierten Schrägstützen gesichert und steht so in beliebiger Position für die Proband:innenversuche zur Verfügung.



Abbildung 36: Versuchsträger in 30° Kippstellung mit Sicherungsstützen

8.1 Einfluss der Dachlukengeometrie auf die Ausstiegskinematik

Die statistische Auswertung der Busunfälle hat gezeigt, dass linksgelenkte Reisebusse bei Unfällen mit Umsturz häufiger auf der rechten Seite, also der Beifahrerseite, zu liegen kommen. Daher können die Betriebstüren meist nicht als Ausstieg verwendet werden. Auch der Fluchtweg durch die Frontscheibe des Fahrzeugs ist meist nicht nutzbar, da diese aus Sicherheitsverbundglas besteht und von innen nur schwer zerschlagen werden kann, um als Fluchtweg zu dienen. In einem solchen Szenario verbleiben allerdings der Ausstieg aus dem Heck des Reisebusses sowie die Nutzung der Dachluken im Dach des Fahrzeugs. Die Auswertung der Reisebusunfälle hat jedoch ebenso gezeigt, dass die Dachluke nur in 50% der Reisebusunfälle mit einem Busumsturz durch die Insassen als Ausstieg gewählt wurde.

Die Ursache hierfür kann im Fahrzeug-Package liegen: Dieses zeigt, dass in einer 90° Endlage des Busses der Höhenunterschied zwischen der untenliegenden Seitenwand des Fahrzeugs und der unteren Kante der Dachluke ca. 930 mm beträgt. Die biometrische Analyse zeigt, dass die maximale Schritthöhe einer männlichen Person des 95. Perzentils in der Altersgruppe 18-25 Jahre 920 mm beträgt. Selbst bei dieser Personengruppe fehlen also bereits 10 mm, um die 930 mm Schwellenhöhe zu

überwinden. Bei einer weiblichen (18-65 Jahre) Person des 50. Perzentils fehlen schon 1 mm, so dass ein Großteil der Insassen die Dachluke nicht „durchsteigen“ und außerhalb des Busses den Fuß auf den Boden setzen kann.

Für die Einbaulage der Dachluke existiert keine Vorschrift. In der Richtlinie ECE R 107 muss die Dachluke lediglich mindestens eine rechteckige Fläche von 450.000 mm² aufweisen und die Mindestlängen der Kanten dürfen nicht kleiner als 700 mm x 600 mm sein. Die Dachluken werden daher von den Busherstellern in der Regel mittig in der Längsachse des Busses platziert und schon aufgrund der Orientierung der Trägerstruktur der Busse so eingebaut, dass die Längsseite der Dachluke parallel zur Längsseite des Busses positioniert ist.

Vor dem Hintergrund der oben angesprochenen Schwierigkeiten beim Durchsteigen der Dachluke stellen sich die Fragen, welche Hindernisse beim Ausstieg aus einer Dachluke auftreten können und ob eine Änderung der Einbaulage der Dachluke eine verkürzte Ausstiegsdauer erreicht werden kann. Im Rahmen einer Versuchsreihe mit Proband:innen wurde daher mit dem Versuchsträger experimentell überprüft, ob eine quereingebaute Dachluke gegenüber einer längseingebauten Dachluke hinsichtlich der benötigten Ausstiegszeit überlegen ist.

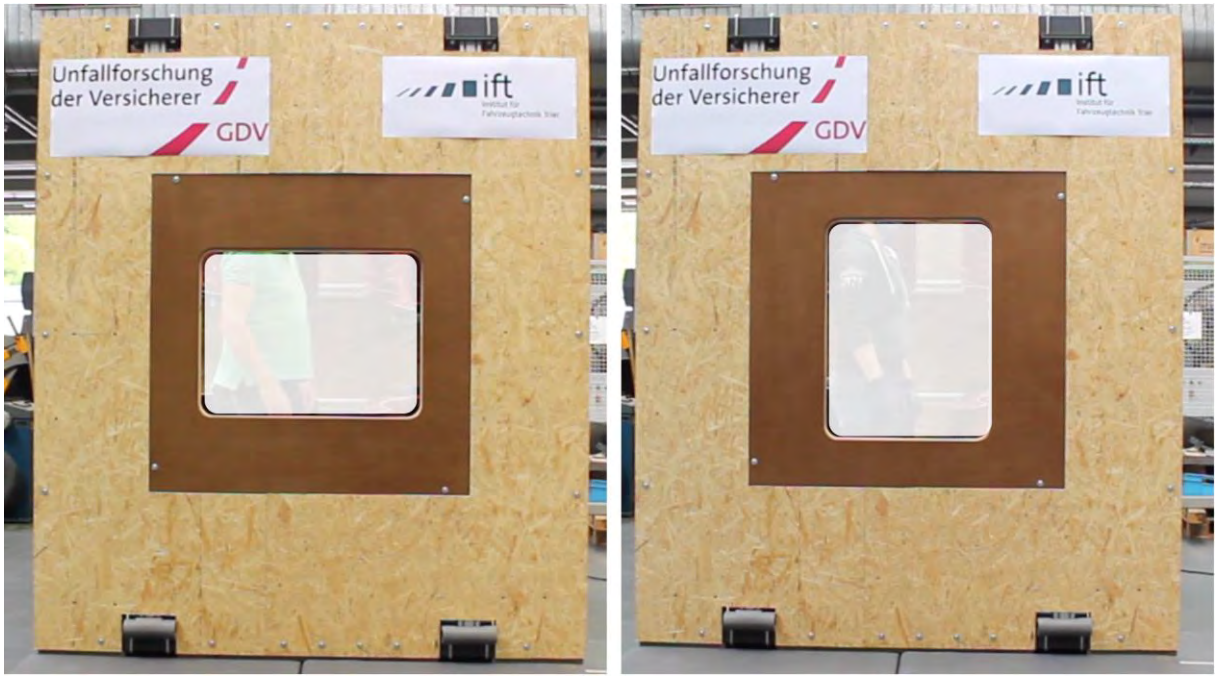


Abbildung 37: Längseingebaute und quereingebaute Dachluke im Versuchsträger

In diesem Experiment sollte statistisch überprüft werden, ob eine quereingebaute Dachluke kürzere Ausstiegszeiten der Teilnehmer im Vergleich zur längs eingebauten Dachluke zur Folge hat.
Damit sollte auch die Frage geklärt werden, ob der Ausstieg aus der längs eingebauten Dachluke von den Teilnehmern als körperlich beanspruchender wahrgenommen wird und ob die subjektive Bewertung für eine längs eingebaute Dachluke schlechter ausfällt als für eine quer eingebaute Dachluke.
Final wurden die Zusammenhänge zwischen Körpergröße, persönlicher Fitness und Bewertung der Proband:innen analysiert, um zu überprüfen, ob diese Eigenschaften eine Nutzung der Dachluke im Ernstfall begünstigen beziehungsweise behindern können.

8.2 Versuchsaufbau

Für diesen Versuch wurde der Versuchsträger in Seitenlage gekippt, so dass ein 90°- Busumsturz simuliert wurde. Die Proband:innen hatten die Aufgabe, den umgestürzten Simulator möglichst schnell durch die Dachluke zu verlassen. Innerhalb des Versuchsträgers war eine Markierung für den Startpunkt angebracht, die die Startposition kennzeichnet. Die Dachluke wurde im Versuchsträger für die erste Probandengruppe längs und für die zweite Probandengruppe quer eingebaut. Der Außenbereich war zum Schutz der Proband:innen mit Bodenmatten ausgelegt.

Die jeweils erforderliche Schritthöhe für die längs und quer eingebaute Dachluke ergibt sich aus den Maßen der Dachluke, die bei einem Neoplan Cityliner mit einer Fahrzeugbreite von 2330 mm mittig montiert wurde:

- Länge der Dachluke = 800 mm
- Breite der Dachluke = 600 mm
- Höhe Unterkante Dachluke bis zum Boden bei Längseinbau = 865 mm
- Höhe Unterkante Dachluke bis zum Boden bei Quereinbau = 765 mm



Abbildung 38: Versuchsträger für Evakuierungsversuche in 90°-Lage

8.3 Beschreibung der Versuchsdurchführung

Da bei wiederholtem Durchsteigen der Dachluke die Möglichkeit der Optimierung des Durchstiegsvorgangs besteht, wurden die Proband:innen in zwei Gruppen eingeteilt, sodass Übungseffekte ausgeschlossen werden konnten. Die erste Gruppe hatte die Aufgabe, den Versuchsträger durch die längs eingebaute Dachluke zu verlassen, die zweite Gruppe durch die quer eingebaute Dachluke. Alle Teilnehmende führten den Versuch einzeln durch, sodass sich zeitgleich ausschließlich diese Person im Versuchsträger befand und auch die weiteren Proband:innen keine Ausstiegsstrategien der anderen Teilnehmer übernehmen konnten.



Abbildung 39: Durchstieg durch Dachluken in Längs- und Querrichtung

Zu Beginn des Versuches wurde jeder Proband von der Versuchsleitung in den Versuchsablauf eingewiesen. Alle Proband:innen erhielten unabhängig von der Einbaulage gleichlautende Instruktionen.

Sie wurden zunächst angewiesen, sich innerhalb des Versuchsträgers auf eine definierte Position innerhalb des Versuchsträgers zu begeben. Von dort aus sollten sie den Versuchsträger nach einem Startsignal schnellstmöglich verlassen, wobei die Art und Weise, auf die die Dachluke durchstiegen wurde, freigestellt war.

Der Versuch galt als erfolgreich durchgeführt, wenn die Person außerhalb des Versuchsträgers mit beiden Füßen zum Stehen kam. Die benötigte Zeit vom Startsignal bis zum festen Stand wurde dokumentiert.

Nach der Durchführung des Ausstiegs erhielt die Versuchsperson einen Fragebogen (siehe Anhang IV).

Für eine Analyse der Bewegungsmuster wurde der Versuch nach Zustimmung der Proband:innen mit zwei Kameras aufgezeichnet. Schließlich wurden die Körperproportionen über ein maßstabgetreues Foto erfasst. Alle Daten wurden anonymisiert und gespeichert.

8.4 Ergebnisse der Ausstiegsversuche

8.4.1 Statistische Analyse der Stichprobe

A priori erfolgte die Stichprobenumfangsplanung mit dem Programm „G*Power 3.1“ [24]. Bei einem Alpha-Fehler-Niveau von 0,05, einer Teststärke von 0,95 und einem erwarteten Effekt Cohens d von 0,80 ergab sich eine Stichprobengröße von mindestens 70 Proband:innen.

Am Evakuierungsversuch nahmen insgesamt 74 Personen teil, 37 Proband:innen je Gruppe. Der Altersdurchschnitt betrug 28,3 Jahre (Median: 25,5 Jahre; Range: 17–59 Jahre). Von den Teilnehmenden waren 78,4% männlich und 21,6% weiblich. Im Durchschnitt waren die Proband:innen 1,79 m groß und wogen 78,9 kg. Die Alters-, Geschlechter-, Größen- und Gewichtsverteilung sowie die körperliche Fitness unterschied sich nicht signifikant zwischen beiden Gruppen und kann somit als gleich angenommen werden ($p > 0,05$).

8.4.2 Analyse der Ausstiegszeit

Gemäß der formulierten Erwartung zeigt der t-Test für unabhängige Stichproben einen signifikanten Unterschied in der Ausstiegszeit zwischen den beiden Einbaulagen ($t(72)=1,95$, $p=0,03$, $d=0,46$).

Wie in Abbildung 40 zu sehen ist, waren die Proband:innen beim Ausstieg aus der quereingebauten Dachluke (Mittelwert M=3,61 s; Standardabweichung SD=0,95 s) schneller als beim Ausstieg aus der längseingebauten Dachluke (M=4,17 s; SD=1,44 s).

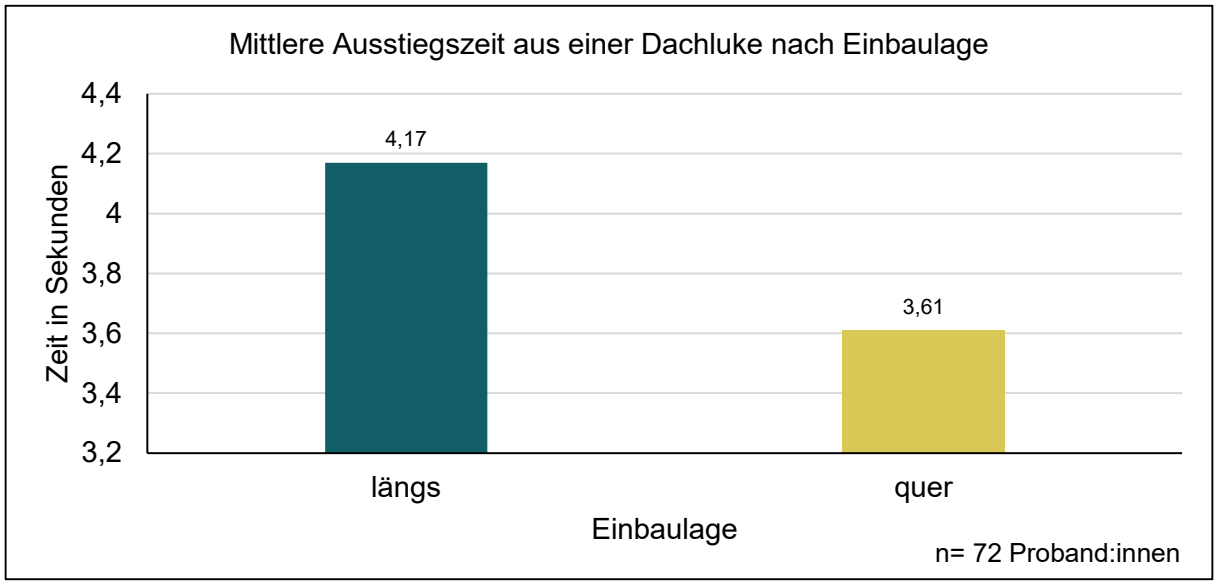


Abbildung 40: Erster Vergleich der mittleren Ausstiegszeit nach Einbaulage

Die Korrelationsanalyse zeigt eine Verlängerung der Ausstiegszeit mit steigendem Alter (r=0,50) oder höherem Körpergewicht (r=0,42). Die Vermutung, dass aufgrund der zu überwindenden Ausstiegshöhe kleinere Personen längere Ausstiegszeiten aufweisen würden, bestätigte sich also nicht, hier konnte kein signifikanter Zusammenhang nachgewiesen werden. Allerdings ist dann die Schlussfolgerung erlaubt, dass nicht kleine Menschen, sondern eher adipöse und ältere Menschen bei der Evakuierung aus Reisebussen benachteiligt sind.

Schließlich nimmt mit zunehmender Ausstiegszeit auch die Benotung des Ausstiegssystems höhere Werte an (r=0,27), das heißt Personen die mehr Zeit für den Ausstieg benötigen, vergeben schlechtere Noten für das Evakuierungssystem.

Tabelle 9: Ergebnisse der Korrelationsanalyse (r-Werte)

		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
(1)	Ausstiegszeit							
(2)	Körperliche Belastung	.153						
(3)	Subjektive Bewertung	-.156	-.352**					
(4)	Gesamtnote	.271*	.297*	-.587**				
(5)	Alter	.499**	.197	-.103	.148			
(6)	Größe	.107	-.029	-.128	-.122	.124		
(7)	Gewicht	.417**	.068	-.206	.000	.492**	.640**	
(8)	Körperlicher Zustand	-.185	-.252*	-.015	-.055	-.353**	-.041	-.169
* Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (2-tailed)								
** Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (2-tailed)								

8.4.3 Körperliche Beanspruchung beim Durchstieg der Dachluke

In der Versuchsplanung wurde erwartet, dass der Ausstieg aus der längs eingebauten Dachluke als körperlich beanspruchender wahrgenommen wird als der Ausstieg aus einer quer eingebauten Dachluke. Die Auswertung und Analyse der Skala weist zwar Mittelwertunterschiede in der erwarteten Richtung auf (längs: M=2,32, SD=0,93; quer: M=2,19; SD=1,13), der Unterschied der empfundenen Belastung wurde jedoch in der Korrelationsanalyse nicht als signifikant bewertet (t(72)=0,56, p=0,29).

Die Korrelationsanalyse zeigte jedoch einen Zusammenhang zwischen der individuellen körperlichen Verfassung und der empfundenen Belastung (r=-0,25). Je schlechter der eigene körperliche Zustand bewertet wurde, desto höher wurde die körperliche Belastung beim Ausstieg eingeschätzt. Das stärkt die Vermutung, dass gerade Personen mit körperlichen Beeinträchtigungen bei der Evakuierung aus der Dachluke eines Reisebusses Schwierigkeiten haben könnten.

8.4.4 Bewertung des Durchstiegs der Dachluke

Entsprechend der eingangs aufgestellten Hypothese sollte die quer eingebaute Dachluke von den Proband:innen besser bewertet werden, als die längseingebaute Dachluke. In der Auswertung des Fragebogens zeigte sich jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen den Einbaulagen hinsichtlich der subjektiven Bewertung,

t(72)=0,66, p=0,26, obwohl auch hier deskriptiv geringe Mittelwertunterschiede in der erwarteten Richtung erkennbar sind (längs eingebaute Dachluke: M=4,45; SD=0,84; quer eingebaute Dachluke: M=4,58; SD=0,85).

Die Analyse der Gesamtbenotung (Schulnotensystem, Note 1=„sehr gut“ bis 6=„ungenügend“) zeigt hingegen den erwarteten signifikanten Effekt, t(2)=1,9 ; p=0,03. So wird die quer eingebaute Dachluke im Hinblick auf die Evakuierung mit einer Durchschnittsnote von 2,14 (SD=0,82) knapp eine halbe Note besser bewertet als die längs eingebaute Dachluke mit einer Note von 2,54 (SD=0,96) (siehe Anhang IV).

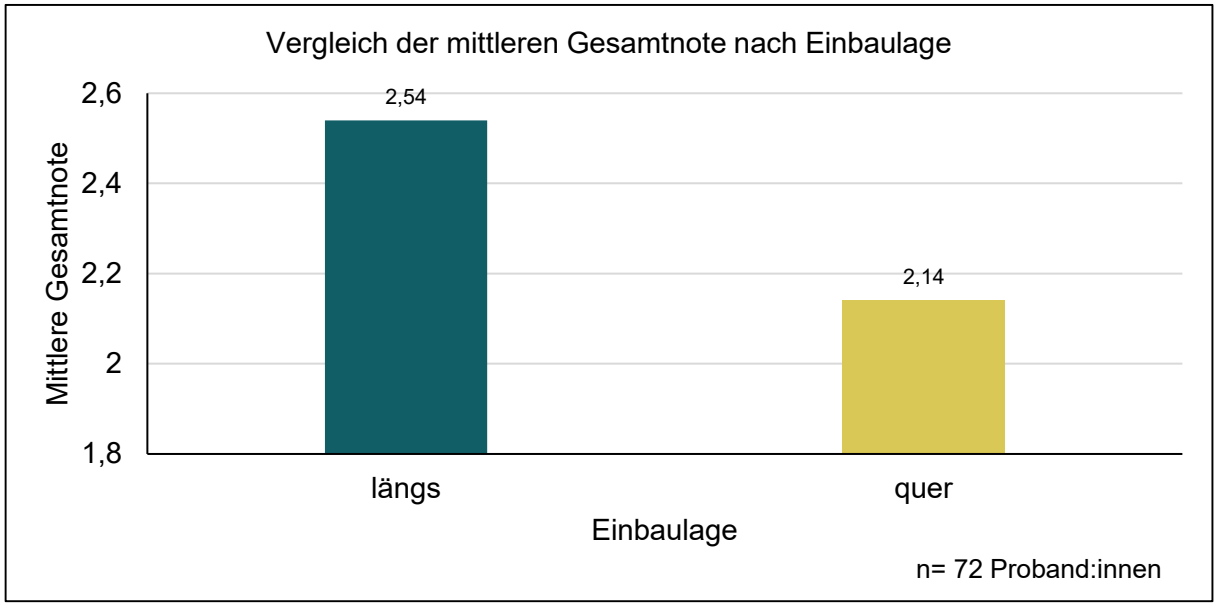


Abbildung 41: Bewertung der Einbaulage der Dachluke im Schulnotensystem im Hinblick auf die Evakuierung

Die Korrelationsanalyse zeigte ergänzend einen signifikanten Zusammenhang zwischen der wahrgenommenen körperlichen Belastung beim Durchstieg und der subjektiven Bewertung der Dachluke (r=-0,35) sowie der Gesamtnote (r=0,297). Wurde der Ausstieg von den Proband:innen als körperlich belastender eingestuft, so wurde diese Einbaulage schlechter bewertet und die Teilnehmenden vergaben eine schlechtere Gesamtnote für die Variante.

8.4.5 Einschätzung der benötigten Fähigkeiten

Für den deskriptiven Vergleich der beiden Einbaulagen der Dachluken wurde getrennt voneinander eine Frequency-Analyse vorgenommen. So ergaben sich für die einzelnen Ausprägungen der benötigten Fähigkeiten zum Durchstieg durch die Dachluke die in Abbildung 42 dargestellte Häufigkeitsverteilungen. Bei beiden Einbaulagen wird die erforderliche körperliche Beweglichkeit als besonders wichtig beurteilt und bestätigt damit den möglichen Nachteil eines hohen Körpergewichts oder fortgeschrittenen Alters beim Ausstieg aus der Dachluke. Der größte Unterschied zwischen den beiden Einbaulagen zeigt sich in der Notwendigkeit von Koordinationsfähigkeit, die bei der längseingebauten Dachluke häufiger genannt und von mehr Teilnehmern als besonders herausfordernd wahrgenommen wurde.

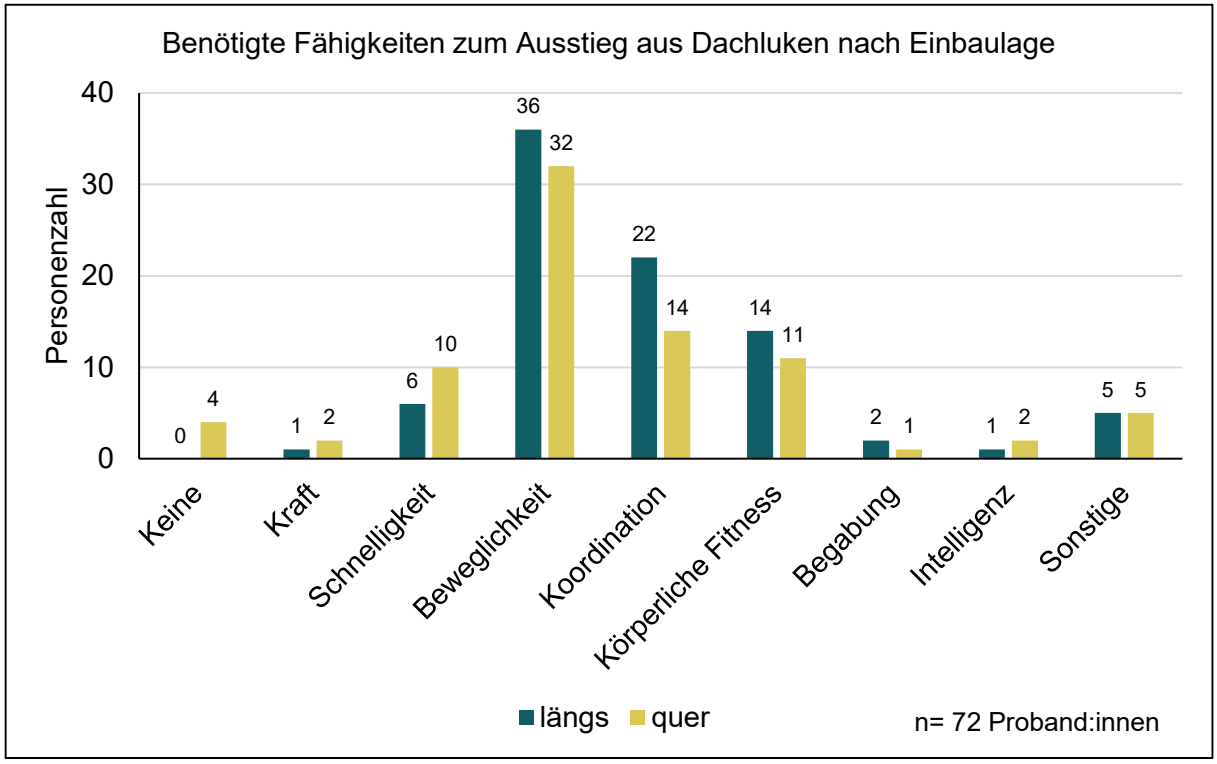


Abbildung 42: Einschätzung der benötigten Fähigkeiten der Proband:innen beim Durchsteigen von längs- oder quereingebauten Dachluken

8.4.6 Videoanalyse der Durchstiegsversuche

Mit Einverständnis der Proband:innen konnten 71 Videoaufnahmen angefertigt werden. 37 Videoaufnahmen wurden vom Durchstieg der längs eingebauten Dachluke

aufgenommen. Die Analyse dieser Videos zeigt, dass 56,8% der Proband:innen einen seitlichen Durchstieg mit der Körperflanke voran präferierten. Die verbleibenden 43,2% der Proband:innen stiegen mit der Körperfront durch die Öffnung der längs eingebauten Dachluke. Auffallend sind die ähnlichen Bewegungsabläufe: 56,8% stiegen als erstes mit dem rechten Bein aus der Dachluke, 24,3% wählten das linke Bein und 18,9% verließen den Versuchsträger mit dem Oberkörper voraus.
Fast alle Versuchspersonen (97,3%) setzten beim Durchstieg die Hände zum Abstützen auf dem Rand der Dachluke ein. Niemand konnte den Versuchsträger verlassen, ohne den Rahmen der Dachluke zu berühren. Über ein Drittel der Personen (37,8%) nutzten den Rahmen der Luke, um mit dem Gesäß dort aufzusitzen. Die Videoanalyse zeigte, dass bei diesen Proband:innen entweder die Beinlänge nicht lang genug war, um auf der Ausstiegseite den Boden zu erreichen und sie daher zwangsläufig auf dem Rahmen aufsitzen mussten, oder die Proband:innen nutzten den Rahmen nur, um sich den Ausstieg zu erleichtern.

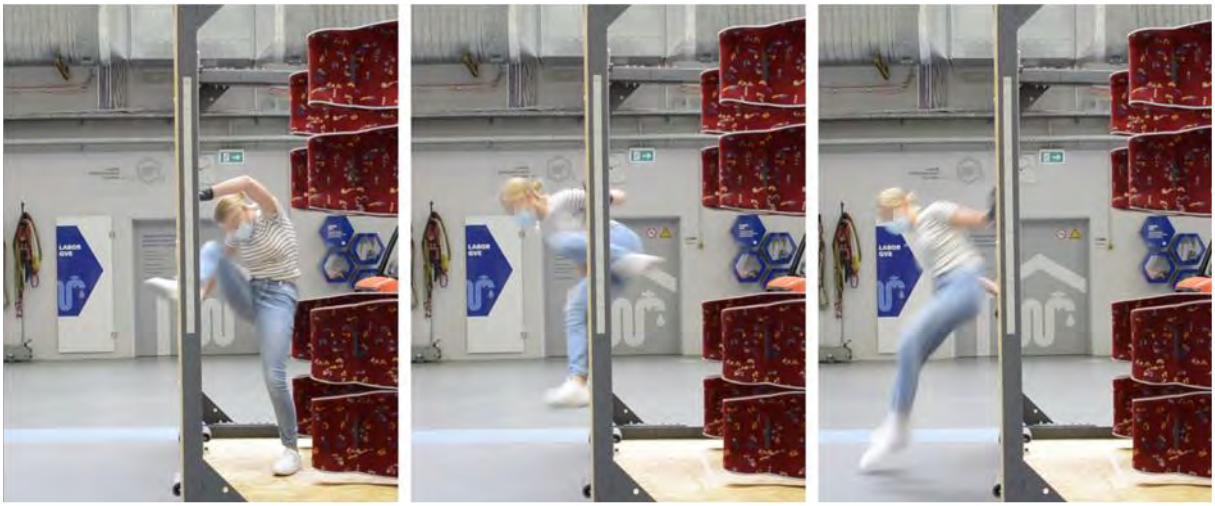


Abbildung 43: Durchsteigekinematik bei längs eingebauter Dachluke

Nach dem Durchstieg erreichten 70,3% Proband:innen auf der Ausstiegseite unmittelbar einen stabilen Stand. 29,7% hatten hingegen einen unsicheren Stand, das heißt sie schwankten und mussten die Fußstellung korrigieren, oder sie stürzten auf die Weichbodenmatte. Es wurde kein geschlechtsspezifisches Durchstiegsverhalten beobachtet. Im Gegensatz zur längs eingebauten Luke wurde bei der quer eingebauten Dachluke von 57,6% der Teilnehmenden ein frontaler Durchstieg bevorzugt, wohingegen 42,4% den Durchstieg mit der Körperflanke voraus

präferierten. Auch bei dieser Einbaulage zeigen sich ähnliche Bewegungsabläufe: Die meisten Proband:innen (63,6%) stiegen als erstes mit dem rechten Bein aus der Dachluke, 24,2% wählten das linke Bein und 12,1% verließen den Versuchsträger mit dem Oberkörper voraus.

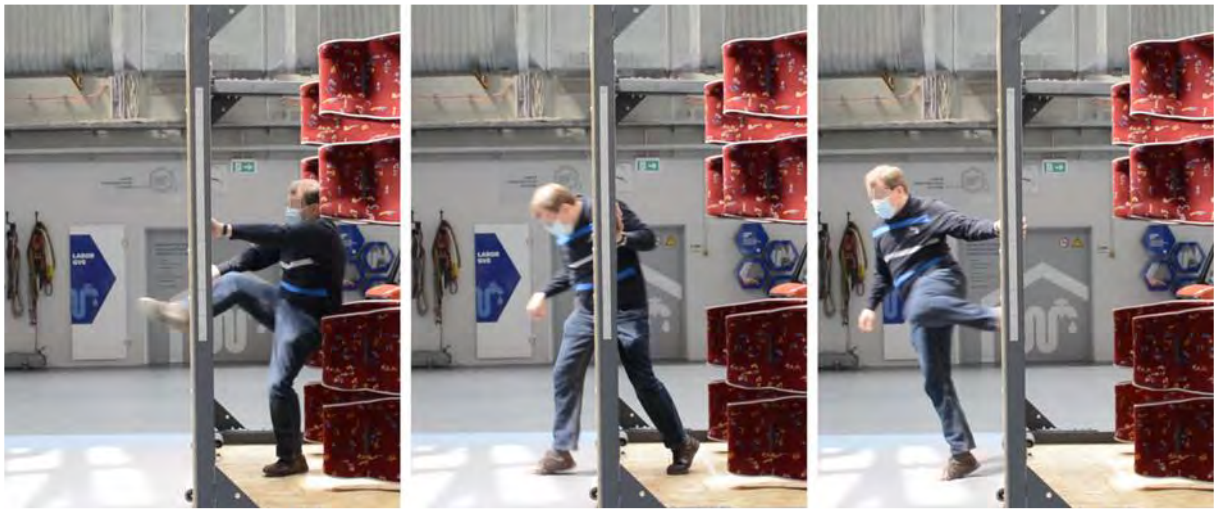


Abbildung 44: Durchsteigekinematik bei quer eingebauter Dachluke

Auch bei der quer eingebauten Luke setzte der Großteil der Proband:innen (93,9%) die Hände zum Abstützen ein. Nur ein Proband nutzte den kontaktlosen Durchstieg und sprang, den Kopf voran, durch die Dachlukenöffnung.
Ein großer Unterschied zum Verhalten bei der längseingebauten Dachluke zeigte sich beim Absetzen auf dem Rahmen der Dachluke: lediglich zwei Proband:innen (6,1%) setzten sich mit dem Gesäß auf die Dachlukenkante der quereingebauten Dachluke. Unmittelbar nach dem Ausstieg erreichten 75,8% einen stabilen Stand, während 24,2% der Teilnehmer schwankten oder auf die Weichbodenmatte stürzten. Es wurde auch bei diesem Versuch kein geschlechtsspezifisches Durchstiegsverhalten beobachtet.

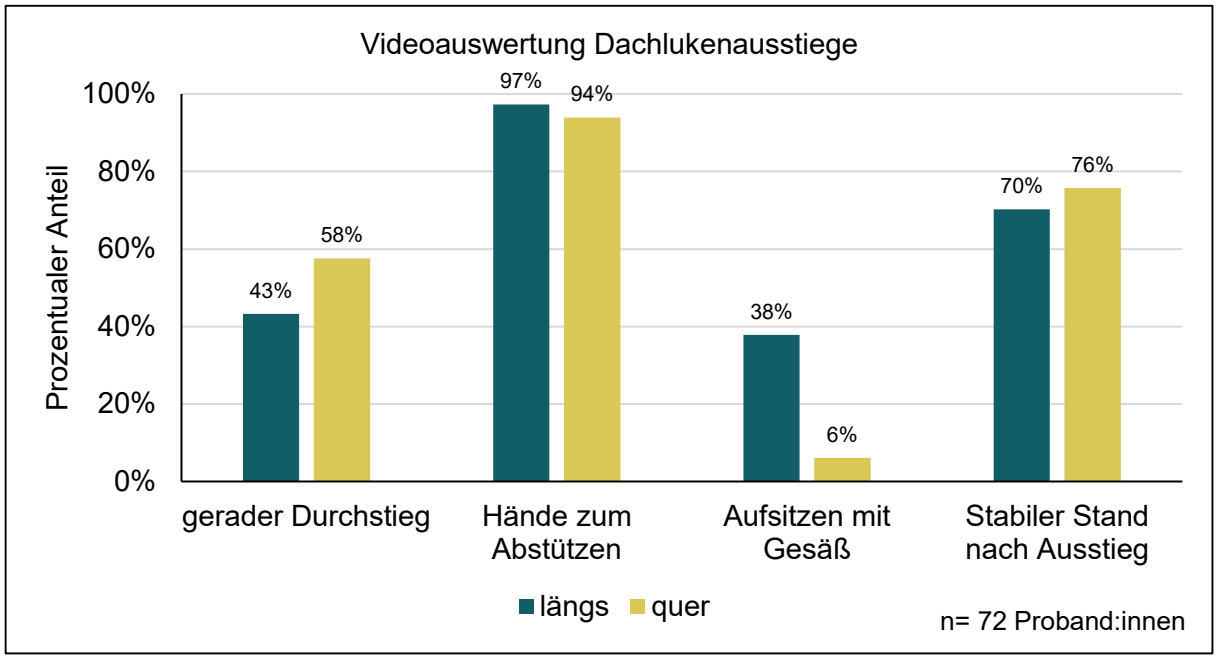


Abbildung 45: Ergebnisse der Videoanalyse des Durchstiegsverhaltens bei längs und quer eingebauten Dachluken

8.4.7 Schlussfolgerungen

Aus den Ergebnissen resultiert eine Evidenz für eine verkürzte Ausstiegszeit bei der quer eingebauten Dachluke im Vergleich zur aktuellen vorherrschenden längs orientierten Einbaulage.

In diesem Versuchsaufbau konnten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der körperlichen Belastung der Proband:innen nachgewiesen werden. Dies ist möglicherweise auf die Laborsituation oder die Fitness der Teilnehmenden zurückzuführen. Auch war die Ausstiegszeit in diesem Modellversuch sehr kurz, sodass es nicht zu großen körperlichen Belastungen kommen konnte. Nichtsdestotrotz weisen die deskriptiven Werte in die erwartete Richtung. Es kann also nicht ausgeschlossen werden, dass unter realen Bedingungen mit erschwerten Umständen eine erhöhte Belastung beim Ausstieg aus der längseingebauten Dachluke auftritt.

Da ein Großteil der Proband:innen aus Studierenden bestand, war der Anteil junger Männer bei den Proband:innen hoch und die Zusammensetzung der Teilnehmenden entsprach weder im Alter noch in Größe oder Gewicht dem Bild der deutschen Gesamtbevölkerung.

Durch die Korrelationsanalyse konnten Zusammenhänge nachgewiesen werden, die Rückschlüsse auf potenzielle Ausstiegszeiten der Bevölkerung zulassen: Sowohl

ältere als auch schwerere Proband:innen benötigten mehr Zeit für den Ausstieg. Proband:innen, die einen schlechteren körperlichen Zustand angaben, empfanden eine höhere Belastung beim Verlassen des Fahrzeugs über die Dachluke. Insgesamt weisen die Ergebnisse somit darauf hin, dass diese Personengruppen bei Evakuierungen benachteiligt sein könnten.

Das Experiment bestätigt mit den Ergebnissen eine signifikant bessere Gesamtbewertung der quer eingebauten Dachluke und ein schnelleres Verlassen des verunfallten Busses durch eine quer eingebaute Ausstiegsluke.
Die Videoanalyse zeigt zudem, dass die meisten Proband:innen den Rahmen der Luke zum Abstützen oder Aufsitzen nutzen (müssen). Diese Erkenntnis zeigt die Problematik von verklebten Glasdachluken, bei welchen nach der Öffnung mittels Nothammer Glassplitter im Rahmen des Dachukenausstiegs verbleiben können.

8.5 Analyse der Bedienbarkeit von unterschiedlichen Gurtsystemen im Notfall

Bei einem Unfall spielen Sicherheitsgurte für die Unversehrtheit der Insassen die entscheidende Rolle. Während es für PKWs mit der Einführung des Dreipunktsicherheitsgurtes (siehe Abbildung 46, Nummer 1) konkrete gesetzliche Vorgaben gibt, gelten für Omnibusse abweichende Regeln. So sind für Fahrgäste in Stadtbussen meist keine Rückhaltesysteme vorgesehen, während in Überland- und Reisebussen seit dem Jahr 2006 eine allgemeine Gurtpflicht gilt und ab diesem Zeitpunkt in den Bussen Zweipunkt- oder Dreipunktgurte verbaut werden.



Abbildung 46: Befestigung der Sicherheitsgurte

Zweipunktgurtsysteme sind deutlich günstiger und erfordern keine zusätzliche Struktur in der Lehne zur Aufnahme des oberen Gurt-Umlenkpunktes und sind daher in Reisebussen stark verbreitet. Allerdings weist der klassische Zweipunktgurt (2) im Bus auch Nachteile auf, wie die schlechte Erreichbarkeit des seitlichen Gurtschlosses sowie den geringen Seitenhalt und die fehlende Stützung des Oberkörpers im Unfall.
Der Einsatz eines Dreipunktgurts verbessert den Seitenhalt und die Stützung des Oberkörpers, es bleibt jedoch das Problem der Lösbarkeit des Gurtes durch das seitlich positionierte Gurtschloss, insbesondere, wenn sich der Bus nach einem Unfall in Schräglage befindet und der Körper des Fahrgasts durch die Schwerkraft auf das Gurtschloss geschoben wird.
Im Gegensatz zu den konventionellen Gurten aus dem Automobilbereich bietet der Flugzeuggurt (3) einen zentralen Flügelverschluss, der mittig vor dem Fahrgast positioniert ist. Flugzeuggurte werden allerdings immer ohne Retraktoren (Gurtaufrollautomaten) verbaut, was mit Komforteinbußen einhergeht, da der Gurt unaufgewickelt auf dem Sitz verbleibt.
Aufgrund des vor dem Becken liegenden und damit leichter zu erreichenden Entriegelungsmechanismus kann ein schnelleres und einfacheres Öffnen des Gurtschlosses vermutet werden, insbesondere bei Unfällen mit Schräglage. Daher

wurde der Flugzeuggurt gemeinsam mit dem Zweipunkt- und dem Dreipunktgurt als Gurtalternative untersucht, und es wurde ermittelt, mit welchem Gurtsystem sich die Proband:innen bei einer Schräglage am sichersten fühlen und wie gut sich das jeweilige Gurtsystem in Abhängigkeit vom Kippwinkel lösen lässt.

8.6 Versuchsaufbau

Die Analyse der Unfalldaten hatte gezeigt, dass die häufigsten Endlagen von verunfallten Reisebussen in den Winkelbereichen 0°, 20-39° und 90° liegen. Eine Gefahrenabschätzung für Versuche mit Proband:innen im Busabschnitt ergab allerdings, dass diese nur unter den Winkeln 0° und 20-39° (Mittelwert=30°) gefahrlos durchführt werden können. Daher wurden die Untersuchungen auf die Versuchsträgerendlagen von 30° (Versuchsreihe 1) und 0° (Versuchsreihe 2) beschränkt.

Eine Besonderheit bei den Gurtlöseversuchen ergibt sich für den Dreipunktgurt. Denn je nach Kipprichtung des Versuchsträgers kann die Anordnung des Dreipunktgurtes ein entscheidender Faktor für das Sicherheitsgefühl der Proband:innen sein: So kann der Oberkörper bei einer ungünstigen Anordnung seitlich aus dem Brustgurt herausrutschen und die Person würde lediglich durch den Beckengurt auf dem Sitz gehalten. Bei entgegengesetztem Kippen des Versuchsträgers fällt der Oberkörper in den Diagonalgurt und wird von diesem gestützt, so dass hier ein deutlich höheres subjektives Sicherheitsgefühl der Proband:innen zu erwarten war. Daher wurden im gekippten Versuchsträger sowohl Dreipunktgurte mit linksseitigem und mit rechtsseitigem Gurtschloss von den Proband:innen getestet und damit beide Situationen in den Versuchen abgebildet.

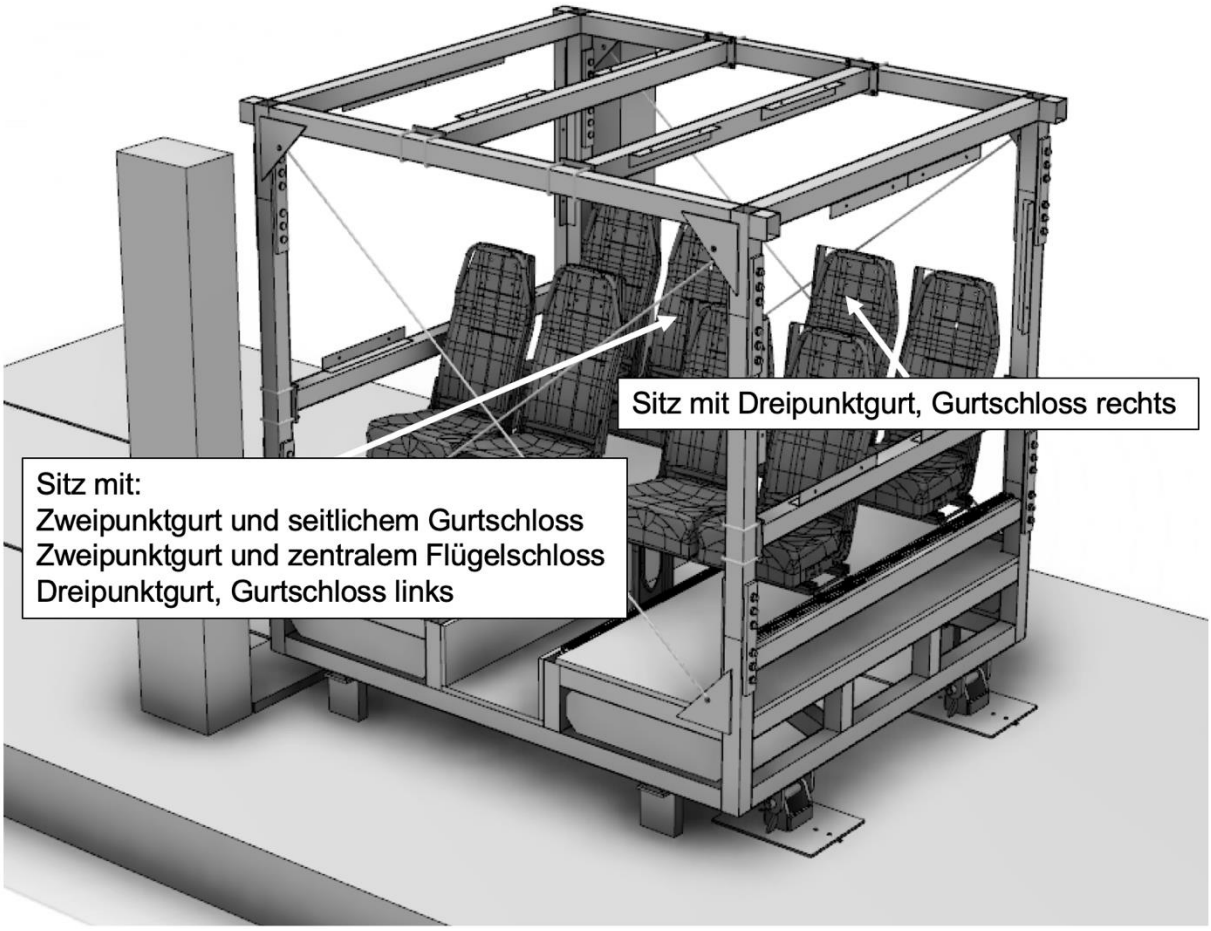


Abbildung 47: Aufbau des Versuchsträger für die Gurtlöseversuche

Am Versuchsträger erfolgte die Montage der Dreipunktgurte regelkonform über Anbindungspunkte gemäß ECE R 14. Hierzu wurde im Versuchsträger hinter dem Sitz eine zusätzliche Strebe adaptiert, sodass der obere Gurtumlenkpunkt eine Mindesthöhe von 450 mm über dem R-Punkt des Sitzes aufwies. Das Gurtschloss des am Sitz verbauten Zweipunktgurts konnte auch für die Zunge des Dreipunktgurts verwendet werden, sodass hier keine weitere Umrüstmaßnahme notwendig war.
Abbildung 48 zeigt den um 30° auf die linke Seite gekippten Versuchsträger und die verwendeten Kamerasysteme, die Sitze mit dem Dreipunktgurtsystem befinden sich der 2. Sitzreihe.



Abbildung 48: Versuchsträger in 30° Endlage

8.7 Versuchsdurchführung

Einführend wurde das persönliche Sicherheitsverhalten der Proband:innen bei Reisen mit einem Reisebus mittels eines Fragebogens abgefragt (siehe Anhang V, VI).
Anschließend hatten die Proband:innen die Aufgabe, sich in der Endlage 0° an- und abzuschnallen. In der Endlage 30° wurden nur die Abschnallvorgänge bewertet. Hierzu wurden die Proband:innen randomisiert in zwei Gruppen aufgeteilt.
Vor Beginn des Versuches wurden die Teilnehmenden von der Versuchsleitung eingewiesen, wobei alle die gleichen Instruktionen für jedes Gurtsystem erhielten: Alle wurden aufgefordert, auf dem Sitz Platz zu nehmen und anschließend die einzelnen Gurtsysteme nacheinander anzulegen, zu straffen und wieder zu lösen. Unmittelbar nach dem Ablegen jedes Gurtsystems erhielt die Versuchsperson zur Erfassung ihrer Bewertung einen Fragebogen.



Abbildung 49: Sitzposition bei den Versuchen

Alle Personen führten die Versuche einzeln und abgeschirmt von den anderen Proband:innen durch, sodass sich zeitgleich ausschließlich eine Person im Raum mit dem Versuchsträger befand. Die Positionierung des Sitzes war für alle Versuche gleich: Die Armlehne wurde vor jedem Durchgang auf die untere Position eingestellt und der Sitz dicht an den Nachbarsitz gerückt. Um eine Analyse der Bewegungsmuster und der benötigten Abschnallzeiten durchzuführen, wurde der Versuch nach Zustimmung der Proband:innen mit zwei Kameras aufgezeichnet.

8.8 Auswertung des persönlichen Sicherheitsverhaltens und der An- und Abschnallversuche

8.8.1 Statistische Analyse der Stichprobe

A priori erfolgte eine Stichprobenumfangsplanung mit dem Programm „G*Power 3.1." Bei einem α-Fehler-Niveau von 0,05, einer Teststärke von 0,90 sowie einem erwarteten mittleren Effekt *f* von 0,25 ergab sich eine Stichprobengröße von mindestens 36 Proband:innen. Daher nahmen je Teilversuch (0° bzw. 30°) jeweils 19 Proband:innen an dem Versuch teil. Der Altersdurchschnitt betrug 28,9 Jahre (SD=8,70; Range: 18–52 Jahre). Von den Teilnehmenden waren 86,8% männlich und 13,2% weiblich. Im Durchschnitt waren die Proband:innen 1,80 m groß und wogen

78,7 kg. Die Abfrage der physischen Konstitution ergab, dass 92,1% der Proband:innen angaben, in einer guten körperlichen Verfassung zu sein.

8.8.2 Sicherheitsverhalten der Proband:innen in Reisebussen

Im Vorfeld der Versuche im Versuchsträger wurde von den Teilnehmenden das persönliche Sicherheitsverhalten beim Reisen mit einem Reisebus erfragt. Hier sollte ermittelt werden, wie viele Befragte der Aussage „Unabhängig vom Gurtsystem lege ich bei Reisebusfahrten immer einen Sicherheitsgurt an.“ zustimmen. Die Auswertung der Befragung zeigte, dass nur 15,8% der Personen angaben, tatsächlich immer einen Sicherheitsgurt im Reisebus anzulegen.
Bei der Betrachtung der möglichen Abstufungen der Zustimmung zu dieser Frage (Abbildung 51) fällt die hohe Anzahl der Personen auf, die die Aussage „stimme teilweise nicht zu“ ankreuzten. Solche Tendenzen könnten eventuell durch eine normative Ausrichtung der Teilnehmenden begründet werden. So konnte vermutet werden, dass, auch wenn die Proband:innen eigentlich eher keinen Sicherheitsgurt anlegen, sie aufgrund des Wissens über die gesetzliche Anschnallpflicht lieber die Antwort „stimme teilweise nicht zu“ wählen als die Aussage gänzlich abzulehnen. Daher kann nicht ausgeschlossen werden, dass die tatsächlichen Anschnallquoten noch geringer ausfallen.

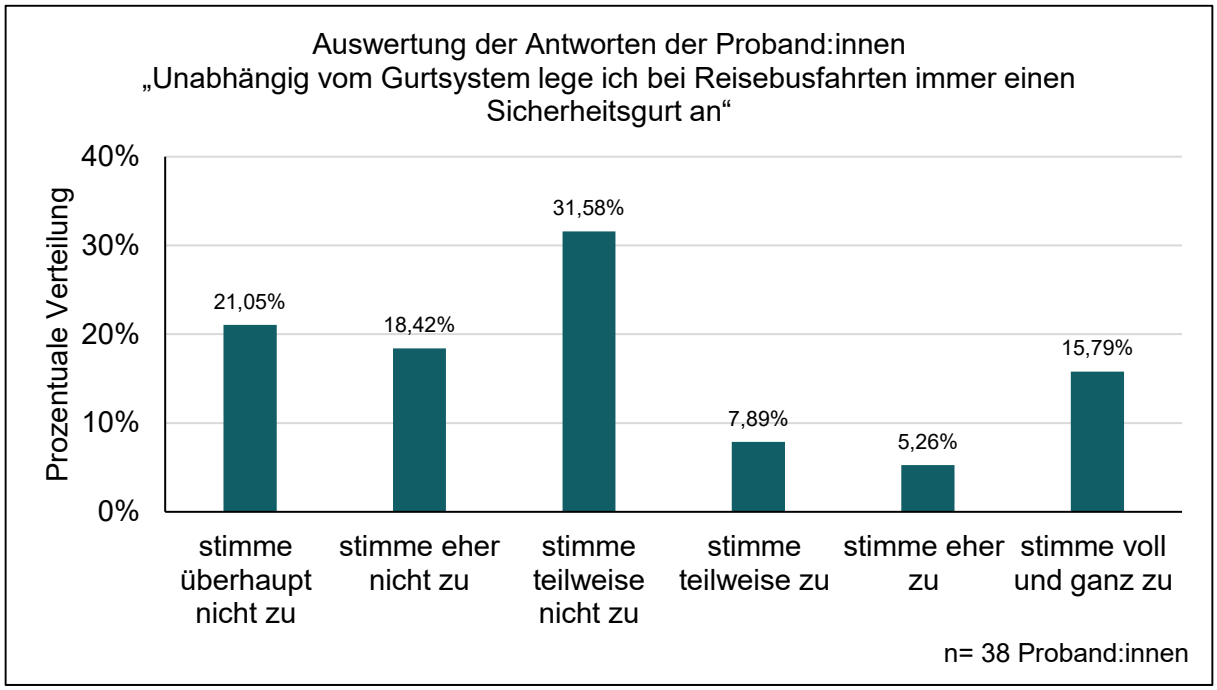


Abbildung 50: Ergebnisse der Abfrage des persönlichen Anschnallverhalten der Proband:innen

8.8.3 Bedienbarkeit von Gurtsystemen, Testreihe unter 0°

Nach der Versuchsdurchführung sollten jeder/jede der Proband:innen die Handhabung und die Lösbarkeit der drei Gurtsysteme in einem Fragebogen bewerten (siehe Anhang V). In der Auswertung des Fragebogens wurde zum Vergleich der verschiedenen Gurtsysteme für beide Versuchsreihen (30° und 0°) eine messwiederholte Varianzanalyse (Analysis of Variances; ANOVA) durchgeführt.

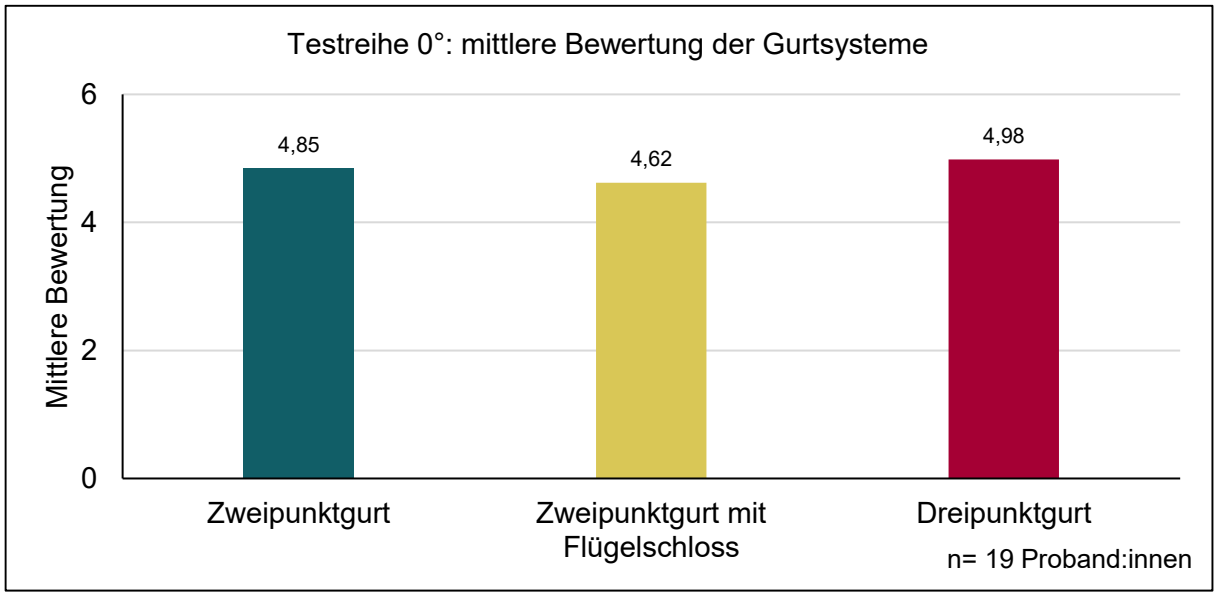


Abbildung 51: Mittlere Bewertungen der Bedienbarkeit der unterschiedlichen Gurtsysteme in der Testreihe 0° durch die Proband:innen (umgekehrtes Schulnotensystem)

Die Analyse der Testreihe 0° zeigte keine signifikanten Unterschiede bei der Bewertung der Bedienbarkeit der unterschiedlichen Gurtsysteme. Bereits deskriptiv sind nur geringe Mittelwertdifferenzen zwischen 0,13 und 0,36 im Schulnotensystem erkennbar.

8.8.4 Bedienbarkeit von Gurtsystemen, Testreihe unter 30°

Wie einleitend beschrieben, ergeben sich bei der Untersuchung des Dreipunktgurtes im gekippten Versuchsträger unterschiedliche Versuchsbedingungen in Abhängigkeit von der Kipprichtung des Versuchsträgers bzw. der der Lage der oberen Gurtverankerung des Dreipunktgurtes. Daher wurden die Bewertungen des Dreipunktgurts in der Testreihe 30° gemittelt, um den Einfluss der Kipprichtung aus der Bewertung zu exkludieren.

In der Gesamtauswertung der 30°-Versuche erzielte hinsichtlich der Lösbarkeit der Zweipunktgurt mit Flügelschloss die beste und der Zweipunktgurt die schlechteste Bewertung durch die Proband:innen, wobei niedrige Werte auf der Skala eine negative und hohe Werte eine positive Bewertung des Gurtsystems kennzeichnen. Die Varianzanalyse (ANOVA) bestätigt die Signifikanz der Unterschiede zwischen den getesteten Gurtsystemen $F(1,18)=34,4$; $p<0,000$; $\eta_p^2=0,80$ (siehe Anhang VI).

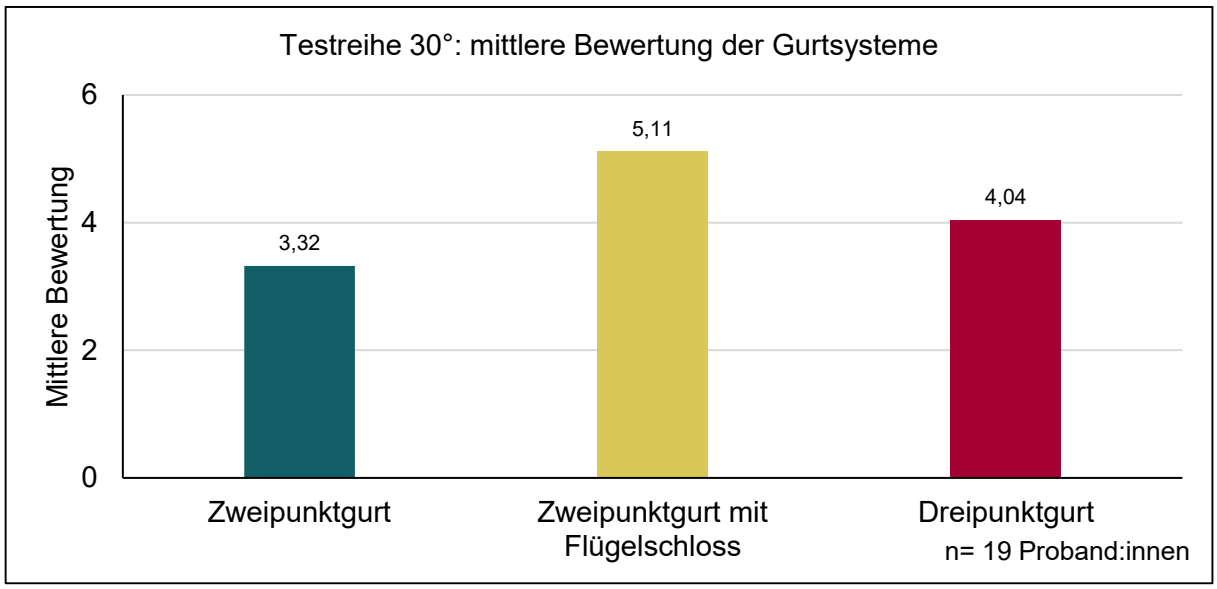


Abbildung 52: Mittlere Bewertungen der Lösbarkeit der unterschiedlichen Gurtsysteme in der Testreihe 30° durch die Proband:innen (umgekehrtes Schulnotensystem)

8.8.5 Ermittlung der Abschnallzeiten für unterschiedliche Gurtsysteme

Die Ermittlung der Abschnallzeiten für die unterschiedlichen Gurtsysteme erfolgte in zwei Dimensionen: Zum einen wurde mit einer Zeitaufnahme die benötigte Zeit der Proband:innen zwischen dem Startsignal und dem erfolgreichen Öffnen des Sicherheitsgurtes festgehalten. Zum anderen wurden die Abschnallvorgänge, besonders im Hinblick auf den schwierigen Lösevorgang unter dem 30°-Kippwinkel, per Videoanalyse untersucht.

8.8.6 Zeitaufnahmen beim Abschnall-Vorgang unter 0° und beim Abschnall-Vorgang unter 30°

Die Auswertung der Zeitaufnahmen zeigt, dass bei einer Endlage von 0° erwartungsgemäß kaum Unterschiede hinsichtlich der Abschnalldauer zwischen den Gurtsystemen bestehen.

War der Versuchsträger jedoch in einer Schräglage von 30° positioniert, konnte nur der Zweipunktgurt mit mittigem Flügelschloss mit 2,4 Sekunden gleichschnell wie in der Ausgangslage bei 0° geöffnet werden.

Beide konventionellen Gurtsysteme mit seitlichem Schloss konnten in der Schräglage nur schwer gelöst werden, sobald die Versuchsperson auf das Gurtschloss gerutscht war. Hier benötigten die Proband:innen im Durchschnitt in 6,3 Sekunden um den Zweipunktgurt zu lösen. Bei der recht kurzen Lösezeit von 3,68 Sekunden für den Dreipunktgurt ist zu berücksichtigen, dass hier die Lösezeiten der links und der rechts angeschlagenen Gurte gemittelt wurden.

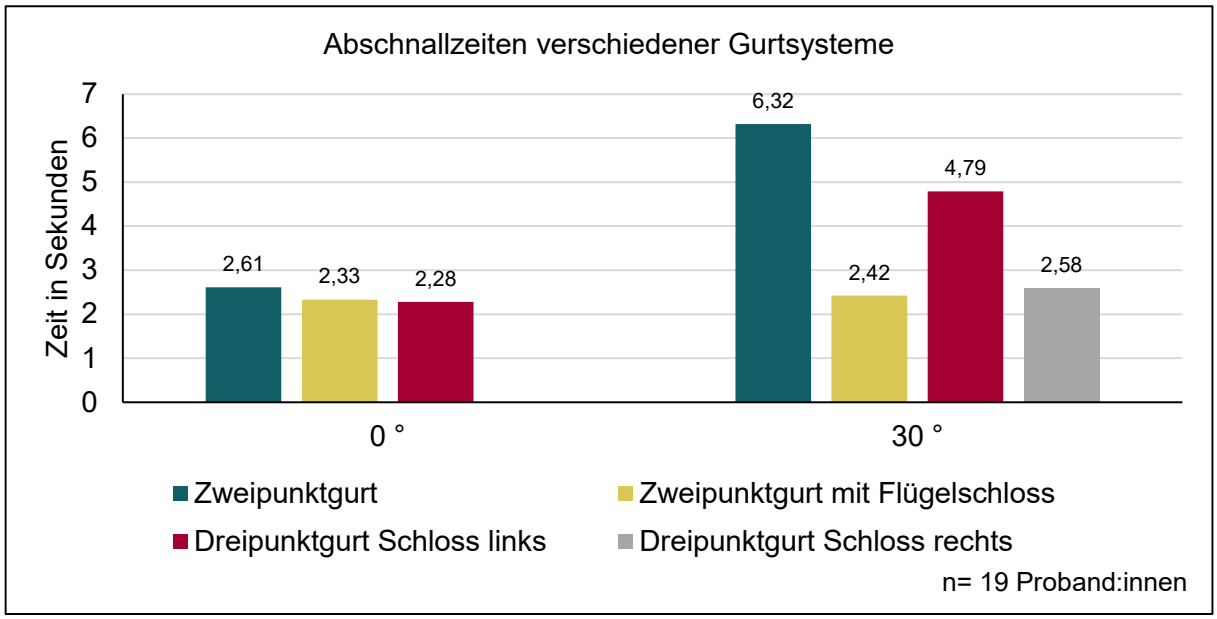


Abbildung 53: Ermittelte Abschnallzeiten unterschiedlicher Gurtsysteme unter 0° und 30°

8.8.7 Videoanalyse der Abschnallversuche in der 30°-Position

Gurte mit seitlichem Gurtschloss haben das prinzipielle Problem, dass sie schlecht geöffnet werden können, sobald die Person seitlich auf das Schloss rutscht. Dieses Problem trat beim Zweipunktgurt in 15 von 19 Fällen auf, beim Dreipunktgurt in 16 von 19 Fällen. Die Videoauswertung zeigte, dass sich aus diesem Grund 12 von 19 Proband:innen mit der einen Hand festhalten mussten, um mit der anderen Hand das Gurtschloss zu bedienen. Nur der Zweipunktgurt mit zentralem Schloss ist unabhängig von der Kipprichtung des Busses problemlos bedienbar.

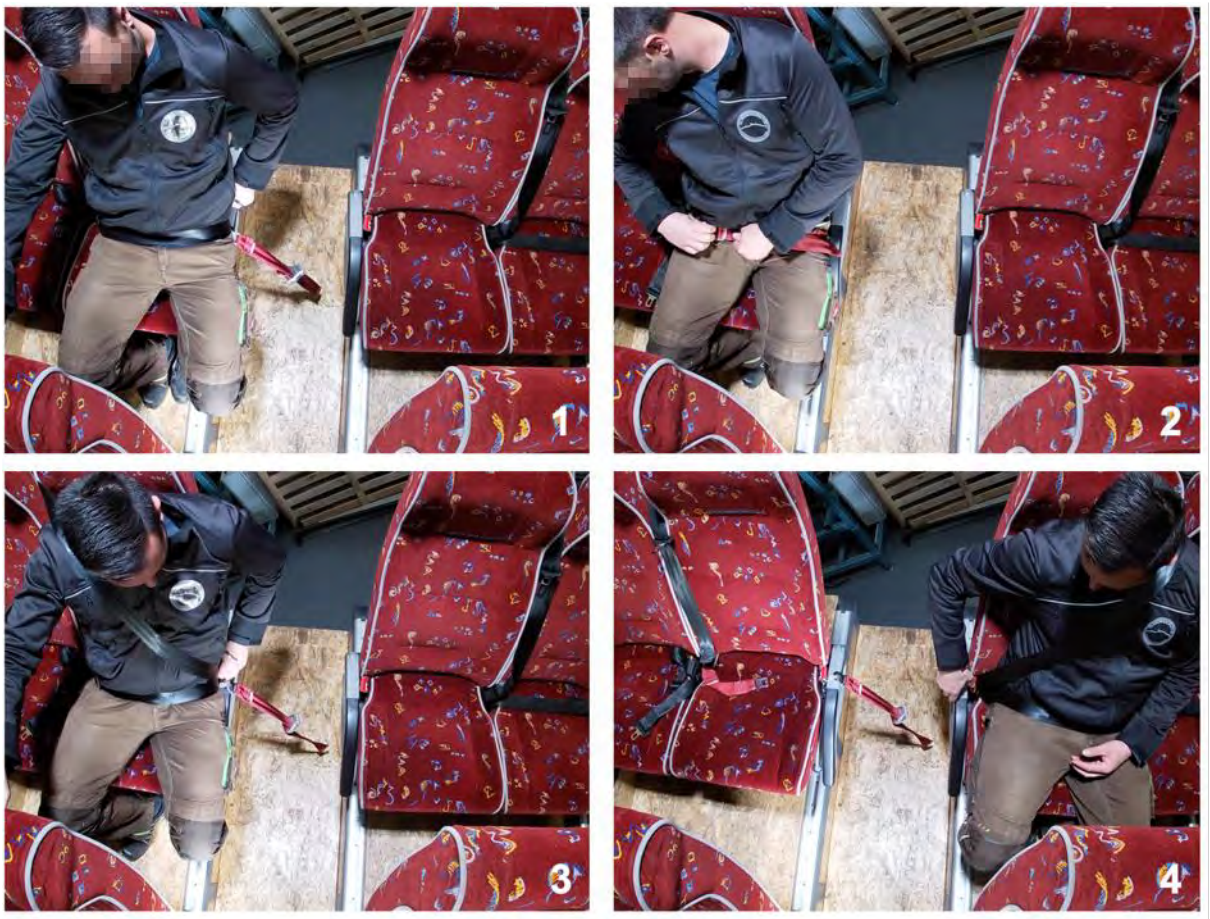


Abbildung 54: Bedienung der verschiedenen Gurtsysteme (Zweipunktgurt (1), Zweipunktgurt mit Flügelschnalle (2); Dreipunktgurt (3, 4))

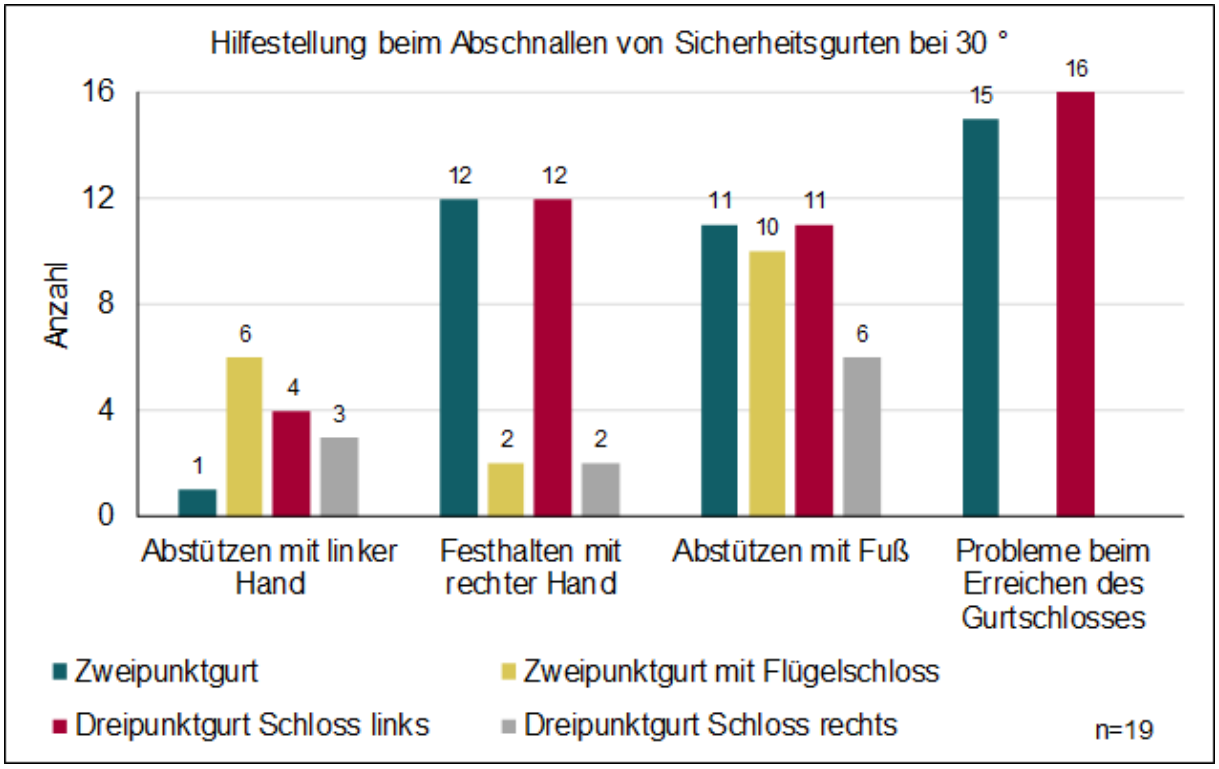


Abbildung 55: Ergebnisse der Videoanalyse der Abschnallversuche im auf 30°gekippten Versuchsträger

Zweipunktgurte können bei Schräglage zudem keine Stabilität für den Oberkörper gewährleisten, dies gilt für Zweipunktgurte mit seitlichem wie auch mit zentral angeordnetem Schloss. Der Dreipunktgurt kann diese Funktion zumindest bei Schräglage zu einer Seite hin übernehmen, so erklärt sich, dass in diesem Fall nur sechs von 19 Insassen den Fuß zur seitlichen Abstützung einsetzen mussten.

8.8.8 Ausblick auf die Akzeptanz alternativer Gurtsysteme

Nach den Erfahrungen im Versuchsträger wurden die Proband:innen mit der Frage „Ich würde dieses Gurtsystem bei einer Fahrt in einem Reisebus freiwillig anlegen“ nach der persönlichen Präferenz der unterschiedlichen Gurtsysteme befragt. Das eigene Sicherheitsverhalten, welches von den Proband:innen vor den Versuchen angegeben wurde, sollte nun mit der eigenen Präferenz des Gurtsystems in Zusammenhang stehen.

Die Korrelationsanalyse bestätigt einen solchen Zusammenhang mit r=0,67 und p=0,00. Damit können die Bewertungen, wie angenommen, als wechselseitige

Validierung interpretiert werden. Darauf aufbauend wurden die Mittelwerte für jedes Gurtsystem berechnet, wobei hohe Werte eine große Akzeptanz des Gurtsystems kennzeichnen und niedrige Werte eine geringe Akzeptanz.
Wie in Abbildung 56 zu erkennen ist, fällt nach den Erfahrungen in den Versuchen die Zustimmung für einen Zweipunktgurt mit seitlichem Schloss am geringsten aus. Der Zweipunktgurt mit Flügelschloss zeigt dabei vergleichbar gute Werte wie der traditionelle Dreipunktgurt.

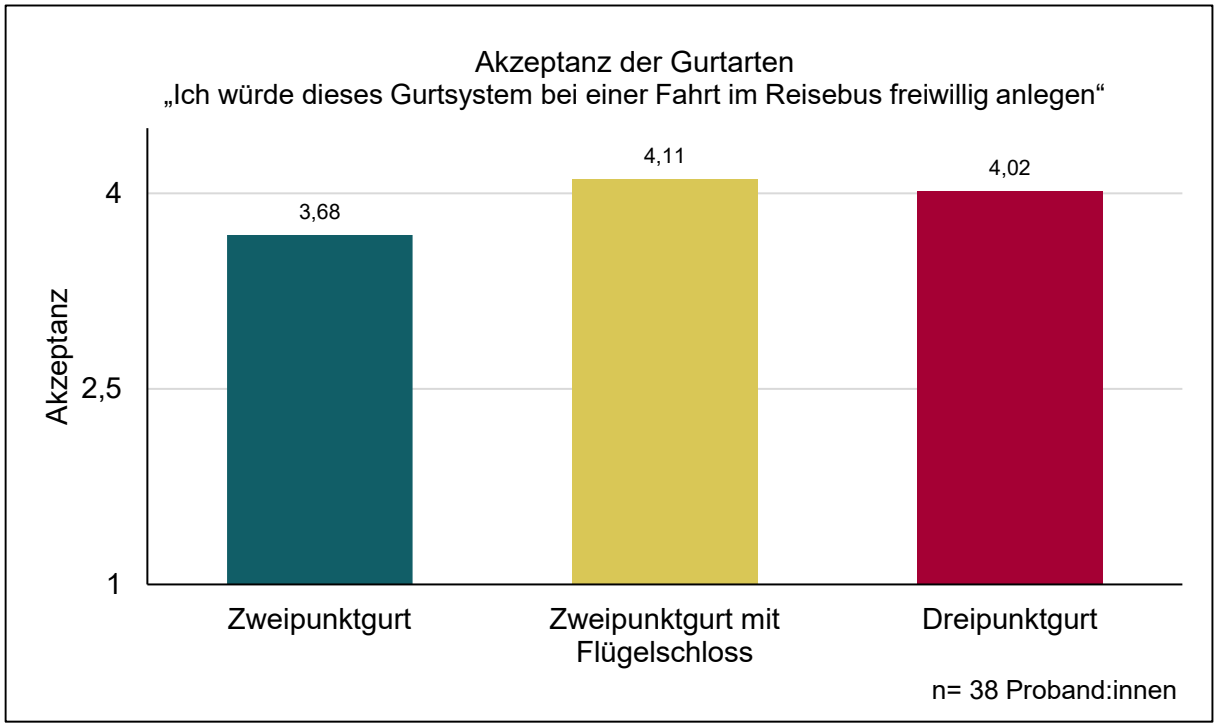


Abbildung 56: Akzeptanz der unterschiedlichen Gurtsysteme von den Proband:innen nach Versuchsdurchführung

8.8.9 Schlussfolgerungen

Die im Rahmen dieser Studie durchgeführten Gurtlöseversuche mit unterschiedlichen Gurtsystemen zeigten, dass nur ein zentrales Flügelschloss auch in einem gekippten Bus ein robustes und sicheres Lösen des Gurts ermöglicht. Auch die Akzeptanz eines Gurts mit Flügelschloss ist schon aufgrund der geläufigen Verwendung im Flugzeug hoch. Allerdings wird das Flügelschloss auch hier nur in Verbindung mit Statikgurten eingesetzt, bei denen die Gurtlose in unterschiedlichen Sitzpositionen manuell ausgeglichen werden muss. Ein Submarining mit gegebenfalls der Folge schwerer

Abdominaltraumata kann daher nur in Verbindung mit Automatikgurten vermieden werden.

Gegen den Einsatz statischer Zweitpunktgurte mit mittigen Flügelschlössern spricht auch die Gefahr des Missbrauchs (Verknotungen des freiliegenden Gurtbands) sowie die benötigte längere Zeit zum Festschnallen. Hierzu wurde im Zuge dieser Studie im aufrecht stehenden Busabschnitt eine Versuchsreihe durchgeführt: Es zeigte sich, dass der Anschnallvorgang mit dem statischen Gurtsystem mit Flügelschloss aufgrund der beidseitig freiliegenden und vom Sitz herunterhängenden Gurtenden länger dauerte (ca. 9 Sekunden), als der Anschnallvorgang für die Automatik-Zwei- und Dreipunktgurte (ca. 6 Sekunden).

Vor der Versuchsdurchführung wurden die teilnehmenden Proband:innen bezüglich ihres persönlichen Anschnallverhalten in Reisebussen befragt. Diese Umfrage ergab, dass unabhängig vom eingesetzten Gurtsystem nur ein Sechstel der Teilnehmer in Reisebussen einen Sicherheitsgurt nutzen. Es besteht also dringender Bedarf, die Wirksamkeit zusätzlicher Maßnahmen (Hinweisschilder, Sicherheitseinweisung durch den Busfahrer, automatisierte Hinweise, Aufklärung, Schulungen etc.) zu untersuchen.

Die Versuche mit unterschiedlichen Gurtsystemen zeigten, dass sowohl der Dreipunktgurt, der bei zahlreichen Reisebusherstellern bereits optional verfügbar ist, als auch der statische Zweipunktgurt mit Flügelschloss höhere Akzeptanz fanden, als der klassische Zweipunktgurt mit seitlichem Gurtschloss. Dies mag auch darin begründet sein, dass diese beiden Gurtsysteme in anderen Verkehrsmitteln (Pkw und Flugzeug) verpflichtend eingesetzt werden und dort mittlerweile eine hohe Akzeptanz haben. Daher könnten Zweipunktgurte mit zentralem Flügelschloss dann zu einer steigenden Gurtnutzung in Reisebussen führen, wenn der Einbau von Dreipunktgurten aus konstruktiven oder wirtschaftlichen Gründen nicht möglich ist.

9 Potentiale von Lichtführung zur rascheren Identifikation von Notausstiegen

Die Ergebnisse der Evakuierungsversuche aus dem Reisebus haben gezeigt, dass Insassen zum Großteil nicht in der Lage waren, den geeigneten und technisch sinnvollen Notausstieg zu erkennen. Daher war es Ziel einer weiteren Untersuchung, herauszufinden, ob die Aufmerksamkeit durch ein Beleuchtungskonzept gesteuert werden kann, sodass die Insassen schneller den zur Evakuierung geeigneten Notausstieg erkennen und nutzen können.
Hierbei ging es nicht um eine statistisch gesicherte Aussage, sondern um die Indikation eines Potentials für ein Beleuchtungskonzept.

9.1 Versuchsaufbau

Die Evaluierung des Beleuchtungskonzeptes erfolgte in einem Reisebus des Typs MAN Lion‘s Coach. Er verfügt über zwei Dachluken, die Seitenscheiben, die Heckscheibe sowie zwei Betriebstüren, die sämtlich als Notausstiege gekennzeichnet sind.
Das zu testende Beleuchtungskonzept bestand aus einem doppelten Lauflicht auf Augenhöhe und der blinkenden Beleuchtung des als Notausstieg präferierten Seitenfensters. Zu diesem Zweck wurden die Gepäckablage sowie der Fensterrahmen mit per Software einzeln ansteuerbaren LED-Streifen versehen. Ziel war es, durch das Lauflicht in Fluchtrichtung und das Blinken des Notausstiegs die Aufmerksamkeit der Insassen zu lenken.
Als Instrument zur Datenerhebung und zum Nachweis der Wirksamkeit wurde eine Eye-Tracking Brille eingesetzt.

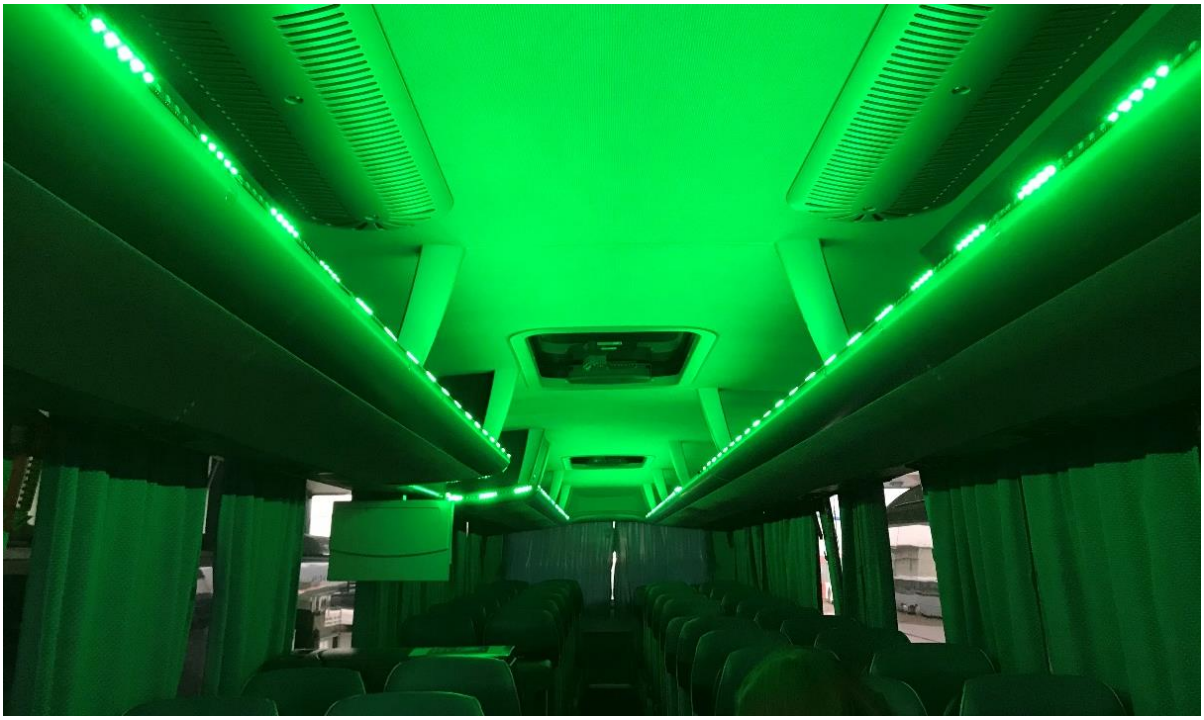


Abbildung 57: LED-Lauflicht im Mittelgang zur Anzeige der geeigneten Fluchtrichtung und –möglichkeiten

9.2 Beschreibung der Versuchsdurchführung

Alle Personen wurden einzeln aufgefordert den Bus zu betreten und auf einem markierten Platz im vorderen Teil des Busses Platz zu nehmen. Nach einer Einweisung in die Eye-Tracking-Brille lenkte der Versuchsleiter die Proband:innen mit einer kurzen Reisegeschichte ab, die abrupt unterbrochen und ein Unfallgeschehen geschildert wurde. Die Proband:innen sollten in Anlehnung an die Evakuierungsversuche im Gesamtfahrzeug spontan entscheiden, wo sie den verunglückten Bus verlassen würden und wo sie geeignete Evakuierungsmöglichkeiten sehen. Gleichzeitig wurde die Lauflicht- und Blinkbeleuchtung eingeschaltet, die sowohl die Bewegungsrichtung im Mittelgang wie auch die beiden Ausstiegsmöglichkeiten „Hintere Betriebstür“ und „Seitenscheibe (Notausstieg)“ kennzeichnete. Die im Versuch zur Evakuierung vorgesehene Seitenscheibe befand sich hinter dem Proband:in. Die Aufnahmen der Eye-Tracking Brille und die Angaben aus der anschließenden Befragung wurden ausgewertet.



Abbildung 58: Probandin mit Eye-Tracking Brille während der Versuchsdurchführung

9.3 Ergebnisse der Lichtführungsversuche

An dieser Evaluierung nahm nur eine hinsichtlich der Teilnehmerzahl reduzierte Gruppe von elf Personen teil, von denen acht männlich und drei weiblich waren, sodass keine statistische Absicherung vorliegt. Die Ergebnisse waren allerdings eindeutig.

Die Analyse der Blickbewegungen mit Hilfe der Eye-Tracking Brille ergab, dass sich sämtliche Proband:innen in ihrer Aufmerksamkeit direkt durch das Lichtkonzept leiten ließen. In Abbildung 60 ist zu sehen, wie der durch die Brille erfasste Augen-Fokuspunkt einer Testperson als roter Kreis der Gangbeleuchtung in Laufrichtung des LED-Lauflichtes folgte: Zunächst erkannte sie den Zweck des über ihr laufenden Lichtbands (1), dann folgte ihr Blick den laufenden Lichtstreifen nach hinten (2), von dort aus erkannte sie unmittelbar das blinkend umrahmte Seitenfenster (3) und identifizierte dieses als primären Notausstieg (4).

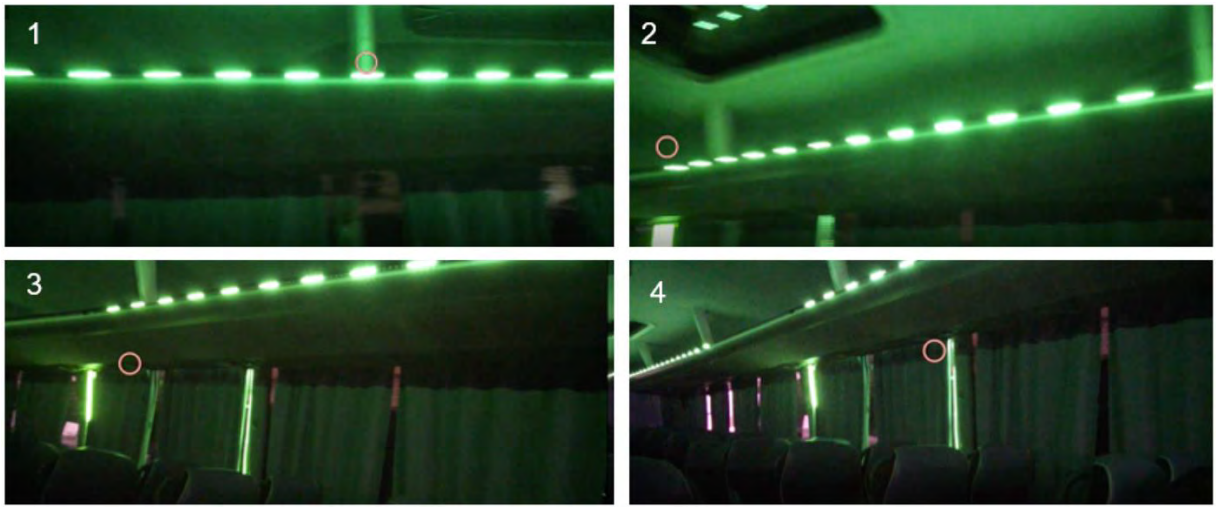


Abbildung 59: Blickverlauf der Proband:innen beim Identifizieren des Notausgangs mit Lichtleitsystemen (Aufnahmen aus der Eye-Tracking Brille)

Alle elf Personen gaben an, dass ihre Blicke dem Lauflicht gefolgt sind und sie dem Licht auch in einer Notsituation vertrauen und folgen würden. Acht der elf Teilnehmenden erkannten das blinkende Seitenfenster als Notausstieg sofort.

9.3.1 Schlussfolgerungen

Die durchgeführten Versuche mit den übereinstimmenden Aussagen und Bewertungen der Teilnehmer erlauben die Schlussfolgerung, dass die Aufmerksamkeit von Insassen mithilfe geeigneter Beleuchtungsmaßnahmen zu geeigneten Notausstiegen gelenkt werden kann. Beleuchtungskonzepte können also eine weitere geeignete Maßnahme zur Steuerung der Insassen bei einer Evakuierung aus Reisebussen darstellen.
Interessant könnte hierbei die Verknüpfung mit geeigneter Sensorik sein, um in Abhängigkeit von der Endlage besonders auf die sinnvoll nutzbaren Notausstiege hinzuweisen (beispielweise bei einer Endlage von 30° eventuell nach unten zeigende Seitenscheiben, Heckscheibe, Dachluke).

10 Weitere fahrzeugtechnische Potentiale und Risiken bezüglich der Evakuierung aus Reisebussen

Während der Recherchen und den technischen Untersuchungen hinsichtlich der Risiken bei Evakuierung aus Reisebussen wurden in verschiedenen Busunternehmen im Zuge dieser Studie verschiedene Verbesserungspotentiale identifiziert, auf die hier eingegangen wird.

10.1 Nutzung der Frontscheibe als Notausstieg

Die vorangegangenen Untersuchungen im Reisebus zeigten, dass die Proband:innen die Frontscheibe als potentiellen Notausstieg erkennen. Besonders bei dem in Seitenlage umgestürzten Bus wurde von den Proband:innen die große Frontscheibe am häufigsten als erste Ausstiegsöffnung erkannt. Auch bietet sich die Frontscheibe mit ihrer großen nutzbaren Evakuierungsfläche besonders bei Unfällen mit Bränden an, um die Evakuierungsdauer auf ein Minimum zu reduzieren, falls die regulären Ausstiege über die Betriebstüren nicht nutzbar sind.

Die Frontscheiben heutiger Fahrzeuge bestehen jedoch aus Verbundsicherheitsglas (VSG), einem Verbund zweier oder mehrerer Glasscheiben, die durch je eine durchsichtige Folie miteinander verbunden sind. Während Notausstiege aus Einscheibensicherheitsglas (ESG) bestehen, welches bei Bruch in zahlreiche Stücke zerfällt, bleiben bei Verbundsicherheitsglas die entstehenden Bruchstücke an der Folie haften, und die Öffnung bleibt weiterhin verschlossen und steht nicht für eine Evakuierung zur Verfügung. Weiterhin wird die Frontscheibe aus Verbundsicherheitsglas zur Erhöhung der Verwindungssteifigkeit der Karosserie in der Regel umlaufend mit der Fahrzeugstruktur verklebt.
Daher kann die Frontscheibe in einem Unfall heute ausschließlich von außen von Rettern mit technischen Hilfsmitteln geöffnet werden und scheidet damit in der Regel zur Selbstevakuierung der Businsassen aus.
Die Frontscheibe könnte hier nutzbar gemacht werden, indem die Klebenaht zum Scheibenrahmen von innen durchtrennt wird. Im Folgenden beispielhaft zwei Patente, die das Potential einer schnellen mechanischen Zerstörung der Klebenaht zur Entfernung der Scheibe haben. Bei dem ersten Patent wird ein aufblasbarer

Druckschlauch in die Dichtmasse zwischen Rahmen und Fensterscheibe integriert. Die Volumenvergrößerung des Druckschlauchs kann mittels Druckgas, chemischen expansiven Mitteln, flüssigen Medien erfolgen, wodurch die Klebenaht aufreißt und die Scheibe aus dem Rahmen gedrückt wird. [25]
Beim zweiten Patent zur Notöffnung für Frontscheiben wird eine Sprengschnur in die Klebenaht integriert. Nach der Zündung reißt die Druckwelle die Klebenaht der Scheibe auf und die Frontscheibe kann mit geringem Kraftaufwand aus dem Rahmen gedrückt werden. [26]

10.2 Nutzung eingeklebter Glasdachluken als Notausstieg

Die Regelung ECE R 107 der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen zur Bestimmungen für die „Genehmigung von Fahrzeugen der Klassen M2 oder M3 hinsichtlich ihrer allgemeinen Konstruktionsmerkmale“ sieht vor, dass im Dach integrierte Dachluken entweder auswerfbar, aufklappbar oder aus leicht zertrümmerbarem Einscheibensicherheitsglas bestehen müssen.

Dachluken, die mit der längeren Seite „längs“ zum Bus angeordnet sind, führten beim Durchstieg besonders bei körperlich beeinträchtigen und auch bei kleineren Personen zu erheblichen Schwierigkeiten. Dies konnte in den beschriebenen Proband:innenversuchen nachgewiesen werden. Selbst bei einem Busumsturz mit 90°-Endlage, bei der der Bus vollständig auf der Seite liegt, ist der Abstand zwischen der Unterkante einer längseingebauten Dachluke und dem Untergrund oft so groß, dass auch die Schritthöhe des 95 Perzentil Mannes nicht ausreicht, um den Boden außerhalb des Busses direkt mit den Füßen zu erreichen. Bleibt der Bus nach dem Unfall in einer Böschung schräg auf der Seite liegen, so vergrößert die frei überhängende Oberseite des Busses den Abstand zum Boden nochmals.

In allen diesen Fällen stützt sich die Person, die sich durch die Dachluke rettet, mit den Händen auf und rutscht mit Oberschenkel und Gesäß über die Unterkante der Dachluke.

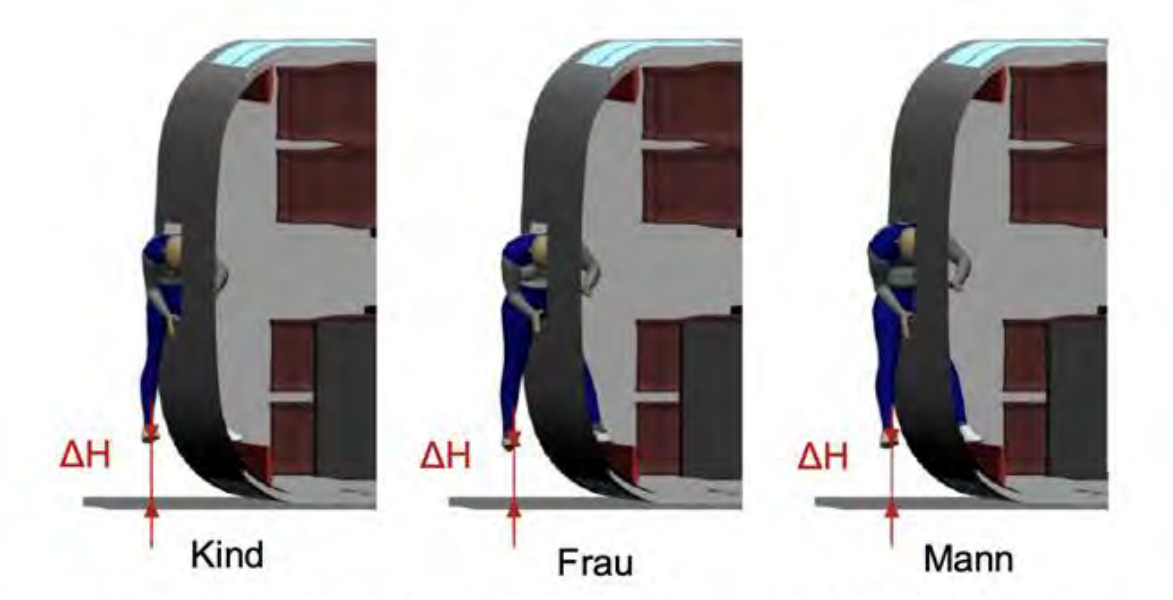


Abbildung 60: RAMSIS Simulation zur Ermittlung der zu überwindenden Höhendifferenz bei einem Dachlukenausstieg in 90°-Endlage mit längs eingebauter Dachluke

Eingeklebte Dachluken aus Einscheibensicherheitsglas haben aus Herstellersicht den Vorteil, dass durch den Wegfall des Rahmens mit Klapp- und Öffnungsmechanismus Gewicht und Kosten reduziert werden können. Zur Öffnung der Dachluke wird dann ein Nothammer benötigt.
Die Bildauswertungen von verunglückten Reisebussen zeigen jedoch deutlich, dass bei Dachluken aus Einscheibensicherheitsglas Glasfragmente in der Klebenaht verbleiben können, die beim Durchsteigen der Dachlukenöffnung zu Schnittverletzungen an Händen, im Schritt und an den Beinen führen können, bzw. das Aufsetzen auf den Glasrand zu Verletzungen führen wird.

Ein Blick auf den aktuellen Trend bei Reisebussen zeigt, dass neue Busmodelle immer öfter mit Panoramadächern oder mit größeren Dachluken mit Glasscheiben ausgeführt werden, die bei Unfällen zu den oben geschilderten Schwierigkeiten bei der Evakuierung und zu weiteren Verletzungen führen, so dass der Einsatz dieser Scheiben in Dachluken in Verbindung mit der oben beschriebenen Ausstiegskinematik sehr kritisch erscheint.
Aus diesem Grund sollte bei eingeklebten Dachluken eine gesetzliche Anforderung definiert werden, mit der konstruktive Vorkehrungen getroffen werden, die eine Schnittgefahr bei der Evakuierung vermeiden.

10.3 Reglementierung von Anbauteilen im Bereich der Notausstiege

Zunehmend bieten Reiseunternehmen Aktivitätsreisen an, bei denen Sportgeräte oder Fahrräder mitgenommen werden können. Da die Platzverhältnisse des Laderaums im Reisebus die Mitnahme von sperrigem Gut nur begrenzt erlauben, können am Heck des Busses Lastenträger, Skiboxen oder Fahrradträger angebracht werden.
Im Rahmen der Recherchen dieses Projektes konnte mehrfach dokumentiert werden, dass diese Lastenträger so angebracht werden können, dass sie die Heckscheibe teilweise versperren. Dies könnte im Falle einer Evakuierung zumindest zu einer erschwerten Nutzung der Heckscheibe als Notausstieg führen. Für den Fahrzeuginnenraum ist bereits vorgegeben, dass ein freier Zugang zu den Notausgängen gewährleistet sein muss. Für außenliegende Anbauten, die die Nutzung von Notausgängen beeinträchtigen können, müssten dieses durch entsprechende Vorgaben ebenfalls reglementiert werden.

10.4 Notausstiege bei der Integration neuer Antriebs- und Speicherkonzepte

Aktuell werden auch für Reisebusse batterieelektrische oder wasserstoffbasierte Antriebskonzepte diskutiert. In beiden Fällen bedeutet der Einsatz neuer Antriebstechnologien die Integration großvolumiger Energiespeicher. Während Batteriespeicher aufgrund Ihres hohen Gewichtes gerne bodennah installiert werden, werden Wasserstoffspeicher und Stromabnehmer für Oberleitungen auf dem Dach des Fahrzeuges installiert.

Bei der Ausarbeitung zukunftsfähiger Konzepte müssen unbedingt Evakuierungswege durch das Dach vorgesehen werden, wobei keine zusätzliche Gefährdung durch die Speichermedien und –technologie erfolgen darf.

11 Fazit

Reisebusse zählen zu den vergleichsweise sicheren Verkehrsmitteln, sodass die Wahrscheinlichkeit, bei einem Reisebusunfall verletzt oder getötet zu werden, gering ist. Kommt es allerdings dennoch zu einem Unfall, so sind aufgrund der Insassenzahl oft zahlreiche Verunglückte zu verzeichnen. Nach einem Unfall ist es dann für die Insassen von großer Bedeutung, rasch den Bus verlassen zu können und auch Verletzte aus dem Bus zu evakuieren. Aufgrund der unterschiedlichen Endlagen der Busse (senkrecht stehend, seitlich gekippt, seitlich liegend, auf dem Kopf) wurden im Rahmen dieses Projekts die verschiedenen Evakuierungsmöglichkeiten aus Reisebussen untersucht und Verbesserungsvorschläge erarbeitet.

Zusammenfassend muss festgestellt werden, dass es bei der Evakuierung aus Reisebussen zahlreiche – und zum Großteil recht kostengünstige – Verbesserungspotenziale gibt.
So kann ein Lichtkonzept die heute noch mangelhafte Erkennbarkeit der Evakuierungsöffnungen deutlich verbessern. Insbesondere könnte so auf die großflächige Öffnung der Heckscheibe hingeweisen werden, die oft ungenutzt bleibt.

Wenn zudem die Frontscheibe auch als Notausstieg verfügbar wäre und von den Insassen von innen geöffnet werden könnte, müsste diese Aufgabe nicht erst nach deren Ankunft von den Fremdrettern übernommen werden. Hier kann insbesondere bei der Evakuierung und Bergung von Verletzten wertvolle Zeit gewonnen werden.

Bei Bussen in Seitenlage ist es unverständlich, warum die Notluken im Dach in der Regel in Längsrichtung eingebaut sind, erschweren diese doch in den Versuchen nachweislich den Ausstieg erheblich. Ein Einbau quer zur Fahrtrichtung würde den Evakuierungsprozess beschleunigen und ggfs. sogar mobilitätseingeschränkten Insassen eine Eigenrettung ermöglichen.

Als kritisch muss das persönliche Anschnallverhalten der Proband:innen in Reisebussen gewertet werden. Nur ein Sechstel der Teilnehmer nutzen in

Reisebussen konsequent einen Sicherheitsgurt, es besteht also dringender Bedarf, die Wirksamkeit zusätzlicher Maßnahmen zu untersuchen.
Falls der Einbau von Dreipunktgurten aus konstruktiven oder wirtschaftlichen Gründen nicht möglich oder nicht erwünscht ist, würde in der Gegenüberstellung mit einem normalen Beckengurt ein statische Zweipunktgurt mit Flügelschloss ähnlich der Ausstattung von Flugzeugen höhere Akzeptanz finden, wie Befragungen der Proband:innen gezeigt haben.

Kritisch sind in diesem Zusammenhang besonders in Fahrzeuglängsrichtung eingebaute Notausstiege aus eingeklebten Glasscheiben zu bewerten. In Evakuierungsversuchen wurde nachgewiesen, dass die Insassen sich bei dieser Ausrichtung der Durchstiege auf dem Rahmen abstützen und vor dem Absprung nach außen auf dem Rahmen sitzen müssen. Die Analyse von Unfallbildern zeigte jedoch, dass nach dem Einschlag der Scheiben mit dem Nothammer im Durchstieg regelmäßig zahlreiche Scheibenreste verbleiben, die ein erhebliches Verletzungsrisiko bedeuten.

Die aktuellen Vorgaben an das Package von Bussen schreibt Mindestmaße für den Mittelgang vor, die sich an historischen Proportionen von Personen orientieren. Aktuelle Vermessungsdaten der Bevölkerung sind jedoch verfügbar und zeigen, dass ein rasches Durchschreiten des Gangs schon für heutige Durchschnittsmenschen problematisch ist, daher sollten diese Vorgaben überarbeitet und aktualisiert werden.
Auch müssen diese Vorgaben optionale Einbauten, wie Armlehnen, berücksichtigen, die, falls sie neben die Sitzlehne hochgeklappt werden können, die Gangbreite zusätzlich einschränken.

Bei Bussen, die nach dem Unfall in einer gekippten Seitenlage verbleiben, erschweren neue Buskonzepte mit einem Flat Floor (ohne tiefergelegtem Gang) die Fortbewegung im Inneren hin zu einer Evakuierungsöffnung signifikant. In den Versuchen in einem um 30° gekippten Bus haben 100% der Proband:innen die seitlichen Wände des Gangs genutzt, um sich sicher mit den Füßen daran abstützen zu können, diese Möglichkeit steht bei Flat Floor Designs nicht zur Verfügung, die Insassen können nur an den Fußstrukturen der Sitzbänke seitlich Halt finden.

Im Hinblick auf eine Fortbewegung in dieser gekippten Lage des Busses müssen auch die seitlich verschiebbaren Bussitze neu bewertet werden. Auch wenn diese Konzepte den Insassen während der Fahrt ein deutliches Mehr an Sitzkomfort bieten, so behindern diese ausgefahrenen Sitze im Falle einer Evakuierung den Durchgang schon in einer senkrechten Lage des Busses ausserordentlich. Bei einem Notfall mit einer gekippten Endlage können die ausgefahrenen Sitze eine rasche Evakuierung unmöglich machen, da die einzelnen Sitze erst jeweils mühsam gegen die Schwerkraft in die Ausgangslage geschoben werden müssen.

Unter Berücksichtigung der vorgenannten Maßnahmen sollte abschließend ein Richtlinie für die maximalen Evakuierungszeiten aus Reisebussen erstellt werden, so dass hier entsprechend anderer Verkehrsträger eine eindeutige Beurteilung stattfinden kann.

12 Literaturverzeichnis

[1] Bundesanstalt für Straßenwesen, Hrsg., „Verkehrs- und Unfalldaten“. Okbober 2020. Zugegriffen: Mai 14, 2021. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Publikationen/Medien/VU-Daten/VU-Daten.pdf;jsessionid=9766C71C70F3342CC05D487FE43E6485.live11293?__blob=publicationFile&v=9

[2] „BMVI - Liberalisierung des Fernbuslinienverkehrs“, 2020. https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/StV/Strassenverkehr/fernbusse-liberalisierung.html (zugegriffen Apr. 07, 2021).

[3] S. Wilke, „Personenverkehrsleistung nach Fahrzwecken 2003 und 201 im Vergleich, Anteile in Prozent“, *Umweltbundesamt*, Sep. 11, 2013. https://www.umweltbundesamt.de/bild/personenverkehrsleistung-nach-fahrzwecken-2003-2018 (zugegriffen Juli 14, 2021).

[4] „Gruppenreisen: Verkehrsmittelnutzung in Deutschland bis 2016“, *Statista*, 2020. https://de.statista.com/statistik/daten/studie/462150/umfrage/verkehrsmittelnutzung-bei-gruppenreisen-in-deutschland/ (zugegriffen Apr. 07, 2021).

[5] Statistisches Bundesamt (Destatis), Hrsg., „Verkehrsunfälle - Zeitreihen - 2019“, S. 248, Juli 2019.

[6] M. Krieg, G. Rüter, und A. Weißgerber, *Schwachstellenanalyse zur Optimierung des Notausstiegsystems bei Reisebussen*. Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW, Verlag für neue Wissenschaft, 2003.

[7] A. Scheper, *Zur Sicherheit von Reiseomnibussen: Unfalldatenauswertung*. Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW, Verl. für Neue Wiss, 1993.

[8] „Regelung Nr. 10 der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UNECE) — Einheitliche Bestimmungen für die Genehmigung von Fahrzeugen der Klassen M2 oder M3 hinsichtlich ihrer allgemeinen Konstruktionsmerkmale [201 /23]“, S. 13 , 201 .

[9] „VERORDNUNG (EU) 201 / DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES - vom 30. Mai 2018 - über die Genehmigung und die Marktüberwachung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge, zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 715/ 2007 und (EG) Nr. 595/ 2009 und zur Aufhebung der Richtlinie 200 /46/EG“, S. 21 , 201 .

[10] Kraftfahrt Bundesamt, „Fahrzeugzulassungen (FZ), Bestand an Nutzfahrzeugen, Kraftfahrzeugen insgesamt und Kraftfahrzeuganhängern nach technischen Daten (Größenklassen, Motorisierung, Fahrzeugklassen und Aufbauarten), 1. Januar 2020, FZ 2 “, S. 114, Jan. 2020.

[11] „DIN ISO 3 64-1:2011: Graphische Symbole - Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen - Teil 1: Gestaltungsgrundlagen für Sicherheitszeichen und Sicherheitsmarkierungen“. Juni 2012.

[12] EASA eRules, Hrsg., „Easy Access Rules for Large Aeroplanes (CS-25) (Amendment 21)“, S. 1342, Nov. 201 .

[13] Europäischen Union, Hrsg., „Verordnung (EU) Nr. 1302/2014“, S. 166.

[14] Maritime Safety Committee, „MSC.1-Circ.1533 - Revised Guidelines On Evacuation Analysis For New And Existing Passenger Ships“. Juni 06, 2016.

[15] RDA Internationaler Bustouristik Verband e.V., „RDA Marktforschungsbericht 2017 - Aktuelle Trends in der Bus- und Gruppentouristik“.

[16] H. Bubb, K. Bengler, R. E. Grünen, und M. Vollrath, *Automobilergonomie*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015. doi: 10.1007/978-3-8348-2297-0.
[17] H. Dilling, W. Mombour, M. H. Schmidt, E. Schulte-Markwort, und H. Remschmidt, „Internationale Klassifikation psychischer Störungen: ICD-10 Kapitel V (F) klinisch-diagnostische Leitlinien (10. Auflage, unter Berücksichtigung der Änderungen entsprechend ICD-10-GM 201).“, 201 . http://d-nb.info/1072777193/04
[18] N. Birbaumer, D. Frey, J. Kuhl, W. Schneider, und R. Schwarzer, „Anwendungsfelder der Verkehrspsychologie“, in *Enzyklopädie der Psychologie*, Hrsg. H.P. Küger, 2009. Zugegriffen: März 25, 2021. [Online]. Verfügbar unter: https://www.hogrefe.com/de/shop/enzyklopaedie-der-psychologie.html
[19] U. Schnyder, „Wodurch unterscheiden sich Unfallpatienten mit und ohne posttraumatische Störungen?“, in *Die psychosozialen Folgen schwerer Unfälle*, U. Schnyder, Hrsg. Heidelberg: Steinkopff, 2000, S. 101–121. doi: 10.1007/978-3-662-11529-9_5.
[20] N. Birbaumer und R. F. Schmidt, *Biologische Psychologie*, 7. Aufl. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. doi: 10.1007/978-3-540-95938-0.
[21] R. Lazarus und S. Folkman, „Stress, appraisal, and coping“, 19 4. doi: 10.4135/9781412952576.n198.
[22] A. Ehlers, R. A. Mayou, und B. Bryant, „Psychological predictors of chronic posttraumatic stress disorder after motor vehicle accidents“, *Journal of Abnormal Psychology*, Bd. 107, Nr. 3, S. 508–519, 1998, doi: 10.1037/0021-843X.107.3.508.
[23] B. Lueger-Schuster, M. Krüsmann, und K. Purtscher, *Psychosoziale Hilfe bei Katastrophen und komplexen Schadenslagen: Lessons Learned*. Springer Science & Business Media, 2006.
[24] F. Faul, E. Erdfelder, A.-G. Lang, und A. Buchner, „G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences“, *Behavior Research Methods*, Bd. 39, Nr. 2, S. 175–191, Mai 2007, doi: 10.3758/BF03193146.
[25] J. Knauß, W. Mosig, und P. Lehniger, „Vorrichtung zum Lösen einer Fensterscheibe aus ihrem Rahmen“, DE19 4 14A1, Juni 1 , 1999
[26] W. Bauer und W. Nagelschmitz, „Halterung für eine Fensterscheibe eines Kraftfahrzeugs, insbesondere Personenkraftwagens“, DE 3 3 133A1, Mai 03, 1989

13 Anhang

I Einführung in die Stichprobenumfangsplanung

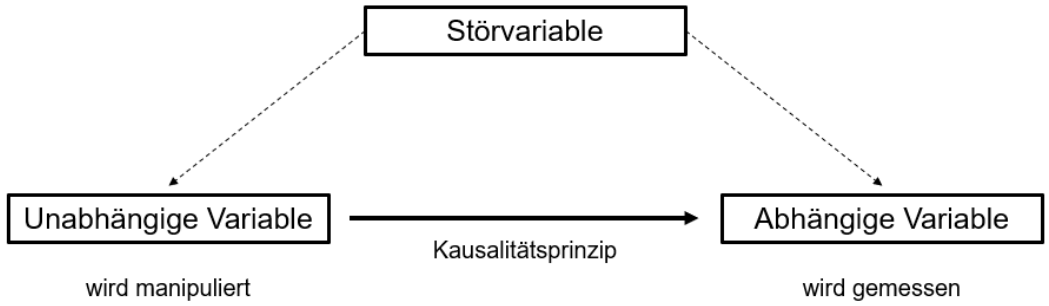
Warum Stichprobenumfangsplanung?

Nach dem Prinzip „so viel wie nötig, so wenig wie möglich“ sorgt eine Stichprobenumfangsplanung bei Versuchen mit Proband:innen für eine hohe Untersuchungsökonomie nach ethischen Anforderungen. Ziel ist es, lediglich so viele Versuchspersonen zu untersuchen, wie zur statistischen Auswertung der Hypothesen nötig sind. Die Stichprobenumfangsplanung ist daher, gerade wenn es zu nicht signifikanten Ergebnissen kommt, unverzichtbar. Erfolgte a priori keine Stichprobenumfangsplanung, so ist unklar, ob die Nullhypothese angenommen werden kann, oder ob die Teststärke unzureichend war. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass eine größere Stichprobe für eine quantitativ-statistische Auswertung von Daten vorteilhaft ist. Aus ökonomischen und ethischen Gesichtspunkten ist jedoch der Umfang zu begrenzen. Der vermehrte zeitliche Aufwand für die Rekrutierung von Personen und die Durchführung von Versuchen belasten Forschungsressourcen. Auch ist die individuelle Beanspruchung der Versuchsteilnehmer bei ausreichender Datenlage zu vermeiden.

Die folgende Ausführung bezieht sich auf die Stichprobenumfangsplanung in inferenzstatistischen, experimentellen Studiendesigns. Diese Konzepte können dann auf die Parameter der Stichprobenumfangsplanung für Merkmalszusammenhänge übertragen werden.

Statistischer Hintergrund

Ein Experiment wird definiert als die systematische Betrachtung einer oder mehrerer abhängiger Variablen unter den verschiedenen Bedingungen einer oder mehrerer unabhängiger Variablen. Dies geschieht bei gleichzeitiger Kontrolle von Störvariablen und der randomisierten Zuordnung von Versuchspersonen.



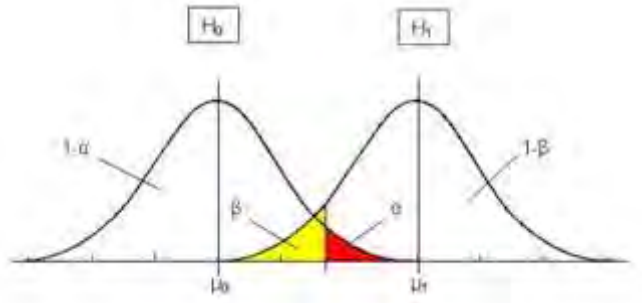
Das Kausalitätsprinzip beschreibt, dass unter diesen Prämissen die Veränderung in der abhängigen Variable eindeutig auf die Manipulation der unabhängigen Variable zurückzuführen ist. Die abhänige Variable wird in jeder der untersuchten Bedingungen erfasst, sodass die resultierenden Mittelwerte hinsichtlich der vorab aufgestellten Hypothesen verglichen werden können.

- Nullhypothese (H0): Die Erwartung, dass kein systematischer Effekt vorliegt. (Bei Mittelwertvergleichen also kein Unterschied zwischen den untersuchten Bedingungen)
- Alternativhypothese (H1): Die Erwartung eines systematischen Effekts.

Unterscheiden sich Mittelwerte signifikant, so wird ein systematischer Effekt auch für die Population angenommen. Eine Manipulation der unabhängigen Variable führt zu einer Veränderung in der abhängigen Variable.
Unterscheiden sich die Mittelwerte hingegen nicht signifikant, wird angenommen, dass auch in der Population kein Unterschied zwischen den Bedingungen besteht. Solche Annahmen können aber nur mit einer gewissen Irrtumswahrscheinlichkeit angegeben werden:

- Der Alpha-Fehler oder auch „Fehler 1. Art“ beschreibt die Entscheidung, die Alternativhypothese anzunehmen, obwohl in der Population tatsächlich die Nullhypothese gilt. Die Alpha-Fehlerwahrscheinlichkeit beträgt α = p($H_1|H_0$).

- Der Beta-Fehler oder auch „Fehler 2. Art“ beschreibt die Entscheidung, die Nullhypothese anzunehmen, obwohl in der Population tatsächlich die Alternativhypothese gilt. Die Beta-Fehler-Wahrscheinlichkeit beträgt β = p($H_0|H_1$)



Aus der Grafik der statistischen Verteilung der beiden Hypothesen lässt sich ableiten: je kleiner das Signifikanzniveau (α), desto kleiner ist auch die Teststärke (1-β). Je kleiner jedoch die Teststärke(1-β) ist, desto größer muss die Stichprobe gewählt werden, um einen Effekt, wenn er denn tatsächlich existiert, zu entdecken. Je größer also die Effektgröße ist, desto größer ist die Teststärke (1–β), bei einer größeren Effektgröße wird also nur ein kleiner Stichprobenumfang benötigt.

Durch Experimente an Stichproben sind mittels inferenzstatistischer Verfahren Rückschlüsse auf Populationsebene möglich. Dazu ist es notwendig, dass die Stichprobe die interessierende Population repräsentativ abbildet. Je größer die Stichprobe, desto genauer wird auch die Schätzung der Populationskennwerte, da der Mittelwert bei großen Stichproben weniger streut als bei kleinen Stichproben. Der resultierende Mittelwert stellt also dann eine präzisere Schätzung für den Populationsmittelwert dar, wenn sein Standardfehler möglichst gering ist. Die Formel für den Standardfehler ergibt sich aus der Streuung (σ) und der Stichprobengröße (n):

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}$$

Je größer die Stichprobengröße im Nenner wird, desto kleiner wird der Standardfehler.

Parameter der Stichprobenumfangsplanung

Es zeigt sich also, dass eine große Stichprobe eher vorteilhaft ist. Wie bereits zu Beginn erwähnt ist die Stichprobengröße jedoch aus ethischen und ökonomischen Gründen zu begrenzen, allerdings nur so weit, dass eine ausreichende Teststärke

erhalten bleibt. Die Berechnung des Stichprobenumfangs erfordert vorab die Festlegungen eines angemessenen Signifikanzniveaus, der erforderlichen Teststärke und der erwarteten Effektgröße.

- Das Signifikanzniveau stellt eine Entscheidungsgrenze dar und gibt an, wie groß die Alpha-Fehlerwahrscheinlichkeit maximal sein darf, um sich für die Annahme der Alternativhypothese zu entscheiden. Nach wissenschaftlichem Konsens liegt diese Grenze meist bei α = 0,0 .

- Die Teststärke ist die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Effekt gefunden wird, wenn er denn tatsächlich existiert. Sie berechnet sich als Gegenwahrscheinlichkeit zur β-Wahrscheinlichkeit und sollte mindestens bei (1-β) = 0,90 liegen.

- Die Effektgröße gibt die Relevanz statistisch signifikanter Ergebnisse wieder. Die zu erwartende Effektgröße wird aus der Literatur und den Ergebnissen ähnlicher Untersuchungen abgeleitet und geschätzt. Es gibt verschiedene Maße für die Effektgröße abhängig der verwendeten Methode, welche aber ineinander überführt werden können.

Folgend werden drei Effektgrößen eingeordnet:
Cohans *d*: 0,2-0,5 kleiner Effekt; 0,5-0,8 mittlerer Effekt; > 0,8 großer Effekt
f: 0,10 kleiner Effekt; 0,25 mittlerer Effekt; > 0,4 großer Effekt
Partielles η^2: < 0,06 kleiner Effekt; 0,06–0,14 mittlerer Effekt; > 0,14 großer Effekt

Berechnung des Stichprobenumfangs
Für den Stichprobenumfang ergibt sich folgende Berechnungsformel:

$$n_{obs} = \frac{\lambda_{\alpha;1-\beta}}{\phi^2}$$

Die Bezeichnung n_{obs} steht für die Anzahl der Beobachtungen und entspricht somit dem gesamten Stichprobenumfang. Der entsprechende Nonzentralitätsparameter $\lambda_{\alpha;1-\beta}$ ist nachzuschlagen in der TPF-Tabelle (zum Beispiel Hager, W. (1987)

Grundlagen einer Versuchsplanung. In: G. Lüer (Hrsg.), Allgemeine experimentelle Psychologie (S. 254-258). Stuttgart: Fischer).

Auch die Effektgröße ϕ^2 lässt sich aus anderen Effektmaßen errechnen, zum Beispiel:

$$\phi^2 = \frac{\frac{f^2}{(1+f^2)}}{1-\frac{f^2}{(1+f^2)}}$$

Berechnungsmethoden

Zur Berechnung des Stichprobenumfangs stehen zahlreiche Statistikprogramme zur Verfügung. In diesem Projekt wurde die Software „G*Power 3.1“ von Faul, Erdfelder, Lang und Buchner (2007) eingesetzt. Zur Planung oder Überprüfung des Stichprobenumfangs muss das entsprechende statistische Design ausgewählt werden und das Signifikanzniveau, die gewünschte Teststärke und die erwartete Effektgröße in die entsprechenden Felder eingegeben werden. Unter https://www.psychologie.hhu.de/arbeitsgruppen/allgemeine-psychologie-und-arbeitspsychologie/gpower.html steht „G*Power“ als Download zur Verführung. Außerdem sind dort weitere Materialien und das Handbuch kostenfrei zu erhalten.

Stichprobenumfang und qualitative Untersuchungen

Innerhalb der qualitativen Forschung, die auf eine strukturierte Analyse vergleichsweise weniger Fälle abzielt, werden in der Regel keine repräsentativen Stichproben gezogen. Die Auswahl der zu untersuchenden Einheiten erfolgt vielmehr nach theoretischen Überlegungen. Ziel sollte es sein, eine möglichst heterogene, in den relevanten Merkmalen maximal kontrastierte und somit informative Gruppe von Personen für die Untersuchung zu gewinnen (Varianzmaximierung). So kann die Wahrscheinlichkeit, für die Untersuchung bedeutsame Informationen nicht erheben zu können, minimiert werden.

II Fragebogen Evakuierungsversuche in der Endlage 30°

Fragebogen Reisebus 30°

des Forschungsprojektes

„Evakuierung aus Reisebussen"

Versuchspersonennummer: _____

Angaben zur Person

Geschlecht: ☐ männlich ☐ weiblich

Alter: _____ Jahre Größe: _____ cm Gewicht: _____kg

Ich bin allgemein in einem guten körperlichen Zustand.

stimme überhaupt nicht zu — stimme voll und ganz zu

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6

Bewertung Durchstieg

Ich konnte mich problemlos im Reisebus fortbewegen.

stimme überhaupt nicht zu — stimme voll und ganz zu

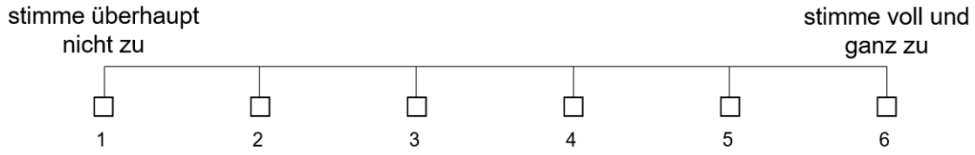
☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6

Engpässe waren gut zu überwinden.

stimme überhaupt nicht zu — stimme voll und ganz zu

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6

Auch im gekippten Reisebus kommt man zügig voran.



Einbauteile erschweren das Vorankommen erheblich.



Auch in gekippter Lage war eine angemessene Beweglichkeit im Bus gewährleistet.



Maßnahmen

Bitte kreuzen Sie an, welche Maßnahmen Ihrer Meinung nach das Durchsteigen des Busses erleichtern würden (Mehrfachantworten möglich):

□ Keine Maßnahmen erforderlich
□ zusätzliche Griffe
□ zusätzliche Trittflächen
□ Fernseher entfernen
□ Gepäckablage verkleinern
□ Abstand zwischen Gepäckablage und Kopfstützen vergrößern
□ Sonstige: _____

Anmerkungen Durchstieg

III Fragebogen Evakuierungsversuche in der Endlage 90°

Fragebogen Reisebus 90°

des Forschungsprojektes

„Evakuierung aus Reisebussen"

Versuchspersonennummer: _____

Angaben zur Person

Geschlecht: ☐ männlich ☐ weiblich

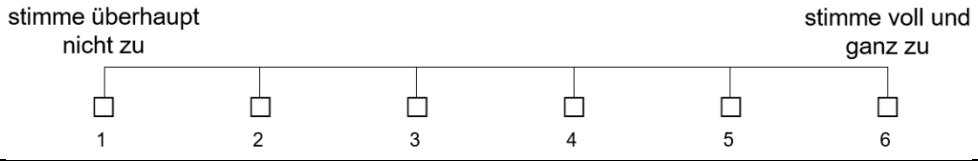
Alter: _____ Jahre Größe: _____ cm Gewicht: _____kg

Ich bin allgemein in einem guten körperlichen Zustand.

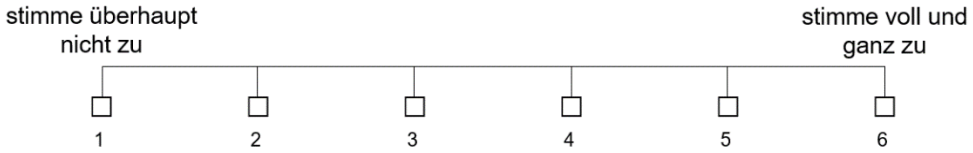


Bewertung Durchstieg

Ich konnte mich problemlos im Reisebus fortbewegen.



Engpässe waren gut zu überwinden.



Auch im gekippten Reisebus kommt man zügig voran.



Einbauteile erschweren das Vorankommen erheblich.



Auch in gekippter Lage war eine angemessene Beweglichkeit im Bus gewährleistet.



Maßnahmen

Bitte kreuzen Sie an, welche Maßnahmen Ihrer Meinung nach das Durchsteigen des Busses erleichtern würden (Mehrfachantworten möglich)**:**

☐ Keine Maßnahmen erforderlich

☐ zusätzliche Griffe

☐ zusätzliche Trittflächen

☐ Fernseher entfernen

☐ Gepäckablage verkleinern

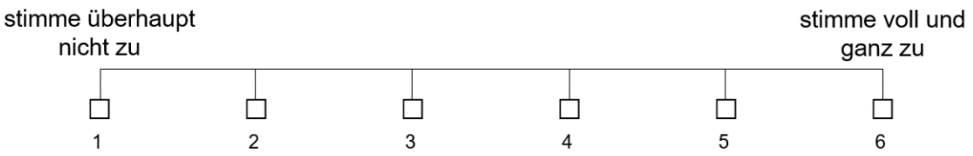
☐ Abstand zwischen Gepäckablage und Kopfstützen vergrößern

☐ Sonstige: _____

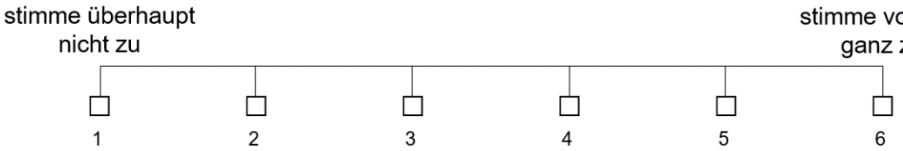
Anmerkungen Durchstieg

Intuitive Nutzung Klappmechanismus

Der Klappmachanismus ist direkt zu erkennen.



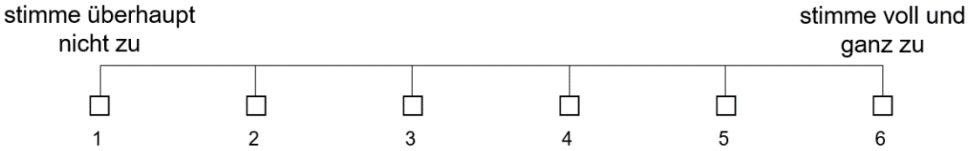
Mir war klar wie ich die Sitze sofort umklappen kann.



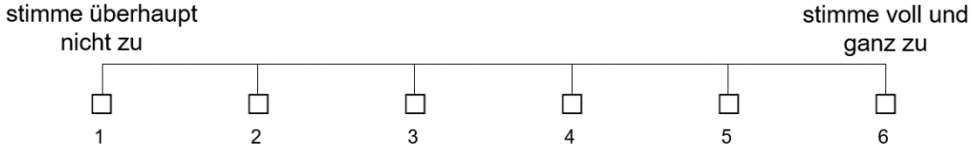
Beim Umklappen der Sitze machte ich automatisch das Richtige.



Die Sitze ließen sich einfach umklappen.



Die Nutzung des Klappmechanismus verlief reibungslos.



Gesamtnote Klappmechanismus

Bitte geben Sie dem Klappmechanismus eine **Gesamtnote**. (1 = sehr gut bis 6 = ungenügend)



Anmerkungen Klappmechanismus

IV Fragebogen Einfluss der Dachlukengeometrie auf die Ausstiegskinematik

Fragebogen Dachlukenausstieg

des Forschungsprojektes

„Evakuierung aus Reisebussen"

Versuchspersonennummer: _____		
Dachluke:	☐ längs	☐ quer
Ausstieg aus der Dachluke war:	☐ möglich	☐ nicht möglich
Ausstiegszeit:	_____ Sekunden	

Angaben zur Person

Geschlecht: ☐ männlich ☐ weiblich **Alter:** _____ Jahre

Größe: _____ cm **Gewicht:** _____ kg

Ich bin allgemein in einem guten körperlichen Zustand.

stimme überhaupt nicht zu — stimme voll und ganz zu

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6

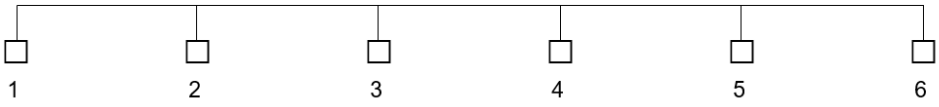
Ich habe bereits einmal eine Dachluke genutzt, um aus einem Reisebus zu gelangen.

☐ Ja ☐ Nein

Beanspruchung und Anstrengung

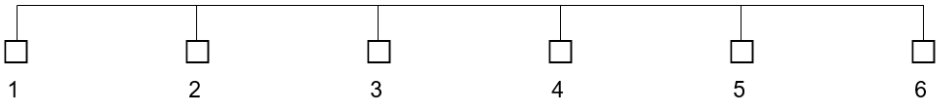
Der Ausstieg aus der Dachluke war körperlich beanspruchend.

stimme überhaupt nicht zu — stimme voll und ganz zu



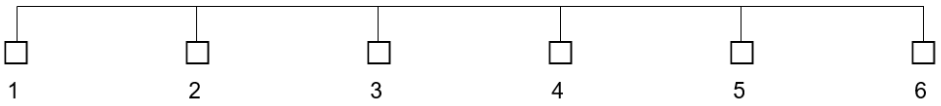
Der Ausstieg aus der Dachluke erforderte viel Aufmerksamkeit.

stimme überhaupt nicht zu — stimme voll und ganz zu



Der Ausstieg aus der Dachluke war mit Leichtigkeit möglich.

stimme überhaupt nicht zu — stimme voll und ganz zu



Der Ausstieg aus der Dachluke war praktisch.

stimme überhaupt nicht zu — stimme voll und ganz zu



Subjektive Bewertung

Die Dachluke ist ergonomisch gut gestaltet.

stimme überhaupt nicht zu — stimme voll und ganz zu



Die Dachluke ist für eine schnelle Evakuierung geeignet.

stimme überhaupt nicht zu — stimme voll und ganz zu



Die Dachluke ermöglicht einen sicheren Ausstieg.

stimme überhaupt nicht zu — stimme voll und ganz zu

□ 1 □ 2 □ 3 □ 4 □ 5 □ 6

Im Notfall würde ich die Dachluke sofort zum Verlassen des Fahrzeuges nutzen.

stimme überhaupt nicht zu — stimme voll und ganz zu

□ 1 □ 2 □ 3 □ 4 □ 5 □ 6

Fähigkeiten

Bitte kreuzen Sie an, welche Fähigkeiten Ihrer Meinung nach bei Nutzung der Dachluke besonders wichtig sind (Mehrfachantworten möglich):

□ Keine besonderen Fähigkeiten erforderlich
□ Kraft
□ Schnelligkeit
□ Beweglichkeit
□ Koordinative Fähigkeiten
□ Begabung
□ Intelligenz
□ Körperliche Fitness
□ Sonstige: _____

Gesamtbewertung

Bitte geben Sie der Dachluke eine Gesamtnote. (1 = sehr gut bis 6 = ungenügend)

□ 1 □ 2 □ 3 □ 4 □ 5 □ 6

Anmerkungen

Falls sie Anmerkungen zum Ausstieg aus der Dachluke haben, bitte hier eintragen:

V Fragenbogen Bedienbarkeit von Gurtsystemen 0°

Fragebogen Gurtversuch o°

des Forschungsprojektes

„Evakuierung aus Reisebussen"

Versuchspersonennummer: _____

Angaben zur Person

Geschlecht: ☐ männlich ☐ weiblich

Alter: _____ Jahre Größe: _____ cm Gewicht: _____kg

Ich bin allgemein in einem guten körperlichen Zustand.

stimme überhaupt nicht zu					stimme voll und ganz zu
☐	☐	☐	☐	☐	☐
1	2	3	4	5	6

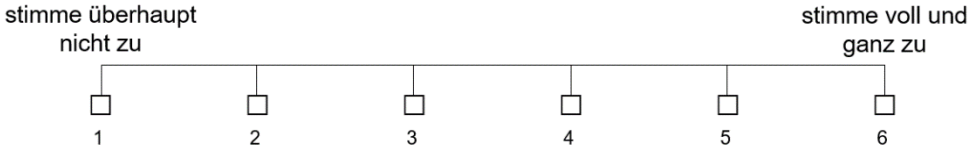
Unabhängig vom Gurtsystem lege ich bei Reisebusfahrten immer einen Sicherheitsgurt

stimme überhaupt nicht zu					stimme voll und ganz zu
☐	☐	☐	☐	☐	☐
1	2	3	4	5	6

an.

Zwei-Punkt-Gurt

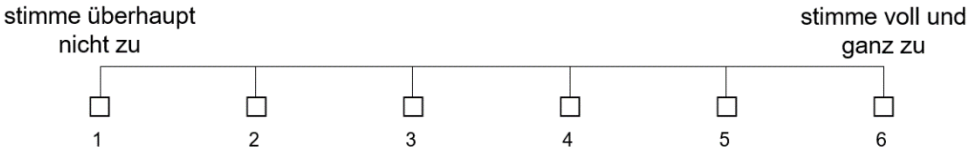
Das Anlegen des Gurtsystems war praktisch.



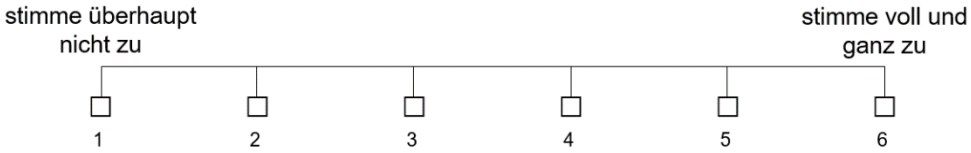
Das Gurtsystem ist ergonomisch gut gestaltet.



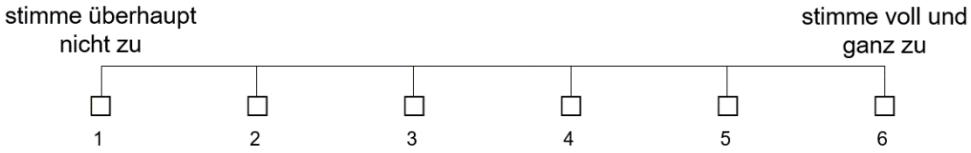
Der Mechanismus zum Öffnen des Gurtsystems ist gut erreichbar.



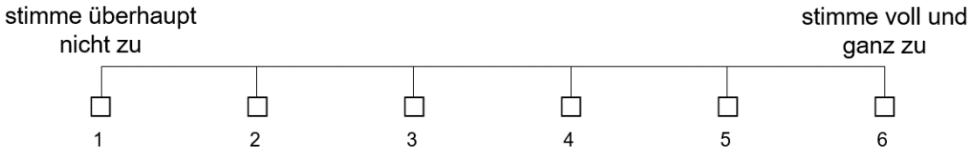
Das Gurtsystem ermöglicht ein schnelles Abschnallen.



Das Abschnallen war mit Leichtigkeit möglich.



Ich würde dieses Gurtsystem bei der Fahrt in einem Reisebus freiwillig anlegen.

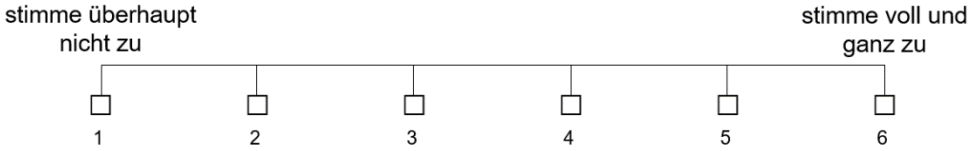


Bitte geben Sie dem Gurtsystem eine **Gesamtnote**. (1 = sehr gut bis 6 = ungenügend)



Zwei-Punkt-Gurt mit Flügelschloss

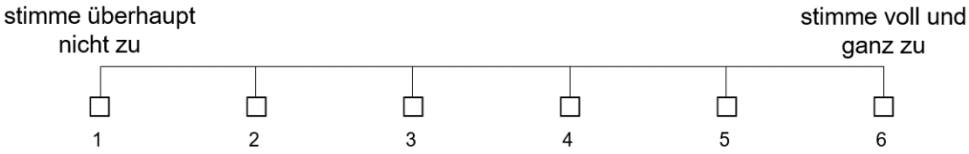
Das Anlegen des Gurtsystems war praktisch.



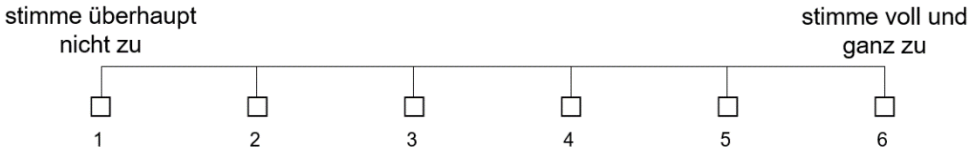
Das Gurtsystem ist ergonomisch gut gestaltet.



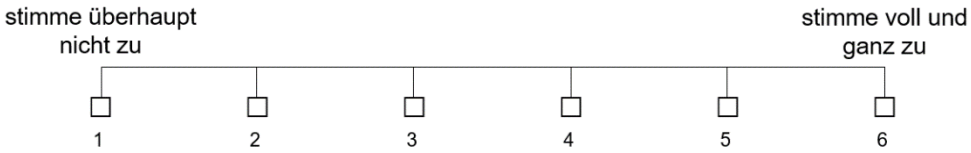
Der Mechanismus zum Öffnen des Gurtsystems ist gut erreichbar.



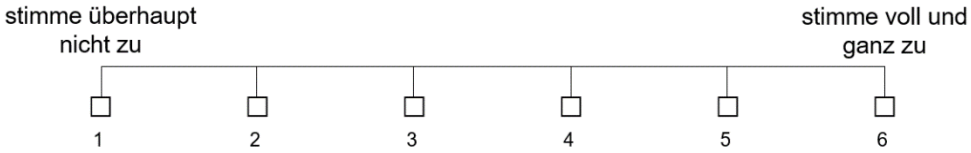
Das Gurtsystem ermöglicht ein schnelles Abschnallen.



Das Abschnallen war mit Leichtigkeit möglich.



Ich würde dieses Gurtsystem bei der Fahrt in einem Reisebus freiwillig anlegen.

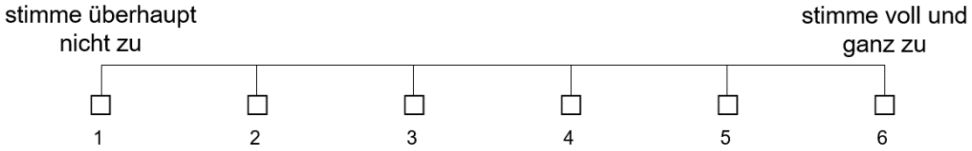


Bitte geben Sie dem Gurtsystem eine **Gesamtnote**. (1 = sehr gut bis 6 = ungenügend)



Drei-Punkt-Gurt (Gurtschloss links)

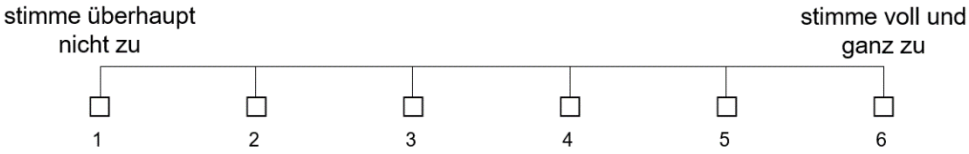
Das Anlegen des Gurtsystems war praktisch.



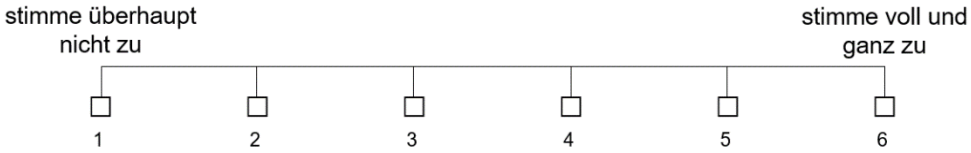
Das Gurtsystem ist ergonomisch gut gestaltet.



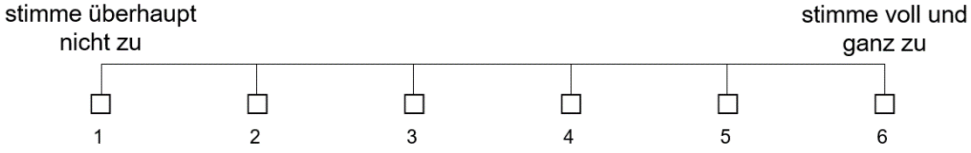
Der Mechanismus zum Öffnen des Gurtsystems ist gut erreichbar.



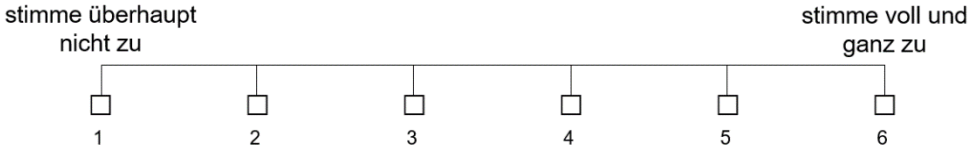
Das Gurtsystem ermöglicht ein schnelles Abschnallen.



Das Abschnallen war mit Leichtigkeit möglich.



Ich würde dieses Gurtsystem bei der Fahrt in einem Reisebus freiwillig anlegen.



Bitte geben Sie dem Gurtsystem eine **Gesamtnote**. (1 = sehr gut bis 6 = ungenügend)



Anmerkungen

VI Fragebogen Bedienbarkeit von Gurtsystemen 30°

Fragebogen Gurtversuch 30°

des Forschungsprojektes

„Evakuierung aus Reisebussen"

Versuchspersonennummer: _____

Angaben zur Person

Geschlecht: ☐ männlich ☐ weiblich

Alter: _____ Jahre Größe: _____ cm Gewicht: _____kg

Ich bin allgemein in einem guten körperlichen Zustand.

stimme überhaupt nicht zu — stimme voll und ganz zu

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6

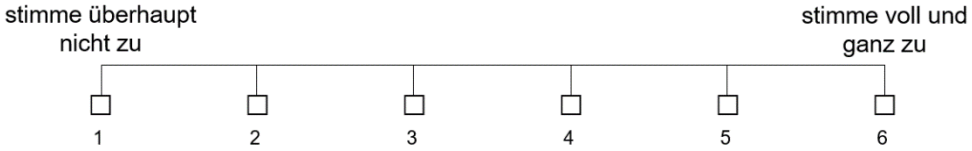
Unabhängig vom Gurtsystem lege ich bei Reisebusfahrten immer einen Sicherheitsgurt an.

stimme überhaupt nicht zu — stimme voll und ganz zu

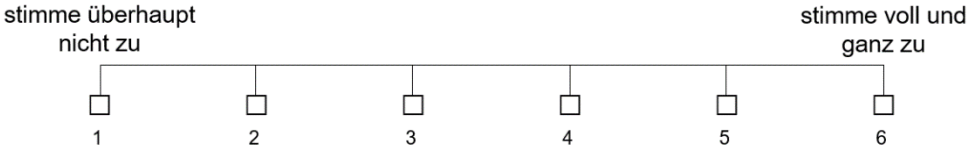
☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6

Zwei-Punkt-Gurt

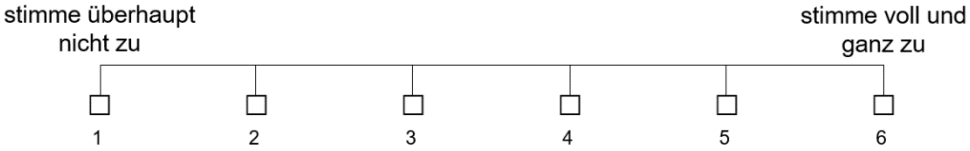
Das Gurtsystem ist ergonomisch gut gestaltet.



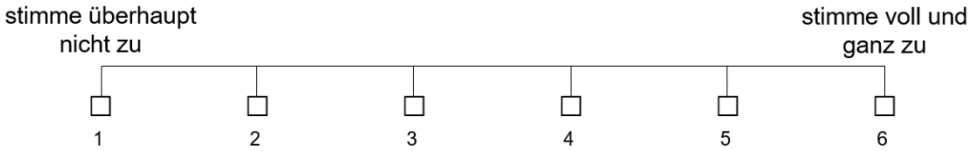
Das Gurtsystem bietet ausreichenden Halt.



Der Mechanismus zum Öffnen des Gurtsystems ist gut erreichbar.



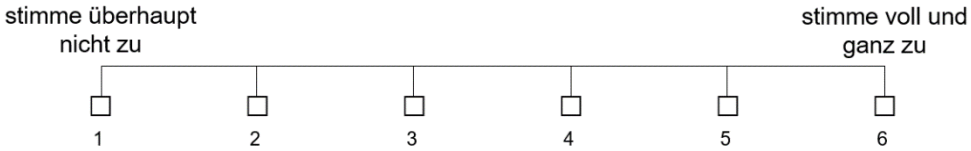
Das Gurtsystem ermöglicht ein schnelles Abschnallen.



Das Abschnallen war mit Leichtigkeit möglich.



Ich würde dieses Gurtsystem bei der Fahrt in einem Reisebus freiwillig anlegen.



Bitte geben Sie dem Gurtsystem eine **Gesamtnote**. (1 = sehr gut bis 6 = ungenügend)



Zwei-Punkt-Gurt mit Flügelschloss

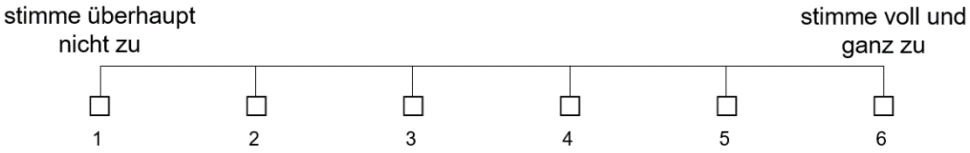
Das Gurtsystem ist ergonomisch gut gestaltet.



Das Gurtsystem bietet ausreichenden Halt.



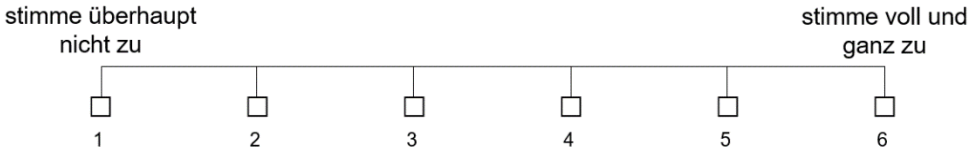
Der Mechanismus zum Öffnen des Gurtsystems ist gut erreichbar.



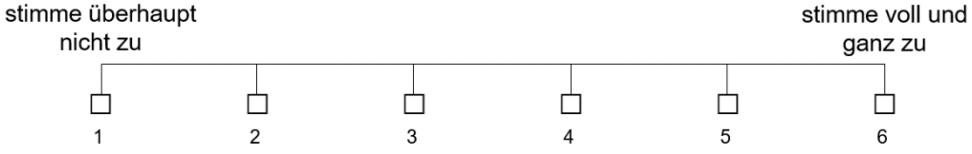
Das Gurtsystem ermöglicht ein schnelles Abschnallen.



Das Abschnallen war mit Leichtigkeit möglich.



Ich würde dieses Gurtsystem bei der Fahrt in einem Reisebus freiwillig anlegen.



Bitte geben Sie dem Gurtsystem eine **Gesamtnote**. (1 = sehr gut bis 6 = ungenügend)



Drei-Punkt-Gurt (Gurtschloss links)

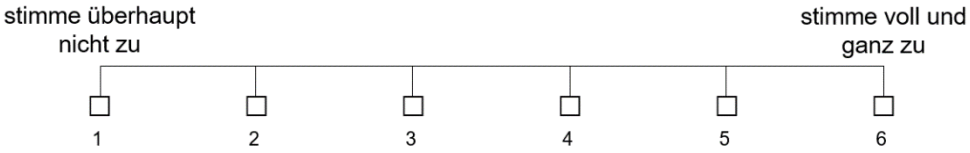
Das Gurtsystem ist ergonomisch gut gestaltet.



Das Gurtsystem bietet ausreichenden Halt.



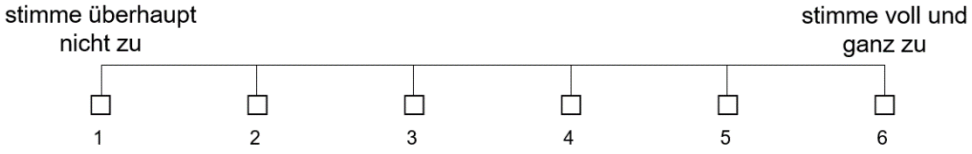
Der Mechanismus zum Öffnen des Gurtsystems ist gut erreichbar.



Das Gurtsystem ermöglicht ein schnelles Abschnallen.



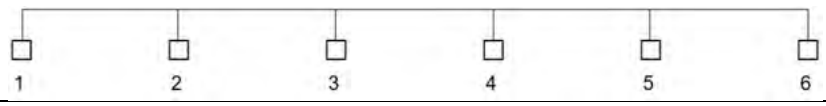
Das Abschnallen war mit Leichtigkeit möglich.



Ich würde dieses Gurtsystem bei der Fahrt in einem Reisebus freiwillig anlegen.



Bitte geben Sie dem Gurtsystem eine **Gesamtnote**. (1 = sehr gut bis 6 = ungenügend)



Drei-Punkt-Gurt (Gurtschloss rechts)

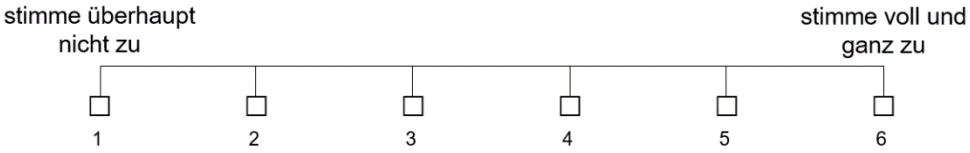
Das Gurtsystem ist ergonomisch gut gestaltet.



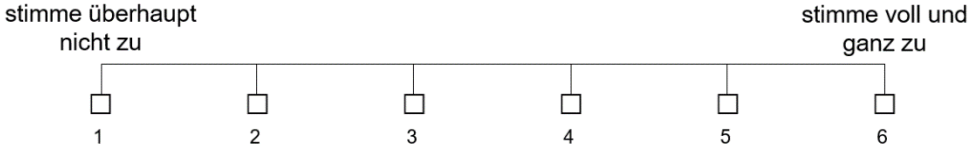
Das Gurtsystem bietet ausreichenden Halt.



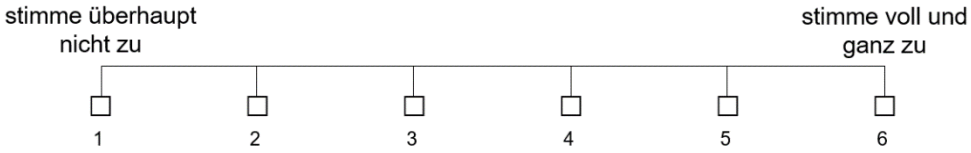
Der Mechanismus zum Öffnen des Gurtsystems ist gut erreichbar.



Das Gurtsystem ermöglicht ein schnelles Abschnallen.

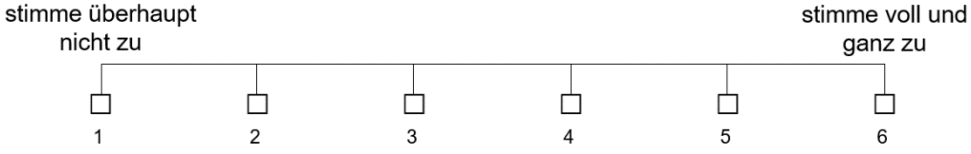


Das



Abschnallen war mit Leichtigkeit möglich.

Ich würde dieses Gurtsystem bei der Fahrt in einem Reisebus freiwillig anlegen.



Bitte geben Sie dem Gurtsystem eine **Gesamtnote**. (1 = sehr gut bis 6 = ungenügend)



Anmerkungen

VII Durchlaufzeiten unter Normalbedingung

Durchlaufversuche unter Normalbedingung	
Probandennummer	Zeit in s
1	5
2	8
3	5
4	7
5	6
6	6
7	8
8	4
9	5
10	4
Durchschnitt	5,8

Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.

Wilhelmstraße 43 / 43G
10117 Berlin
Postfach 08 02 64
10002 Berlin

Tel. 030/2020-5000
Fax 030/2020-6000
berlin@gdv.org, unfallforschung@gdv.de

www.gdv.de, www.udv.de