Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.

Forschungsbericht FS 05

Busunfälle

Untersuchung zur Insassensicherheit und aktiven Sicherheit von Kraftomnibussen auf Basis des Schadengeschehens der Deutschen Versicherer

Thomas König
Roy Strzeletz
Thomas Hummel
Matthias Kühn
Jenö Bende

Unfallforschung der Versicherer
GDV

Im Auftrag der Kommission Kraftfahrt Schadenverhütung

Busunfälle

Untersuchung zur Insassensicherheit und aktiven Sicherheit von Kraftomnibussen auf Basis des Schadengeschehens der Deutschen Versicherer

bearbeitet durch
RLS Unfallforschung Service GmbH
Dipl.-Ing. Thomas König
Dipl.-Ing. Roy Strzeletz

bei der **UDV** betreut durch
Dipl.-Ing. Thomas Hummel

Unfallforschung der Versicherer
GDV

Im Auftrag der Kommission Kraftfahrt Schadenverhütung

Busunfälle

Untersuchung zur Insassensicherheit und aktiven Sicherheit von Kraftomnibussen auf Basis des Schadengeschehens der Deutschen Versicherer

bearbeitet durch
RLS Unfallforschung Service GmbH
Dipl.-Ing. Thomas König
Dipl.-Ing. Roy Strzeletz

bei der **UDV** betreut durch
Dipl.-Ing. Thomas Hummel

Unfallforschung der Versicherer
GDV

Die Unfallforschung der Versicherer veröffentlicht ihre Forschungsergebnisse in den Reihen:

FS - Fahrzeugsicherheit
VI - Verkehrsinfrastruktur
VV - Verkehrsverhalten / Verkehrspsychologie

Impressum:

Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.
Unfallforschung der Versicherer
Wilhelmstraße 43/43G, 10117 Berlin
Postfach 08 02 64, 10002 Berlin
E-Mail: unfallforschung@gdv.de
Internet: www.udv.de

ISBN-Nr.: 978-3-939163-44-2

Redaktion: Dipl.-Ing. Thomas Hummel
Layout: Michaela Gaebel
Erschienen: 02/2012

Inhalt

1	**Auswertung des Unfallgeschehens unter KOM-Beteiligung**	**5**
2	**Gesetzliche Anforderungen**	**13**
3	**Literaturrecherche**	**15**
3.1	Untersuchungen zur Aufbaufestigkeit von Kraftomnibus-strukturen und Ergebnisse aus Unfallversuchen	15
3.2	Studien zu Veletzungsmechanismen in Kraftomnibussen	26
3.3	Studien zur allgemeinen Bussicherheit	31
3.4	Zusammenfassende Bewertung der Unfallstatistik und der Literaturrecherche	37
4	**Definition neuer Merkmale und Merkmalsausprägungen für die Datenbank**	**38**
5	**Auswertung des Fallmaterials aus der UDB**	**43**
5.1	Einleitung	43
5.2	Datengrundlage	44
5.3	Unfallstruktur bei Kraftomnibusunfällen mit Personenschaden	44
5.4	Schadenaufwand	51
6	**Untersuchungen zur Insassensicherheit**	**54**
6.1	Crash-events	55
6.1.1	Verletzungsart	55
6.1.2	Kraftomnibusunfälle nach Ortslage	57
6.1.3	Kraftomnibusunfälle nach Jahreszeit, Licht- und Straßenverhältnissen	58
6.1.4	Kraftomnibusunfälle nach Art des Kraftomnibusses	60
6.1.5	Verletzungsschwere und Verletzungsmuster	60
6.2	Non-crash-events	69
6.2.1	Verletzungsschwere und Verletzungsmuster	70
7	**Aktive Sicherheit**	**73**
7.1	Methodisches Vorgehen	73
7.2	KOM-Fahrerassistenzsysteme	74
7.2.1	Notbremsassistent (NBA)	76
7.2.2	Abbiegeassistent	78
7.2.3	Lane Depature Warning-Systems (LDW) - Spurverlassenswarner	81
7.2.4	Spurwechselassistent - Totwinkelwarner	82
7.2.5	ESP	84
7.2.6	Zusammenstellung der Nutzenpotenziale von Fahrerassistenzsystemen für Kraftomnibusse	85

8 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen 86

Literatur 89

Anhang 93
Anhang 1 - Tabellen zur Unfallstatistik 93
Anhang 2 - Vergleich FAT, ECBOS und UDB 95

1 Auswertung des Unfallgeschehens unter KOM-Beteiligung

Für die folgenden Betrachtungen wurden die Zahlen des statistischen Bundesamtes ausgewertet. Da in der Statistik nur solche Fälle enthalten sind, bei denen die Polizei vor Ort war bzw. die bei der Polizei angezeigt wurden, sind Unfälle mit geringen Sach- oder sehr geringem Personenschaden nicht enthalten. Es ist zwar davon auszugehen, dass die Zahl der nicht dokumentierten Unfälle mit steigender Unfallschwere abnimmt. Dennoch ist es möglich, dass eine Vielzahl leichterer Unfälle nicht erfasst werden.

Da innerhalb der unterschiedlichen Kraftomnibuskategorien bei den verunglückten[1] KOM-Insassen gemäß der Definitionen der amtlichen Unfallstatistik nicht nach der Verletzungsschwere, also schwer- bzw. leichtverletzt, unterschieden wird, liegt bezüglich der Daten des Statistischen Bundesamtes eine weitere Einschränkung vor. Dagegen kann mittels der Zahlen des Statistischen Bundesamtes aber eine Unterscheidung aller leicht-, schwerverletzten und getöteten Businsassen nach der Ortslage, also innerhalb und außerhalb von Ortschaften, des Unfalles durchgeführt werden.

Die folgenden Diagramme geben einen ersten Überblick über die Rolle des Kraftomnibusses im Straßenverkehr und im Unfallgeschehen zwischen den Jahren 1995 und 2007 (teilweise 2009). Anschließend wird in dieser Arbeit eine Auswertung der statistisch erfassten Busunfälle in Hinblick auf die Ortslage und die Altersverteilung der verunglückten und getöteten Businsassen durchgeführt.

Abbildung 1-1 zeigt die Anzahl der Neuzulassungen und den Bestand von Kraftomnibussen zwischen 2000 und 2009. Die Neuzulassungen zeigen trotz eines kurzzeitigen Anstieges zwischen den Jahren 2004 und 2006 eher rückläufige Tendenzen. Ein ähnlicher Trend ist beim Gesamtbestand der KOM erkennbar. Soweit es sich aus der amtlichen Statistik entnehmen lässt, ist die Gesamtfahrleistung mit ca. 3,5 Mrd. km weitgehend konstant geblieben. Auch dort sind nach einem geringen Anstieg bis zum

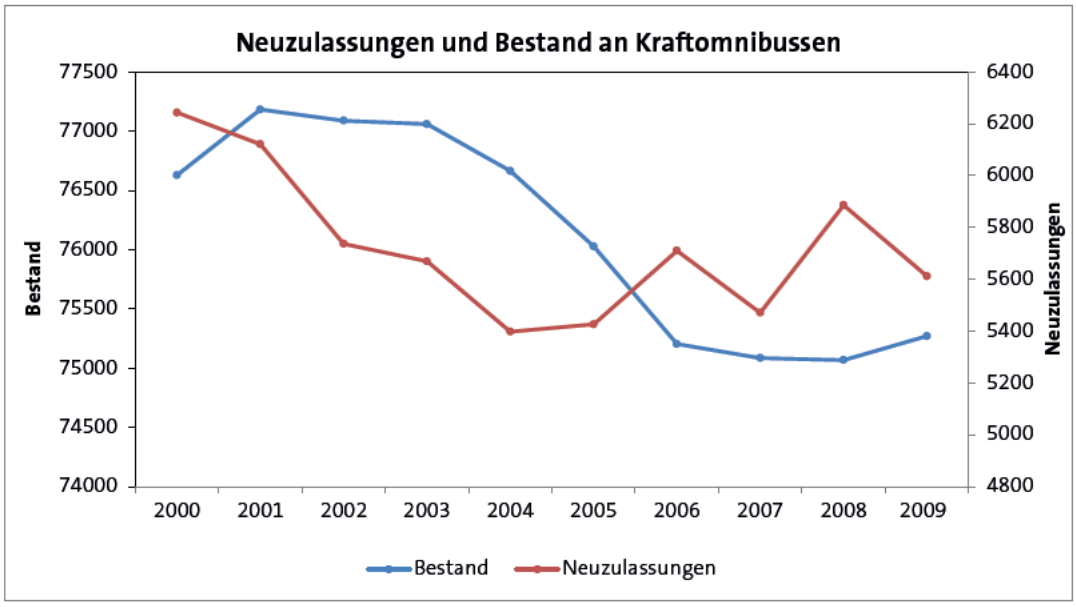


Abbildung 1-1:
Bestand und Neuzulassungen von Kraftomnibussen [2]

1 Verunglückte sind Personen (auch Mitfahrer), die beim Unfall verletzt oder getötet wurden.
Dabei werden erfasst als
- Getötete: Personen, die innerhalb von 30 Tagen an den Unfallfolgen sterben,
- Schwerverletzte: Personen, die unmittelbar zur stationären Behandlung (mindestens 24 Stunden) in einem Krankenhaus aufgenommen wurden,
- Leichtverletzte: alle übrigen Personen [2].

Jahr 2004 rückgängige Werte feststellbar. Dagegen ist beim Bestand der übrigen motorisierten Kraftfahrzeuge, wie Motorräder, Personen- oder Lastkraftwagen, anhand der Tabellen des Statistischen Bundesamtes ein stetiger Anstieg festzustellen [1, 2].

Im gesamten Unfallgeschehen nimmt der Kraftomnibus eine eher untergeordnete Rolle ein. Von 335.845 Unfällen mit Personenschaden fielen im Jahr 2007 nur 5.555 auf beteiligte Kraftomnibusse. Im Vergleich dazu waren Personenkraftwagen 50mal mehr involviert. An den 4609 Unfällen mit getöteten Personen waren im Jahr 2007 nur 85 Busse beteiligt.

Abbildung 1-2 zeigt eine Übersicht der Verunglückten unter Beteiligung von KOM und verunglückte Businsassen zwischen den Jahren 1995 und 2009. Sowohl die Zahl der Verunglückten unter Beteiligungen von KOM als auch die Anzahl der verunglückten Businsassen weist im betrachteten Zeitraum nur sehr geringe Änderungen auf. Zwar sank die Zahl der Verunglückten unter der Beteiligung von Kraftomnibussen um 1,3%, die Zahl der verunglückten Insassen stieg aber um ca. 12% an. Innerhalb der Verunglückten kann aus den Daten des Statistischen Bundesamtes eine Differenzierung nach Leicht- und Schwerverletzten sowie Getöteten vorgenommen werden, eine Differenzierung nach Kraftomnibuskategorien ist aber nicht möglich.

Die Anzahl der Leichtverletzten weist einen leicht ansteigenden Trend auf, der in Abbildung 1-3 zu sehen ist. Das gilt sowohl für Businsassen als auch für die unter Beteiligung von Bussen verletzten Personen. Bei den leichtverletzten Businsassen beläuft sich der Anstieg auf knapp 15%, bei den Leichtverletzen unter der Beteiligung von Kraftomnibussen auf ca. 6,5%. Der Höchstwert der leichtverletzten Personen unter KOM-Beteiligung wurde im Jahr 1999 verzeichnet, der der leichtverletzten Businsassen im Jahr 2006. Der niedrigste Stand, sowohl bei den Leichtverletzten unter KOM-Beteiligung als auch bei den leichtverletzten KOM-Insassen, war im Jahr 1996 zu verzeichnen. Ein eindeutiger Zusammenhang mit den Zulassungszahlen lässt sich nicht herstellen.

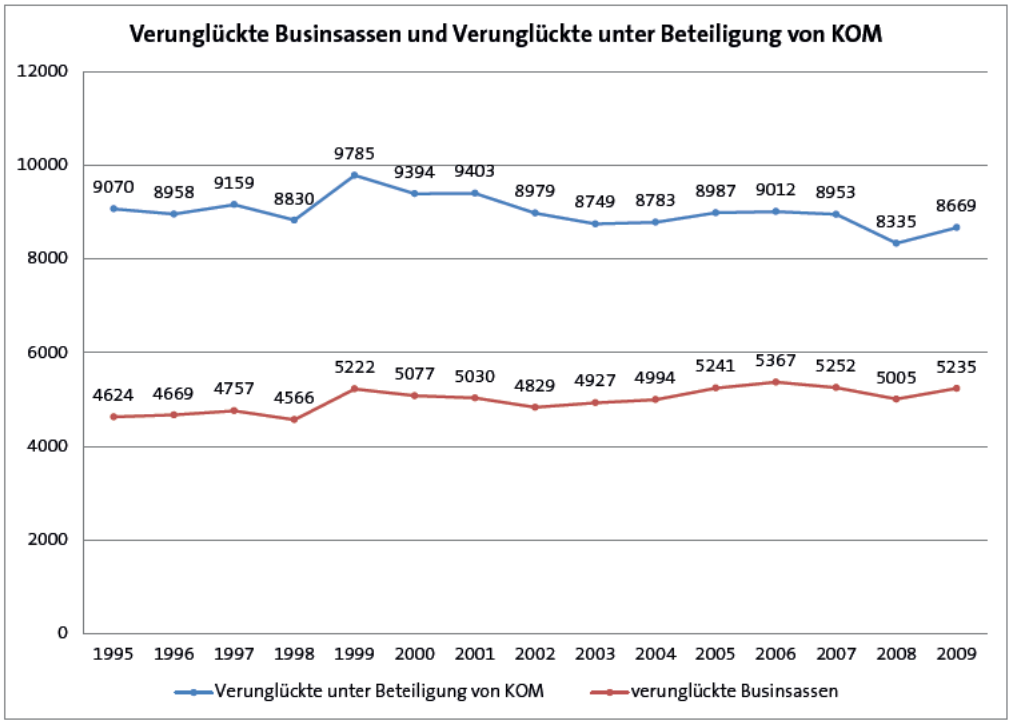


Abbildung 1-2:
Verunglücke Businsassen und Verunglückte unter Beteiligung von KOM [2]

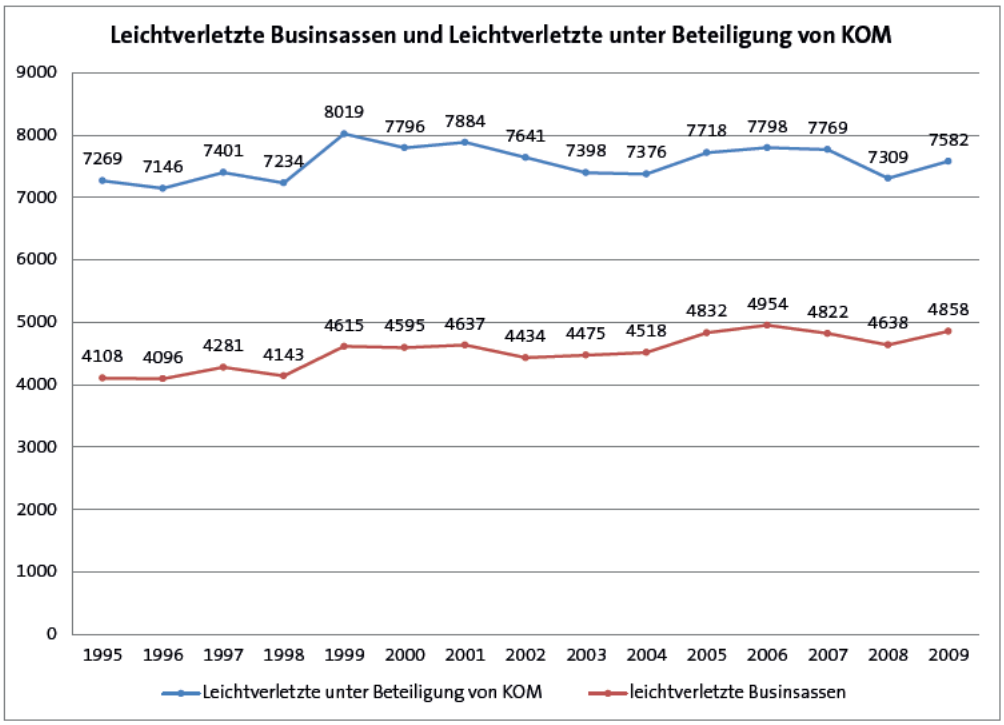


Abbildung 1-3:
Leichtverletzte Businsassen und Leichtverletzte unter Beteiligung von KOM [2]

Anders als bei den Leichtverletzten ist bei den schwerverletzten Personen unter KOM-Beteiligung über einen Zeitraum von 12 Jahren insgesamt ein Rückgang erkennbar, Abbildung 1-4. Allerdings ist 1998/ 1999 sowie 2003 und 2004 in beiden Kategorien kurzzeitig ein Anstieg zu verzeichnen. Betrachtet man den Zeitraum von 1995 bis 2007 kann der Rückgang bei den Schwerverletzten unter Kraftomnibusbeteiligung jedoch mit 35% beziffert werden. Dieser positive Trend spiegelt sich in ähnlicher Weise auch bei den schwerverletzten KOM-Insassen wieder, allerdings fällt der Rückgang mit 19% deutlich geringer aus. Auch hier war 1998/ 1999 und nochmals zwischen 2001 und 2004 ein leichter Anstieg zu verzeichnen.

Betrachtet man den Zeitraum zwischen 1995 und 2007 so zeigt sich ein deutlicher Rückgang von ca. 33,5% der Getöteten unter Busbeteiligung, Abbildung 1-5. Bei der Zahl der getöteten Businsassen ergibt sich kein klarer Trend. Mit einer Ausnahme (1998) schwanken die Zahlen zwischen 9 und etwas über 20 getöteten Businsassen pro Jahr. Im Vergleich zur Anzahl der getöteten Pkw-Insassen wird die Zahl der tödlich verunglückten Businsassen durch einen einzelnen schweren KOM-Unfall erheblich beeinflusst. So war z.B. die Anzahl der getöteten Businsassen im Jahr 2007 mehr als doppelt so hoch wie im Jahr 2006, bezogen auf das Jahr 1998 betrug die Steigerung sogar das 13fache.

Ein prozentualer Vergleich der Zahlen zwischen den unterschiedlichen Verkehrsteilnehmerarten erscheint wenig aussagekräftig. Um die Zahlen überhaupt vergleichen zu können, kann die Anzahl der Getöteten Personen z.B. auf die Personenbeförderungsleistung (Pkm)[2] bezogen werden. Dabei ergeben sich für die Kraftomnibusse nach [13] etwa 0,4 bis 0,8 Getötete pro Mrd. Personenkilometer. Dagegen errechnen sich für die Personenkraftwagen zwischen 6 und 9 Getötete pro Mrd. Personenkilometer [13].

Angesichts dieser Zahlen dürfte der Schwerpunkt bei der Analyse der Daten eher bei den Leichtverletzten zu suchen sein. Sie stellen nicht nur die weitaus größere Grup-

2 Personenkilometer (Pkm): Die Zahl der beförderten Personen multipliziert mit den von ihnen zurückgelegten Kilometern [2]

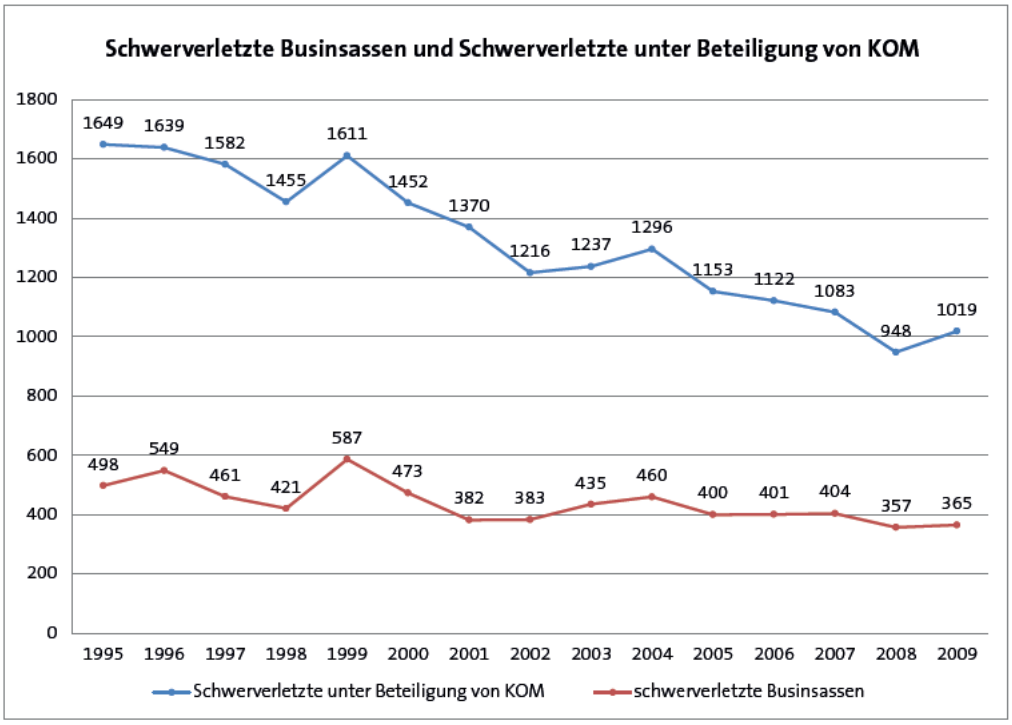


Abbildung 1-4:
Schwerverletzte Businsassen und Schwerverletzte unter Beteiligung von KOM [2]

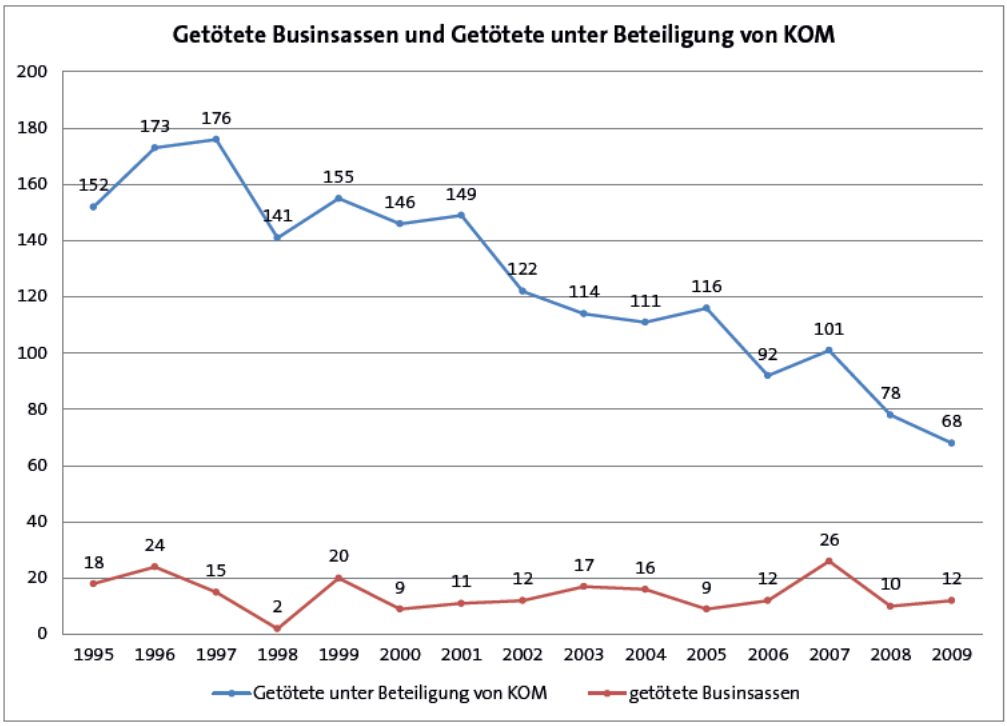


Abbildung 1-5:
Getötete Businsassen und Getötete unter Beteiligung von KOM [2]

pe, im Gegensatz zu den Zahlen der Schwerverletzten bzw. Getöteten stieg die Zahl der Leichtverletzten in den letzten Jahren auch stetig an.

Betrachtet man die Ortslage der Unfälle, so zeigt sich bei Unfällen innerhalb geschlossener Ortschaften ein überdurchschnittlich hoher Anteil an leichtverletzten Businsassen, Abbildung 1-6. Zwischen 1995 und 2007 stieg die Anzahl der innerorts Leichtverletzten um ca. 28%. Dagegen ist bei den Leichtverletzten außerhalb geschlossener Ortschaften ein stetiger Abwärtstrend erkennbar. Zwischen 1995 und 2007 wurden von der Polizei mehr als 40% weniger Leichtverletzte auf Landstraßen und Autobahnen registriert. Diese Zahlen lassen vermuten, dass eine große Zahl der Unfälle mit leichtverletzten Businsassen aus dem ÖPNV stammt.

Abbildung 1-7 gibt die Anzahl der schwerverletzten Businsassen zwischen 1995 und 2009 inner- und außerhalb geschlossener Ortschaften wieder. Bei den schwerverletzten Kraftomnibusinsassen ergibt sich kein klarer Trend. Die Zahl schwankt um etwa 250 Schwerverletzte pro Jahr. Der Tiefstand an Schwerverletzten innerhalb geschlossener Ortschaften war im Jahr 2001 zu verzeichnen. In den Jahren 2005 bis 2007 ist die Zahl der Schwerverletzten offensichtlich sogar gleich geblieben. Außerhalb geschlossener Ortschaften wurde der tiefste Stand im Jahr 2009 registriert. Wie auch bei den Leichtverletzten ist der größte Anteil innerhalb geschlossener Ortschaften vorzufinden. Besonders deutlich wird dies in den Jahren zwischen 2005 und 2009. In diesen Jahren ist zudem die Zahl der innerorts schwerverletzten Businsassen mehr als doppelt so hoch wie die der Schwerverletzten außerorts. Betrachtet man den Zeitraum von 1995 bis 2007, sank die Zahl der außerorts schwerverletzten Businsassen um ca. 45%, die Zahl der Schwerverletzten innerhalb geschlossener Ortschaften stieg um knapp 3,5% an.

Die Abbildung 1-8 zeigt die tödlich verletzten Businsassen außer- und innerhalb geschlossener Ortschaften. In dieser Abbildung wird deutlich, dass tödliche Verletzungen überproportional häufig außerorts auftreten, wogegen die überwiegende Zahl der Leicht- und Schwerverletzten innerorts zu finden ist. In den Jahren zwischen 1995 und 2007 sind etwa 2,3 mal mehr KOM-Insassen außerhalb geschlossener Ortschaften ums Leben gekommen als innerorts. Mit nur jeweils einem Getötetem inner- und außerorts waren 1998 die wenigsten tödlich verunglückten KOM-Insassen

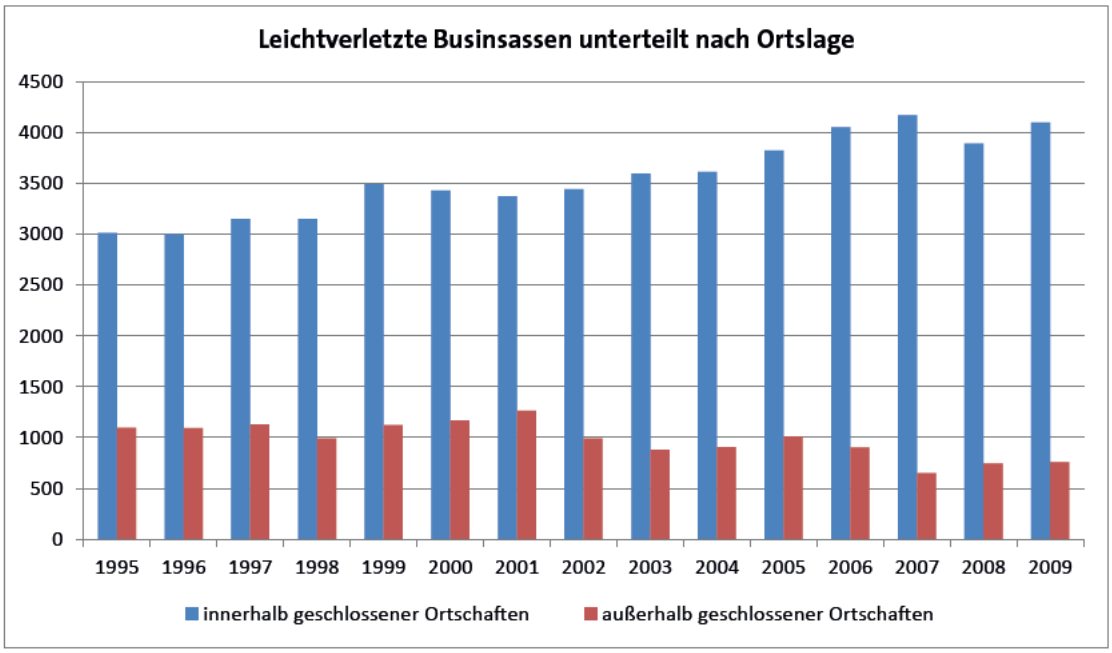


Abbildung 1-6:
Leichtverletzte Businsassen inner- und außerhalb geschlossener Ortschaften [2]

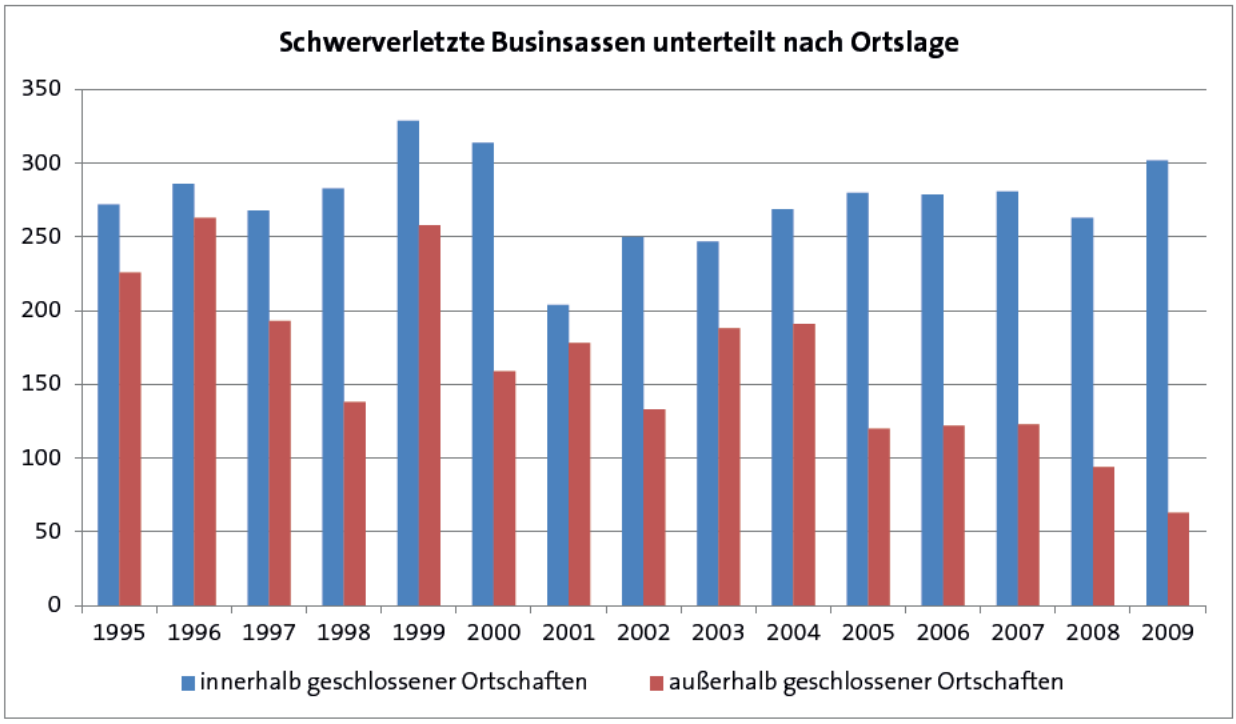


Abbildung 1-7:
Schwerverletzte Businsassen inner- und außerhalb geschlossener Ortschaften [2]

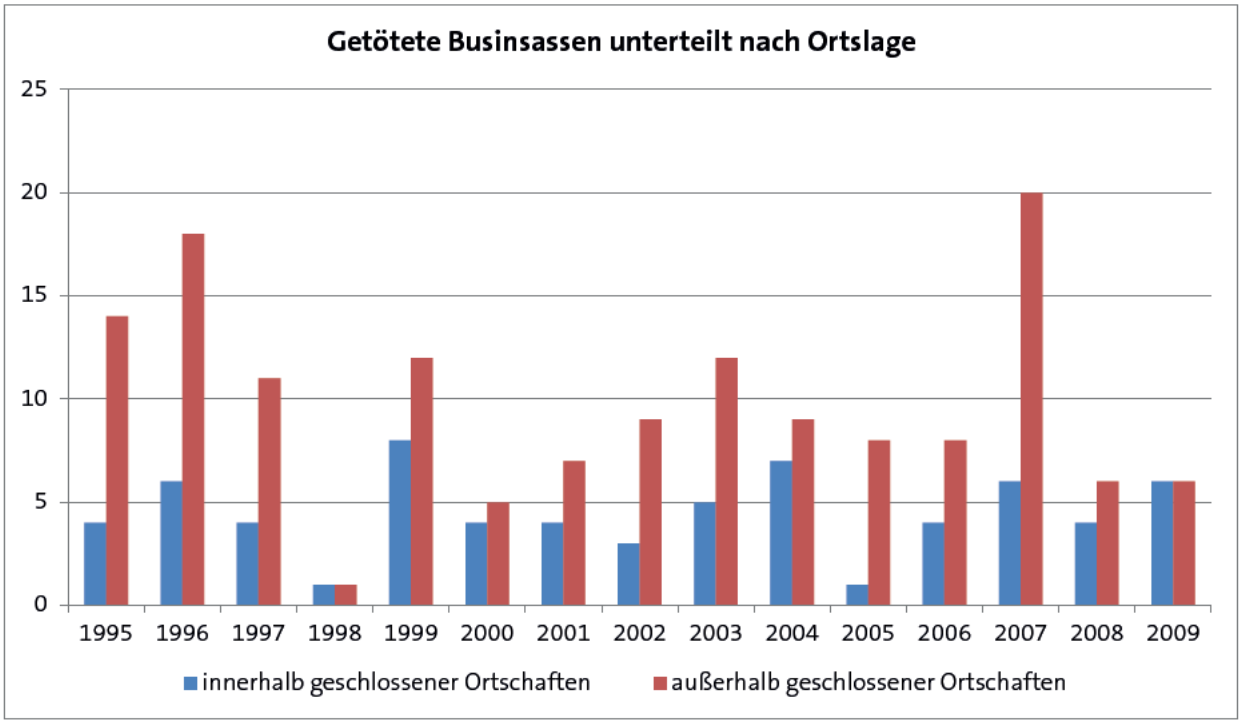


Abbildung 1-8:
Getötete Businsassen inner- und außerhalb geschlossener Ortschaften [2]

zu verzeichnen, mit 26 tödlich Verunglückten (6 inner- und 20 außerorts) zeigt sich im Jahr 2007 die größte Zahl. Eine Unterteilung der Getöteten nach Alter und den verschiedenen Kraftomnibustypen (Reise-, Linien- sowie Schulbus) wird in den folgenden Diagrammen vorgenommen.

Wie die Abbildung 1-9 erkennen lässt, zeigt sich im Zeitraum von 12 Jahren zwischen 1995 und 2007 in der Entwicklung der tödlichen Reisebusunfälle kein klarer Trend, sowohl in der Gesamtverteilung als auch in der Aufteilung der einzelnen Altersgruppen. Wie bereits erwähnt, ist die Zahl der Getöteten sehr klein. Daher beeinflusst der Einzelfall die Statistik überproportional. Sofern überhaupt eine Aussage getroffen werden kann, weist die Gruppe der 35- bis 65-jährigen (43 Getötete) den größten Anteil auf, danach folgen die über 65-jährigen (30 Getötete). Von den insgesamt 88 getöteten Reisebusinsassen sind nur vier der Gruppe der unter 18-jährigen und 11 weitere der Gruppe der 18- bis 35-jährigen zuzuordnen. Inwieweit die Gruppeneinteilung an dieser Stelle sinnvoll ist, könnte angesichts der sehr kleinen absoluten Zahlen noch diskutiert werden. Das gilt auch für die tödlich verunglückten Insassen von Linienbussen, die im folgenden Diagramm zu sehen sind, Abbildung 1-10.

Die Zahlen in Abbildung 1-10 schwanken zwischen Null und vier Getöteten, teilweise sind über Jahre in den einzelnen Altersgruppen keine Passagiere tödlich verletzt worden. Von einem bestimmten Trend kann daher nicht gesprochen werden. Allenfalls in der Gruppe der 35- bis 65-jährigen sind seit 1995 durchgängig tödlich Verunglückte zu beklagen. Die unter 18-jährigen sind z.B. in der Kategorie der tödlich verunglückten Linienbusinsassen am wenigsten vertreten. Nur zwei Kinder bzw. Jugendliche verunglückten seit 1995 in Linienbussen tödlich.

Die Zahl der getöteten Schulbusinsassen liegt deutlich unter den Werten der anderen Kraftomnibustypen, Abbildung 1-11. In den 13 Jahren zwischen 1995 und 2007 wurden insgesamt 9 Insassen tödlich verletzt. Der schwerste Unfall ereignete sich 1999 in Brandenburg. Dabei wurden 4 Schüler und der Busfahrer getötet. An dieser Stelle zeigt sich die Auswirkung des Einzelfalls auf die Statistik besonders deutlich.

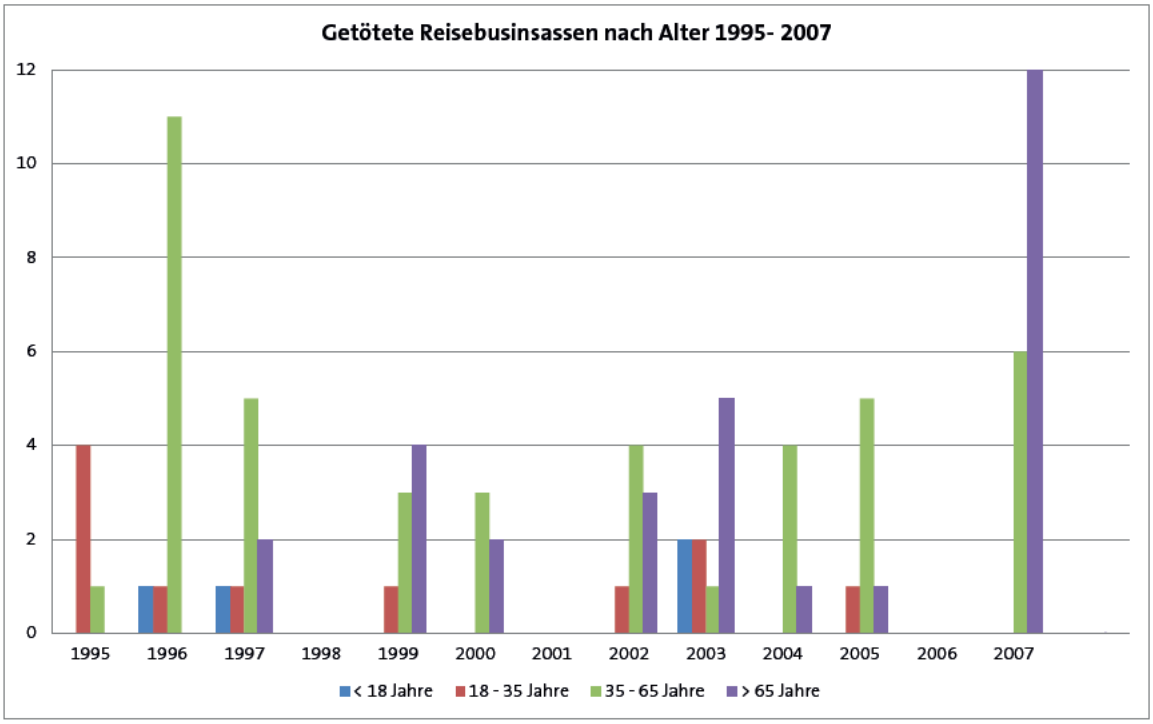


Abbildung 1-9:
Getötete Reisebusinsassen unterteilt nach Altersgruppen [2]

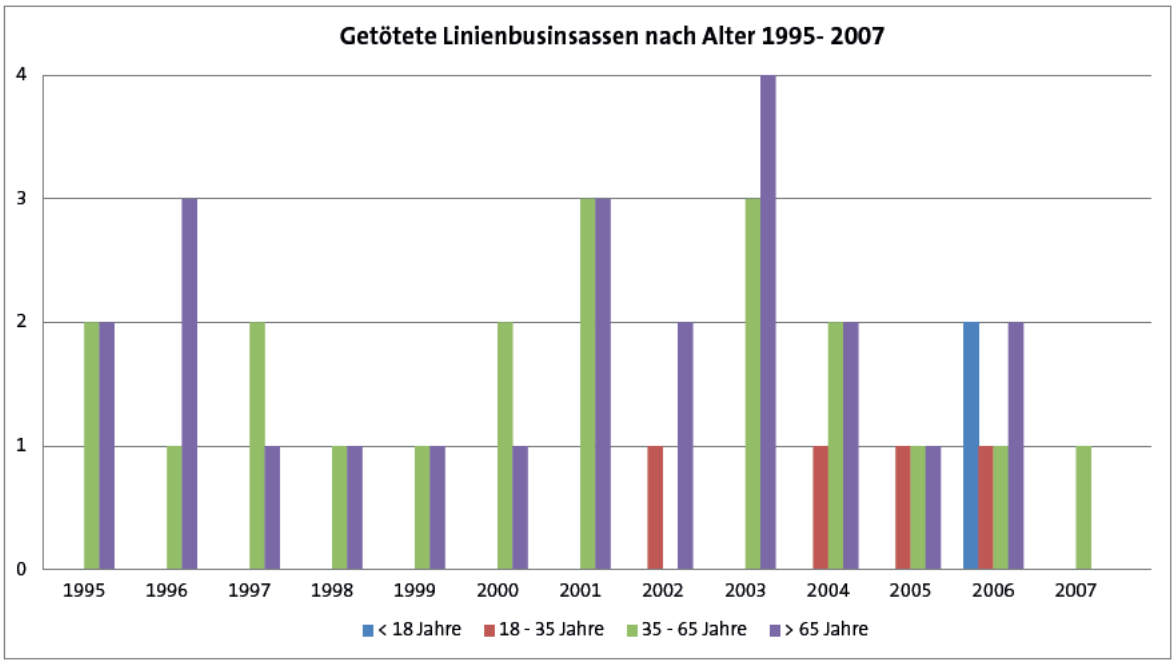


Abbildung 1-10:
Getötete Linienbusinsassen unterteilt nach Altersgruppen [2]

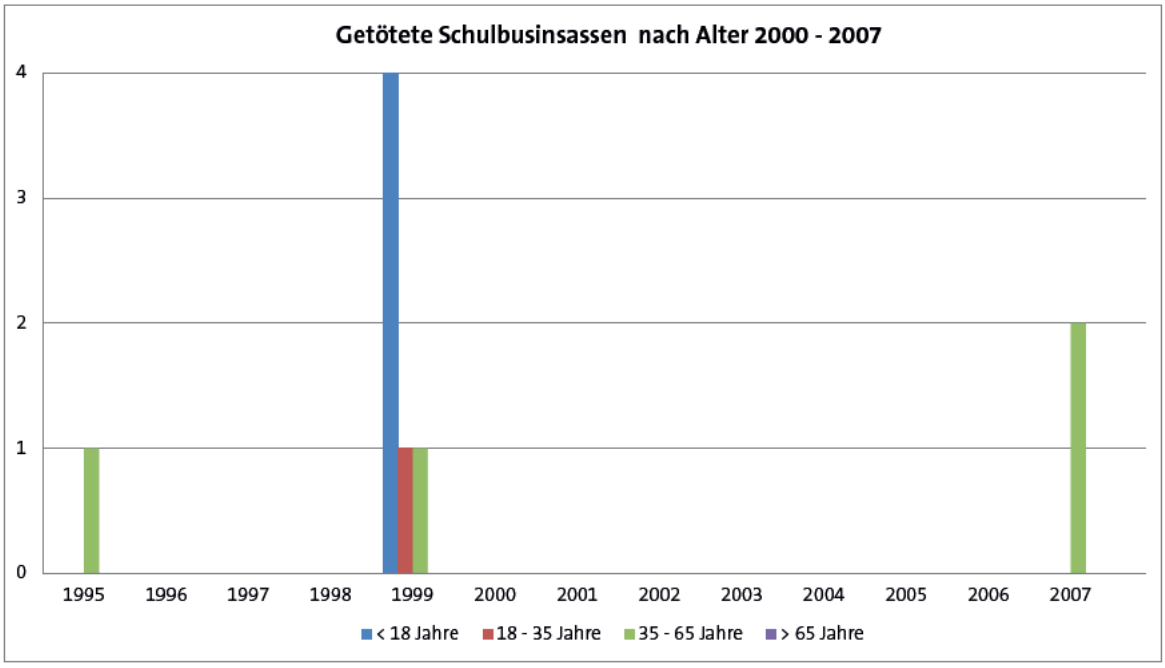


Abbildung 1-11:
Getötete Schulbusinsassen unterteilt nach Altersgruppen [2]

Alle Zahlenwerte, die den Diagrammen aus den Daten des Statistischen Bundesamtes zu Grunde liegen, sowie weitere Zahlen sind in den Tabellen im Anhang 1 dieses Berichts zusammengefasst.

2 Gesetzliche Anforderungen

In Deutschland sind die sicherheitsrelevanten Vorschriften für Kraftomnibusse durch die StVZO, EG-Richtlinien und ECE-Regelungen geregelt. Als Kraftomnibusse werden nach der europäischen Richtlinie 70/156/EG Fahrzeuge bezeichnet, die zur Beförderung von mehr als 9 Personen mit einem zulässigen Gesamtgewicht (zGG) ≤ 5 Tonnen (M2) und Fahrzeuge zur Beförderung von mehr als 9 Personen mit einem zGG > 5 Tonnen (M3) dienen. Im Folgenden werden die wichtigsten, in Deutschland gültigen Vorschriften nur kurz erläutert, detailliert sind die busspezifischen Richtlinien und Verordnungen schon im ECBOS-Projekt (2000 – 2003) herausgearbeitet und bewertet worden [3].

EU-Busrichtlinie – 2001/85/EWG bzw. ECE-R 36, 52, 66 und 107

Diese im Jahr 2003 in nationales Recht übernommene Richtlinie gilt für alle Fahrzeuge zur Beförderung von mehr als 9 Personen (inklusive Fahrer). Sie enthält neben den generellen Konstruktionsvorschriften unter anderem Vorschriften über die Festigkeit der Aufbaustruktur, Vorschriften zur Messung der Schließkräfte fremdkraftbetätigter Türen, Vorschriften für technische Einrichtungen für Personen mit eingeschränkter Mobilität und besondere Vorschriften für Fahrzeuge zur Beförderung von mehr als 22 Personen und Doppeldeckerbusse. Die eben genannten Anwendungsbereiche der 2001/85/EWG werden auch von den ECE-Regelungen 36, 52 und 107 abgedeckt. Allerdings stimmen nach [3] die Anforderungen der Regelungen nicht exakt mit der Richtlinie 2001/85/EWG überein und sind auch nicht im nationalen Recht verankert.

Gemäß StVZO ist die Richtlinie ECE-R 66 für die Genehmigung von Kraftomnibussen hinsichtlich der Festigkeit des Aufbaus gleichwertig mit Teilen der 2001/85/EWG Richtlinie. Die Bedingungen und Verfahren zur Prüfung der Festigkeit der Aufbaustruktur werden in Anhang IV der 2001/85/EWG beschrieben. Sowohl in der ECE-R 66 als auch in der Richtlinie 2001/85/EWG wird die Erhaltung eines fest vorgeschriebenen Überlebensraumes nach der Kippprüfung definiert, Abbildung 2-1 links.

Zur Durchführung der Festigkeitsprüfungen können vollständige Fahrzeuge, Aufbauteile oder der rechnerische Nachweis herangezogen werden. Eine mögliche Prüfvariante ist der Kipptest. Das Grundprinzip des Tests ist rechts in Abbildung 2-1 dargestellt. Zusätzlich zum Kippversuch sind eine Pendelschlagprüfung (2001/85/EWG) oder eine quasi-statische Belastungsprüfung (ECE-R 66) als gleichwertige Testverfahren zulässig.

Bisher war es nicht üblich, die Massen der Passagiere als zusätzliches Gewicht zur Gesamtmasse des zu prüfenden Kraftomnibusses einzubeziehen. Durch die Beladung ändert sich neben der Lage des Schwerpunktes auch die von der Fahrzeugstruktur zu absorbierende Energie. Ab 2010 müssen in Folge der 1. Revision der Regelung ECE-R 66 die zusätzlichen Massen berücksichtigt werden.

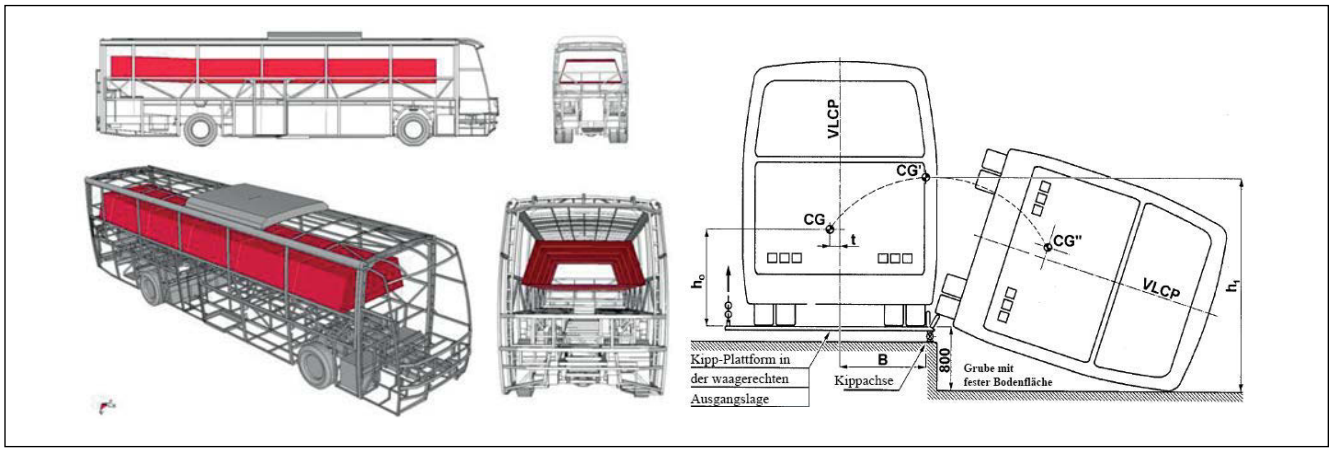


Abbildung 2-1:
Definierter Überlebensraum beim Eindeckerfahrzeug und schematische Darstellung des Kippversuches [14, 29]

77/541/EWG – 2005/40/EWG bzw. ECE-R 16/05

Nach der europäischen Richtlinie 77/541/EWG müssen alle Fahrzeuge der Klassen M und N mit Sicherheitsgurten ausgestattet sein, die den Anforderungen dieser Richtlinie entsprechen müssen. Parallel dazu können die Rückhaltesysteme auch den Regelungen der gleichwertigen ECE-R 16 entsprechen. Laut [13] trat die Ausweitung auf alle Fahrzeugklassen ab dem 20. Oktober 2006 in Kraft. Allerdings müssen in Deutschland nach Paragraph 35a der StVZO schon seit dem 1.Oktober 1999 alle erstmals in den Verkehr kommenden neuen Reisebustypen mit einem zGG > 3,5 t mit Sicherheitsgurten ausgestattet sein, wodurch gleichzeitig auch die Anlegepflicht in Kraft trat. Ab 1.Oktober 2001 galt diese Regelung ebenfalls für alle erstmals in den Verkehr kommenden KOM mit einem zGG ≤ 3,5 t. Ausnahmen bestehen sowohl für Busse des Nahverkehrs als auch für Busse, die für den Transport von stehenden Insassen zugelassen sind. Für alle anderen Kraftomnibusse sind 3-Punkt-Gurte vorgeschrieben. Sofern vorgebaute Sitze oder Fahrzeugteile vorhanden sind, die einen entsprechenden Rückhalteschutz bieten, können auch Beckengurte zum Einsatz kommen. Diese Sitze müssen dann allerdings den Prüfbedingungen der 74/408/EWG bzw. ECE-R 80 standhalten. Zu bemerken ist, dass es keine Nachrüstungspflicht für Fahrzeuge gibt, die vor 1999 zugelassenen wurden.

91/671/EWG – 2003/20/EWG

Parallel zur Änderung der Fahrzeugklassen im Hinblick auf die Ausrüstungspflicht mit Sicherheitsgurten wurde die Richtlinie 91/671/EWG, die das Anlegen von Gurten in Fahrzeugen unter 3,5 t vorschreibt, durch die Richtlinie 2003/20/EWG geändert. Demnach ist seit 2003 das Anlegen von Sicherheitsgurten, sofern diese vorhanden sind, in allen Fahrzeugen der Klassen M und N europaweit vorgeschrieben. Ferner wurden in der Änderung der Richtlinie 91/671/EWG durch die Richtlinie 2003/20/EWG die für Kinder vorgeschriebenen Rückhalteeinrichtungen in fünf Gewichtsklassen eingeteilt.

76/115/EWG – 2005/41/EWG bzw. ECE-R 14

Verankerungen der Rückhaltesysteme von Fahrzeugen der Klassen M und N müssen der Richtlinie 76/115/EWG entsprechen. Ausgeschlossen werden Fahrzeuge, die zum Transport stehender Passagiere zugelassen sind. Da die ECE-R14 ebenfalls in nationales Recht übernommen wurde, kann die Auslegung der Sicherheitsgurtverankerung auch nach den Vorschriften dieser Regelung durchgeführt werden. Die Mindestzahl der Verankerungspunkte ist sowohl vom Fahrzeugtyp als auch von der Ausrichtung des Sitzes abhängig. Neben den Bereichen für die effektive Lage der Verankerung werden auch die Mindestabmessungen der Gewindelöcher vorgeschrieben. Die Prüfung der Sicherheitsgurtverankerung muss an einem fertiggestellten Fahrzeug oder an einem Fahrzeugaufbauteil durchgeführt werden.

74/408/EWG – 2005/39/EWG bzw. ECE-R 80

Die Richtlinie Prüfung der Widerstandsfähigkeit der Sitze und ihrer Verankerungen trat 1974 in Kraft und gilt für Fahrzeuge der Klassen M und N. Dabei können Sitze in Fahrzeugen der Klasse M2 sowohl den Prüfbedingungen der Klassen M1 als auch denen der Klasse M3 unterzogen werden. Die Richtlinie gilt nicht für Fahrzeuge, die für den Einsatz im Nahverkehr und für stehende Passagiere ausgelegt sind. Die Regelung ECE-R 80 betrifft ebenfalls die Widerstandsfähigkeit der Sitze und deren Verankerungen von Kraftomnibussen der Klasse M2 und M3. Dabei sind die Tests der Sitze entweder dynamisch auf einem Prüfwagen oder statisch durchzuführen. Allerdings ist die ECE-R 80 nicht in nationalem Recht verankert.

661/2009/EG

Die Richtlinie 661/2009/EG umfasst die Verordnung über die Typengenehmigung von Kraftfahrzeugen, Kraftfahrzeuganhängern und von Systemen, Bauteilen und selbständigen technischen Einheiten für die Fahrzeuge der Klassen M, N und O hinsichtlich ihrer allgemeinen Sicherheit. Nach dieser Richtlinie müssen unter anderem auch Kraftomnibusse der Klasse M2 und M3 mit Fahrdynamik-Regel- (ESP), Fahrerassistenz- (Notbrems-, Spurhalteassistent) und Reifendruckkontrollsystemen sowie mit Gangwechselanzeigen ausgestattet sein. Für die genannten technischen Systeme gelten unterschiedliche Einführungstermine.

3 Literaturrecherche

Der folgende Abschnitt enthält die Zusammenfassung der Ergebnisse nationaler und internationaler Studien zur Bussicherheit der vergangenen Jahre. Die analysierten Studien werden in diesem Abschnitt der Arbeit nach Thema und innerhalb der Themengruppe nach ihrem Erscheinungsjahr sortiert. Die Quellenangaben befinden sich am Ende dieses Berichts. Darüber hinaus wurde auch ältere Literatur gesichtet („Untersuchung zur inneren Sicherheit von Kraftomnibussen", „Rückhaltesysteme in Reisebussen" usw.), die unter anderem auch schon im ECBOS-Projekt ausgewertet wurden. Im Folgenden wird daher der Schwerpunkt bei der Literaturauswertung auf Veröffentlichungen nach dem Jahr 1999 gelegt.

3.1 Untersuchungen zur Aufbaufestigkeit von Kraftomnibusstrukturen und Ergebnisse aus Unfallversuchen

Enhanced Coach and Bus Occupant Safety (ECBOS) 2003 [3]

Das dreijährige ECBOS-Projekt begann im Januar 2000 unter der Leitung der Technischen Universität in Graz. Weiterhin wirkten an dieser Studie das Cranfield Impact Centre (GB), der Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (D), die Loughborough University (GB), die Politecnico di Torino (I), TNO Automotive (NL) und die Universidad Politecnica de Madrid (E) mit.

Das Ziel war die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen dem realen Unfallgeschehen und den gegenwärtigen gesetzlich geregelten Testvorschriften von Kraftomnibussen. Die Studie wurde in mehrere Arbeitspakete aufgeteilt. Diese Arbeitspakete beinhalteten:

- Statistische Auswertung des Unfallgeschehens der Teilnahmeländer
- Auswahl von 100 schweren Busunfällen für die In-Depth Analyse
- Einarbeitung der Unfalldaten in eine Datenbank
- Rekonstruktion der Busunfälle mit PC-Crash und SINRAT
- Komponententest
- Crashversuche
- Numerische Generierung von Busmodellstrukturen
- Numerische Simulation von Businsassen zur Bewegungsanalyse
- Analyse der Verletzungsursachen der Businsassen
- Numerische Untersuchung des Einflusses verschiedener Parameter, wie z.B. Fahrzeugstruktur, Intrusionen, Polsterungen, Sitzcharakteristik, Fensterdesign und Größe sowie Sitzposition der Insassen
- Entwicklung und Validierung neuer numerischer und experimenteller Testmethoden
- Ausweitung der Testmethode ECE-R 66
- Generierung von Testmethoden für stehende und sich bewegende Insassen in Linienbussen
- Kosten-Nutzen-Analyse der vorgeschlagenen Testmethoden
- Untersuchung des Einflusses der Insassengröße auf die Testmethoden
- Vorschläge für neue und bestehende Testvorschriften.

Während der Studie zeigte sich, dass bei Rolloverunfällen ein Teil der Verletzungen durch den Aufprall auf die Seitenwand bzw. Seitenverkleidung oder gegen die Gepäckablage entstehen. Weiterhin wurde deutlich, dass auch die Wechselwirkungen der Insassen untereinander zu Verletzungen führen können. Aus diesem Grund wurde die Verwendung von 2-Punkt-Gurten bzw. 3-Punkt-Gurten empfohlen, die die Insassen auf ihrem Platz halten. Hinsichtlich eines Rollover konnte jedoch nicht geklärt werden, welches Gurtsystem die bessere Variante ist. Eine weitere Empfehlung betraf die Berücksichtigung der Massen der Insassen, da diese die von der Busstruktur zu absorbierende Energie während eines Überschlags deutlich erhöhen. Deshalb sollten die Massen der Insassen, die mit Beckengurten gesichert werden mit 70% zur Fahrzeugmasse hinzugerechnet werden. Das Gewicht der mit 3-Punkt-Gurten fixierten Insassen sollte mit 90% zur Fahrzeugmasse addiert werden. Die erhöhten Massen sollten dann auch in den Testmethoden der ECE-R 66 und 2001/85/EC berücksichtigt werden. Zusätzlich dazu sollten auch M2-Fahrzeuge sowie Doppeldeckerbusse in die gesetzlichen Regelungen aufgenommen werden. Als weitere Veränderung der Strukturfestigkeitstestmethoden wurde vorgeschlagen, die Pendelschlagprüfung aufgrund der unrealistischen Testbedingungen aus der ECE-R 66 und der 2001/85/EC zu entfernen.

Vorschläge für Frontal- und Heckkollisionen betrafen unter anderem die Veränderung der Testplattform, eine zweite Sitzreihe mit ungegurtetem und gegurtetem Dummy, die Anpassung bestehender Regulierung auf M2-Fahrzeuge sowie die Gurtausstattung, auch im Hinblick auf Kindersicherheit. Zum Abschluss des ECBOS-Projektes wurden Anregungen für neue Verordnungen gegeben. Unter anderem wurden folgende Vorschläge erarbeitet:

- Entwurf von Richtlinien zur Verwendung numerischer Testmethoden
- Harmonisierung der Unfalldatenerfassung innerhalb Europas
- Kompatibilität zwischen Kraftomnibussen und anderen Fahrzeugen
- Analyse der Aufbaufestigkeit aktueller Doppeldeckerbusse, da diese nicht nach den Regelungen getestet werden müssen
- Vermeidung des Herausschleuderns der Insassen
- Verringerung der Verletzungsgefahr durch den Kontakt des Insassen mit der Seitenstruktur
- Entwicklung eines Dummy speziell für Rolloverversuche
- Fahrertraining
- Einführung eines Bewertungssystems für Busse nach dem (Euro) NCAP-System
- Verbesserung der Arbeitssicherheit, speziell für den Fahrer.

Influence of Passengers During Coach Rollover (2003) [4]

Diese Untersuchung ist ein Teilabschnitt des ECBOS-Projektes und wurde 2003 auf der ESV Konferenz in Nagano vorgestellt. Die Wissenschaftler des Cranfiled Impact Centre untersuchten den Einfluss der Passagiere auf das Verformungsverhalten der Busstruktur während eines Überschlags. Zu Beginn der Analyse wurden zwei Kippversuche mit einem Aufbauteil eines Kraftomnibusses durchgeführt. Im ersten Versuch war das Aufbauteil unbeladen, im zweiten Versuch wurden vier Dummies verwendet, die mit Beckengurten am Sitz fixiert waren, Abbildung 3-1. Anschließend wurde mit LS-Dyna ein Finite-Elemente-Model erstellt und validiert.

Mit diesem validierten Model wurden daraufhin vier Simulationen mit unterschiedlichen Konfigurationen durchgeführt:

- unbeladener Zustand
- 4 Dummies mit Beckengurten
- 4 Dummies mit 3-Punkt-Gurten
- 4 ungegurtete Dummies.

Abbildung 3-2 zeigt die Ergebnisse sowohl der Realversuche als auch die der Simulationen. Im Ergebnis dieses Teilprojektes wurde gefordert, die Massen anteilig mit 18% bei nicht gegurteten, mit 71% bei Insassen mit Be-

Abbildung 3-1:
Kippversuche des Aufbauteils mit und ohne Dummies [4]

ckengurt und mit 93% bei Insassen mit 3-Punkt-Gurten bei den Tests zu berücksichtigen.

Multibody Analysis of M3 Bus Rollover: Structural Behavior and Passenger Injury Risk (2003) [5]

Die ebenfalls 2003 bei der ESV Konferenz in Nagano vorgestellte Arbeit des Dipartimento di Meccanico der Politecnico di Torino war, genau wie die Studie „Influence of Passengers During Coach Rollover", ein Teilprojekt der ECBOS- Studie. Untersucht wurden die Effekte auf die Kraftomnibusaufbaustruktur während eines Rollover. Als Vorlage für das numerische Multibody-Finite-Elemente-Modell diente ebenfalls das Aufbauteil eines Kraftomnibusses des Cranfield Impact Centre. Die numerischen Simulationen wurden auf Grundlage der Vorgaben der ECE-R 66 erstellt. Mit diesem Modell wurden Parameterstudien durchgeführt, die die Variation der Strukturseifigkeit des Fahrzeugaufbaus, der Insassengröße und der verschiedenen Rückhaltesysteme beinhalteten.

Auch hier kommen die Autoren zu dem Schluss, dass ein unbeladenes Fahrzeug, welches den Anforderungen der ECE-R 66 gerecht wird, den gleichen Test im beladenen Zustand nicht bestehen würde. Zusammenfassend betonen die Autoren erneut, dass die Massen der Passagiere während des Überschlages zu berücksichtigen sind und dass das Anlegen eines Sicherheitsgurtes vorgeschrieben werden sollte.

Coach Passenger injury risk during rollover: Influence of the seat and the restraint system (2005) [6]

Anknüpfend an die Ergebnisse der ECBOS-Studie wurde durch Wissenschaftler der Politecnico di Torino, die, wie bereits erwähnt, ebenfalls am ECBOS-Projekt beteiligt waren, weiterführend untersucht, wie sich die Erhöhung der Aufbaustruktursteifigkeit, die dem Freigabetest (ECE-R 66) entsprechen würde, unter Beachtung der Insassenmassen, auf das Verletzungsrisiko der Insassen auswirkt. Aufgrund des erheblichen Einflusses des Sitzes auf die Bewegung der Insassen wurde ein detailliertes Multibody-Finite-Elemente-Modell eines handelsüblichen Doppelsitzes entwickelt. Die Originaldaten des verwendeten Sitzes wurden vom Hersteller zur Verfügung gestellt. Mit den numerischen Simulationen wurden zwei Testkonfi-

OCCUPANT CONFIGURATION	TEST RESULTS		SIMULATION RESULTS						
	Roof max. (mm)	Roof perm. (mm)	Roof max. (mm)	Roof perm. (mm)	Impact KE (kJ)	IE max. (kJ)	IE perm. (kJ)	E* Factor [1]	Occ Mass Factor [2]
None	414	340	415	340	21.1	16.0	11.8	76%	---
4 (Lap-belted)	467	380	467	380	25.9	18.8	13.5	73%	**71%**
4 (3-point belted)	---	---	483	395	26.1	19.1	13.7	73%	**93%**
4 (Unrestrained)	---	---	428	276	25.8	17.1	10.4	66%	**18%**

Table notes:-

1. E* factor = IE max. / Impact KE
2. The occupant mass factor is a measure of the effective mass of the occupants that is coupled to the coach during rollover. This is based on the displacement of the structure and uses the following boundary criteria:-
   - 0% is equivalent to bay section with no dummies (ie. 415mm max. displacement)
   - 100% is equivalent to bay section with four dummies rigidly attached in seats (488mm max. displacement, obtained from additional simulation model not reported)

Abbildung 3-2:
Ergebnisse der Aufbauteiltests und der Simulationen [4]

gurationen (Beckengurt, 3-Punkt-Gurt) untersucht und die wichtigsten Verletzungsparameter und Verletzungskriterien ermittelt. Es wurden Vergleiche zwischen dem detaillierten und einem einfacheren Sitzmodell durchgeführt. Anschließend wurden die Auswirkungen auf den Überlebensraum, entsprechend der ECE-R 66, durch die erhöhten Massen analysiert. Die Simulationen zeigten, dass sich die zusätzlichen Massen deutlich auf die Verformung der Fahrzeugstruktur und somit auch auf den definierten Überlebensraum auswirkten, Abbildung 3-3.

In einem dritten Schritt wurde daher der Einfluss auf die Verletzungskriterien durch eine erhöhte Steifigkeit der Fahrzeugstruktur untersucht. Für jede Simulation wurden die Verletzungskriterien ermittelt. Die Ergebnisse zeigt die Abbildung 3-4.

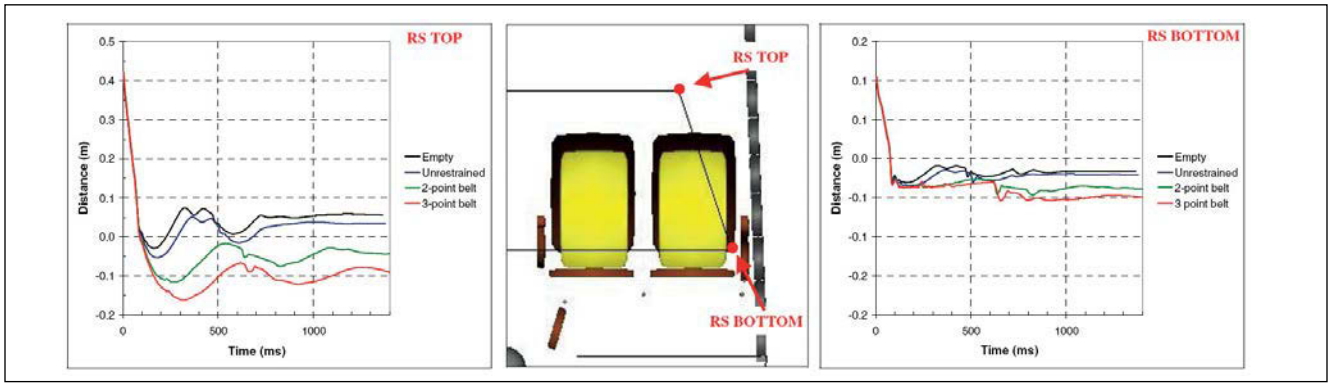


Abbildung 3-3:
Veränderung des Abstand zweier Referenzpunkte des Überlebensraums (RS TOP, RS BOTTOM) zur Fahrzeugstruktur über der Zeit während des Kippversuches [6]

Body loads and injury parameters for a two-point belted passenger

	Reference strength	Increased strength
Head acceleration (m/s^2) (CFC1000)	1841	**2873**
HIC (CFC1000)	1701	**2886**
Force lower neck (N)	4187	**7074**
Moment lower neck (Nm)	142	**175**
Upper rib acceleration (m/s^2) (CFC180)	650	**795**
Middle rib acceleration (m/s^2) (CFC180)	658	**777**
Lower rib acceleration (m/s^2) (CFC180)	676	**773**
TTI (FIR100)	44	43
Force lower lumbar (N)	7285	**8337**
Moment lower lumbar (Nm)	254	276
Force pubic symphysis (N)	7285	**8337**

Body loads and injury parameters for a three-point belted passenger

	Reference strength	Increased strength
Head acceleration (m/s^2) (CFC1000)	339	342
HIC (CFC1000)	78	91
Force lower neck (N)	1776	1745
Moment lower neck (Nm)	113	118
Upper rib acceleration (m/s^2) (CFC180)	417	375
Middle rib acceleration (m/s^2) (CFC180)	315	319
Lower rib acceleration (m/s^2) (CFC180)	294	295
TTI (FIR100)	31	32
Force lower lumbar (N)	4089	3750
Moment lower lumbar (Nm)	216	193
Force pubic symphysis (N)	4089	3750

Abbildung 3-4:
Ergebnisse der Körperbelastungen aus den Simulationen mit und ohne erhöhter Struktursteifigkeit des Fahrzeugaufbaus [6]

Die Autoren dieser Studie heben die Notwendigkeit hervor, dass das Sicherheitsniveau von Kraftomnibussen an das von Pkw angepasst werden muss. Dabei soll nicht nur die Erhaltung des Überlebensraumes bewertet werden. Für eine Fahrzeugfreigabe sollte auch das Einhalten der Insassenbelastungen vorgeschrieben werden.

Real and Simulated Crashworthiness Tests on Buses (2005) [7]

Dieses Paper einer ungarischen Studie wurde 2005 auf der 19. ESV Konferenz vorgestellt und diskutiert den Einfluss der Designaspekte von Kraftomnibussen auf die Crashfestigkeit bei Frontalkollisionen. Dabei wurden die Ergebnisse von Full-Impact-Versuchen mit 3,6 km/h, 6,98 km/h und 29,76 km/h mit den Ergebnissen der FEM-Modelle eines Ikarus 411 verglichen. Für die Geschwindigkeit von 29,76 km/h ergaben sich im Test etwas höhere Verzögerungswerte als in der ECE-R 80 vorgeschrieben. Die gemessenen Werte entsprechen eher den Bestimmungen, wie sie in der ECE-R 14 für den Test der Verankerung der Sicherheitsgurte vorgeschrieben sind. Die berechneten Kräfte des FEM-Modells des Ikarus 411 entsprachen den Ergebnissen des realen Crashversuchs, Abbildung 3-5. Daraus wurde in der Studie geschlossen, dass das FEM-Modell im Designprozess ein effektives Tool zur Analyse des Crashverhaltens darstellt.

Crash Tests with Coaches (2005) [8]

Das Institut für Fahrzeugtechnik der Fachhochschule Trier wollte im Jahr 2005 durch einen Frontal- und einen Überschlagversuch die Effektivität von Rückhaltesystemen in Kraftomnibussen demonstrieren. Dazu wurden zwei KOM der Marke Mercedes Benz (O303) mit Becken- und 3-Punkt-Gurten sowie Hybrid II und III Dummies ausgestattet. Allerdings wurden die Dummies für den Überschlagversuch auf der Aufschlaggegenseite positioniert, um sie vor Intrusionen zu schützen. Während des Überschlags und danach hielten die Sicherheitsgurte, die Sitze sowie ihre Verankerungen den Belastungen stand. Für die Dummies mit einem 3-Punkt-Gurt bestand die Gefahr, aus dem Sicherheitsgurt herauszurutschen, sofern dieser über die rechte Schulter gelegt war und das Fahrzeug auf die linke Seite kippt. Für Kinder, die mit einem Beckengurt gesichert sind, ist die Gefahr des Herausschleuderns ebenfalls vorhanden. Bei allen Dummies blieben die Belastungswerte aber weit unterhalb der maximal zulässigen Werte.

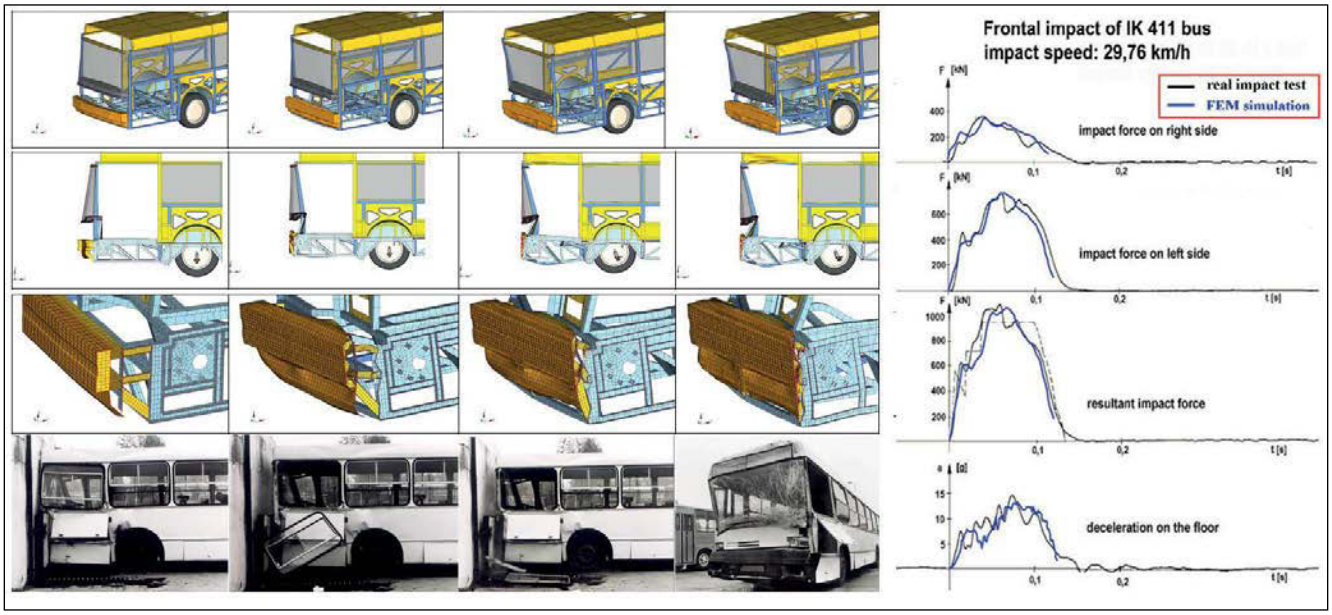


Abbildung 3-5:
Vergleich der Ergebnisse Simulation und Crashversuch bei 29,76 km/h [7]

Für den Frontalcrash wurde eine Geschwindigkeit von 33 km/h gewählt. Dies entspricht der ECE-R 80 zur Überprüfung der Sitzstruktur bei Frontalkollisionen. Bei einer Frontalkollision werden die ungesicherten Dummies durch den vorderen Sitz zurückgehalten. Die Belastungen lagen dabei ebenfalls weit unterhalb der gesetzlichen Limits. Für Insassen mit Beckengurten besteht durch den Klappmessereffekt die Gefahr, dass es zu einem signifikanten Kontakt des Kopfes mit dem vorderen Sitz kommt. Für 3-Punkt-Gurt gesicherte Dummies ergeben sich zwar die besten Ergebnisse, wie die Versuche gezeigt haben, liegen bei einem Frontalcrash aber auch die Belastungen von ungesicherten Dummies unterhalb der Belastungsgrenzen.

Preventing passenger ejection from buses, coaches and minibuses (2006) [9]

Das Ziel des zweijährigen Projektes des Cranfield Impact Centers war die Untersuchung der Häufigkeit und der Ursachen von Kraftomnibusüberschlägen sowie die Frage, welches Ausmaß an Verletzungen dem Herausschleudern der Insassen während eines Überschlages zugerechnet werden muss. Da die ECE-R 66 nur das Thema der Crashfestigkeit anspricht, bleiben Fragen und Probleme bezüglich eines möglichen Herausschleuderns der Insassen durch die Seitenscheiben und das anschließende Überfahren durch das Fahrzeug weiterhin offen. Für die Untersuchung wurden bereits die für andere Studien, geleitet vom Department of Transport (UK), entwickelten Finite-Elemente-Modelle von Bussen und Minibussen mit Sitzen, Sicherheitsgurten, Innenraumoberflächen sowie Einscheibensicherheitsglas und Verbundglasscheiben erweitert. Die Testbedingungen wurden auf Grundlage der Vorgaben der ECE-R 66 mit einer zusätzlichen Längsgeschwindigkeitskomponente durchgeführt, um so ein Rutschen des Fahrzeuges auf der Fahrbahn zu simulieren. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass Verbundglasscheiben zwar von Vorteil sind, die Verwendung eines 3-Punkt-Gurtes, der am Besten vor dem Herausschleudern schützt, aber außerordentlich wichtig ist. Den Vorschlag zur verpflichtenden Ausrüstung von Verbundglasscheiben geben die Autoren allerdings nicht. Vielmehr geben auch diese Autoren wiederholt den Hinweis, dass die ECE-R 66 hinsichtlich der Berücksichtigung der höheren zu absorbierenden Energie durch die gegurteten Insassen erweitert werden sollte.

The Severity of Bus Rollover Accidents (2007) [10]

In dieser ungarischen Studie wurden auf Grundlage 338 gesammelter Kraftomnibusüberschläge aus europaweiten Medienberichten statistische Auswertungen durchgeführt und eine Kategorisierung unterschiedlicher Überschlagunfälle vorgestellt:

- Kippen um 45° - Der KOM kippt dabei auf die Seite und rutscht noch eine gewisse Strecke. Der Höhenunterschied beträgt 0 m,
- Kippen in einen Graben – der KOM kippt in einem Winkel von 45° bis 90°. Die Tiefe des Grabens beträgt nicht mehr als 1,5 m. Die Drehung des Busses kann unterbrochen werden,
- Überschlag von der Straße – Der KOM kippt um mehr als 90° aber nicht mehr als 720°. Der Höhenunterschied zwischen der Straße und der Stelle, an der der KOM zum Liegen kommt, beträgt nicht mehr als 10 m,
- Schwerer Überschlag – Der KOM dreht sich um mehr als 720°. Die Höhendifferenz beträgt mehr als 10 m,
- Kombinierter Rollover – Nach dem Überschlag bricht ein Feuer aus, der Überschlag folgte einer schweren Kollision oder der KOM fällt in einen See oder Fluss.

Eine weitere Differenzierung führt der Autor hinsichtlich der Aufbaustrukturfestigkeit von Kraftomnibussen durch. Auf der einen Seite betrachtet er die allgemeine Steifigkeit des Aufbaus. Dabei differenziert er zwischen Strukturen, die der Standardvorschrift (ECE-R 66) standhalten und Strukturen, die während des Überschlags versagen, Abbildung 3-6 links. Zum anderen betrachtet der Autor die Stabilität der seitlichen Dachkante, die nach seiner Auffassung die weitere Bewegung des Kraftomnibusses während seiner Drehung beeinflusst, rechte Seite Abbildung 3-6.

Durch eine Testserie der ungarischen Forscher unter Verwendung mehrerer Kraftomnibusse gleichen Bautyps, konnten Vergleiche zwischen unveränderten und

verstärkten Aufbaustrukturen durchgeführt werden. Durch die variierenden Testkonfigurationen konnte festgestellt werden, dass eine verstärkte Busstruktur, die in einem Test ausreichend war und den Test bestand, unter anderen Testbedingungen durchaus versagen kann, Abbildung 3-7. Wie auf der rechten Seite der Abbildung 3-7 erkennbar wird, versagte im Kippversuch der hintere Teil der verstärkten Aufbaustruktur, wohingegen sie beim Überschlagversuch stand hielt, linke Seite Abbildung 3-7.

Nach den Vergleichen und der zusätzlichen Analyse zweier Realunfälle kommt der Autor zu dem Schluss,

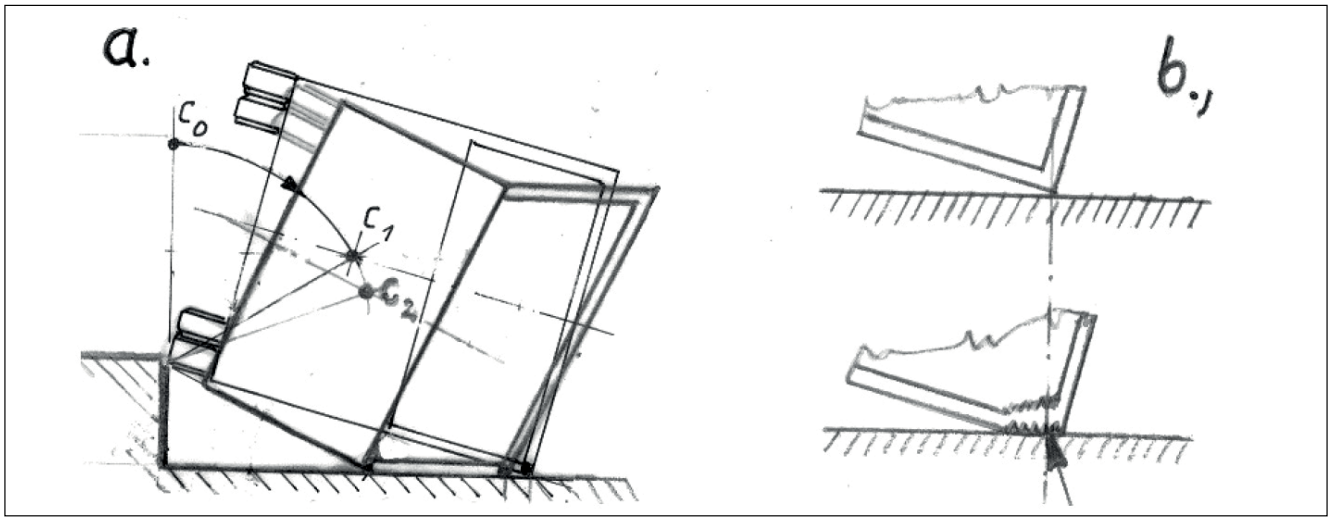


Abbildung 3-6:
Versagen der gesamten Fahrzeugstruktur und des seitlichen Dachrahmens [10]

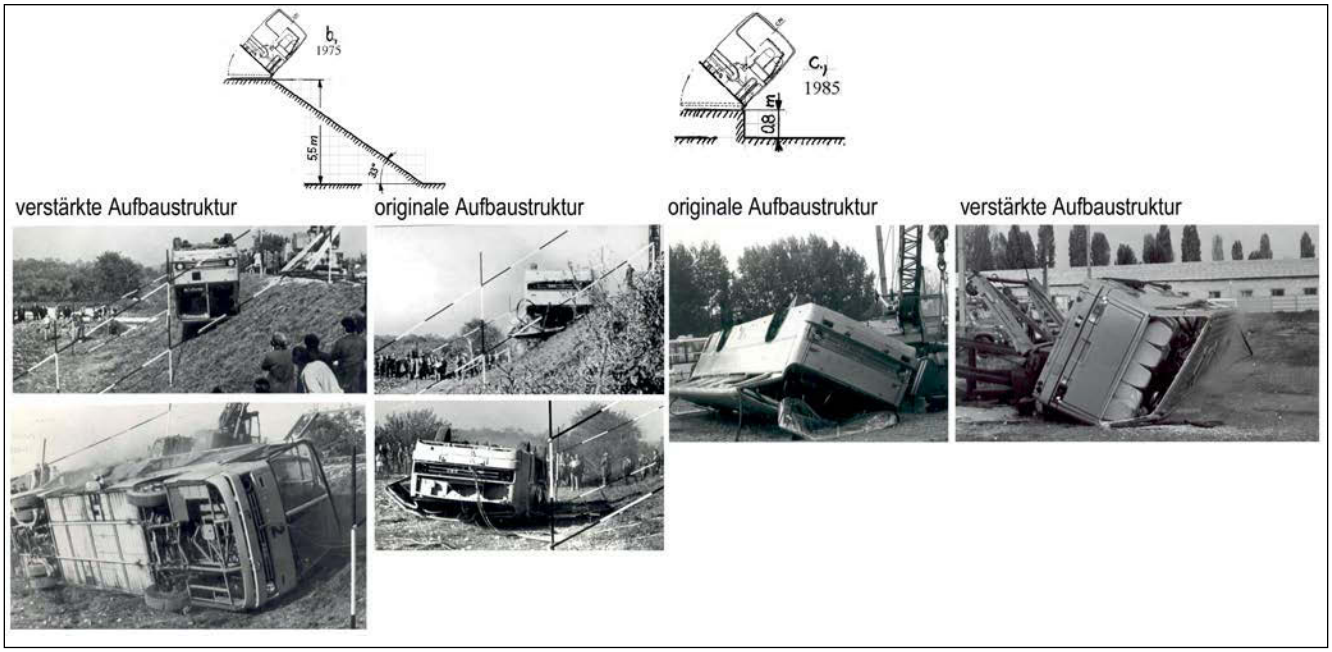


Abbildung 3-7:
Vergleich der Verformung der Aufbaustrukturen (verstärkt, nicht verstärkt) zweier unterschiedlicher Kipp- und Überschlagversuche [10]

dass jeder Überschlag stark durch die äußeren Umstände beeinflusst wird. Die Beurteilung der Unfallschwere sollte nicht anhand der Verletzten, sondern vielmehr am Überschlag selber durchgeführt werden. Der Autor gibt abschließend an, dass Intrusionen, die durch große Strukturverformungen entstehen, die Insassen am meisten gefährden.

Seats and their Anchorages Strength in Coaches under Rollover (2008) [11]

Während für Frontalkollisionen verbindliche Vorschriften für Sitze und deren Sicherheitsgurte gelten (ECE-R 14 und ECE-R 80), gibt es keine Regelungen, die Sitze und Sicherheitsgurte sowie deren Befestigung während eines Überschlags betreffen. Allerdings muss auch bei einem Überschlag sichergestellt sein, dass die Sitze fest mit dem Fahrzeug verbunden bleiben und die Verankerungen der Sicherheitsgurte nicht versagen. Zur Überprüfung der korrekten Rückhaltewirkung wurden vom „University Institute for Automobile Research" der Technischen Universität in Madrid, die ebenfalls am ECBOS-Projekte beteiligt war, ein entsprechender Test sowie die dazugehörigen Testgeräte entwickelt. Zu Beginn der Studie wurden Highspeedfilme, die im Rahmen des ECBOS-Projekts aufgenommen wurden, ausgewertet, um die Mechanismen der Verformung der Sitzstruktur bei gegurteten und ungegurteten Dummies zu analysieren und zu vergleichen. Die Autoren fanden heraus, dass die Sitze und deren Befestigungen bei einem Überschlag durch zwei verschiedene Situationen beansprucht werden. Zum einen werden sie durch die Deformation der Fahrzeugstruktur zum anderen durch den Fahrzeuginsassen selbst belastet.

Bei den Tests wurden folglich Sitze mit unterschiedlichen Befestigungsvarianten unter zwei verschiedenen Testbedingungen geprüft, Abbildung 3-8. Die geplanten Tests hatten zum einen das Ziel, Aussagen über die Verformung der Sitze während eines Rollovers treffen zu und können zum anderen Aussagen darüber zu machen, inwiefern die Sitze und deren Verankerungen als Strukturelement zur Absorbierung höherer Energien beitragen.

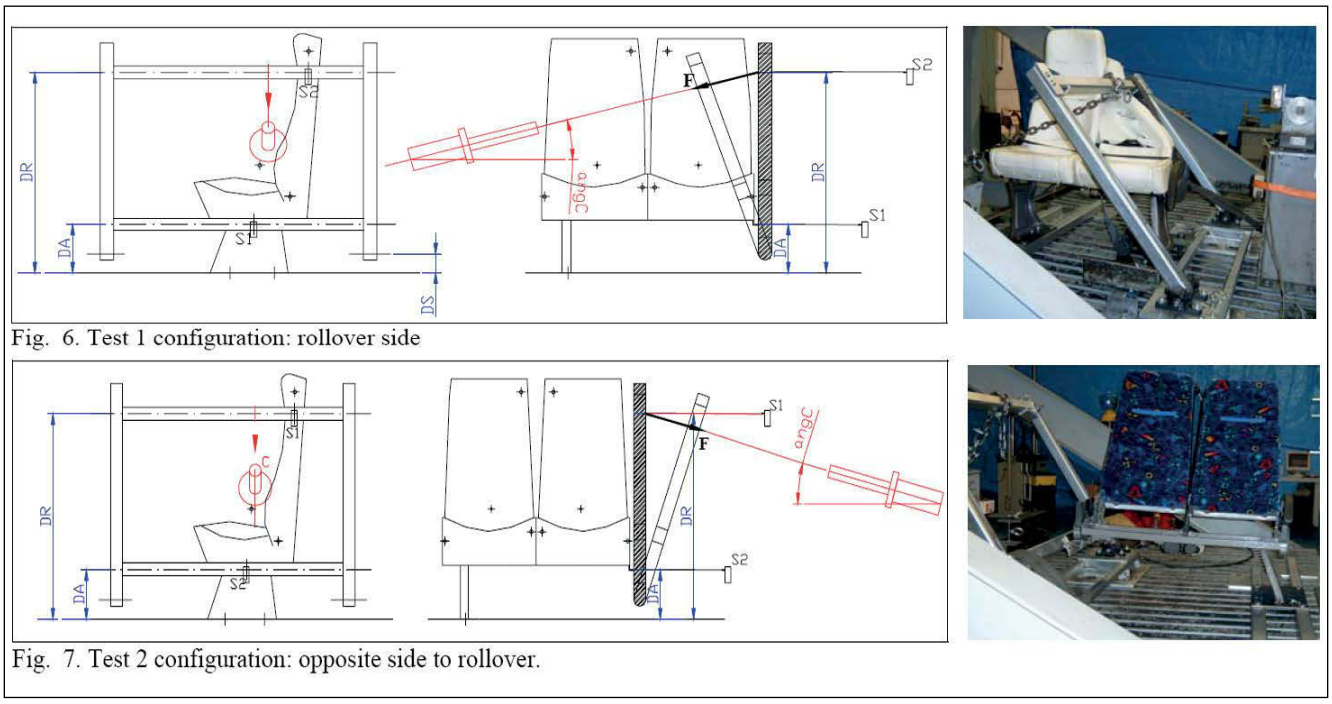


Abbildung 3-8:
Übersicht der zwei Testkonfigurationen und die Ergebnisse der Verformungen auf (oben) und gegenüber (unten) der Rolloverseite [11]

Zusammenfassend stellt die Studie heraus, dass alle getesteten Sitze den Belastungen im Falle des Rollovers stand hielten, obgleich sie bei manchen Konfigurationen kurz vor dem Versagen standen. Die Weiterentwicklung der verwendeten Testmethode könnte zur Verbesserung der Befestigungsgestaltung führen. Zusätzlich könnte eine technische Weiterentwicklung der Befestigungselemente des Sitzes an der Fahrzeugstruktur nach Auffassung der Autoren zur einer Veränderung der Verformungsmechanismen während eines Rollovers beitragen.

New bus optimized structure to improve the roll-over test (ECE-R 66) using structural foam with strength steel (2008) [12]

Auf Grundlage einer Experimentenreihe wurden in einer Kooperation von Henkel Technologies und dem Entwicklungsdienstleister Applus+ IDIADA Prototypen aus, mit Strukturschaum gefüllten, hochfesten Hohlprofilstählen entwickelt und validiert. Dabei wurden zu Beginn herkömmliche Materialien durch einen Biegetest überprüft, um anschließend Vergleiche von mit Terocore®[3] gefüllten und dicker ausgeführten Profilen durchzuführen. Für die mit Terocore® gefüllten Profile ergaben sich während der Standardtests durchweg positive Werte. Es ist durch die Füllung mit Terocore®, trotz geringerer Stahldicke möglich, gleiche Energien wie mit deutlich dickwandigeren Stählen zu absorbieren. Mit den Ergebnissen von Belastungsproben des Strukturschaumes wurde anschließend ein mathematisches Modell erstellt, Abbildung 3-9. Zusätzlich wurden auch hochfeste und heißgewalzte Stähle mit Terocore® gefüllt und den gleichen Belastungstests unterzogen. Als Ergebnis konnte ein um 76 kg reduziertes Aufbauteil unter Verwendung von Terocore® entwickelt werden, welches den gestiegenen Beanspruchungen der ECE-R 66 trotzdem standhält.

Sicherheit insbesondere von Doppeldeckerreisebussen – Struktursteifigkeit des Aufbaus und Gurtanlegeverhalten (2008) [13]

Gegenstand dieser Arbeit des Instituts für Fahrzeugtechnik der Fachhochschule Trier war die Analyse der Gurtanlegequoten in modernen Reisebussen und die Untersuchung der Aufbaufestigkeit von Doppeldeckerbussen im Hinblick auf die Anpassung an gesetzliche Vorschriften. Da es bisher keine Untersuchungen bezüglich der Gurtnutzung in Reisebussen gab, wurde durch die Autoren eine Pilotstudie bezüglich dieser Frage initiiert. Dabei wurde ein Reisebus mit Gurt- und Sitzsensoren ausgestattet. Über einen Zeitraum von einem Jahr konnten somit 2.100 Betriebsstunden hinsichtlich der Anlegequoten untersucht werden. Es zeigte sich, dass trotz der Anlegepflicht die Gurte nur in 25% aller Fälle benutzt wurden. Nach der Anbringung von Bordinformationen in Form von einfachen Aufklebern an jedem einzelnen Sitz konnte diese Rate bis auf 36% gesteigert werden.

Ab 2010 gelten laut ECE-R 66 für den Aufbau von Omnibusstrukturen erweiterte Prüfvorschriften. Zur Er-

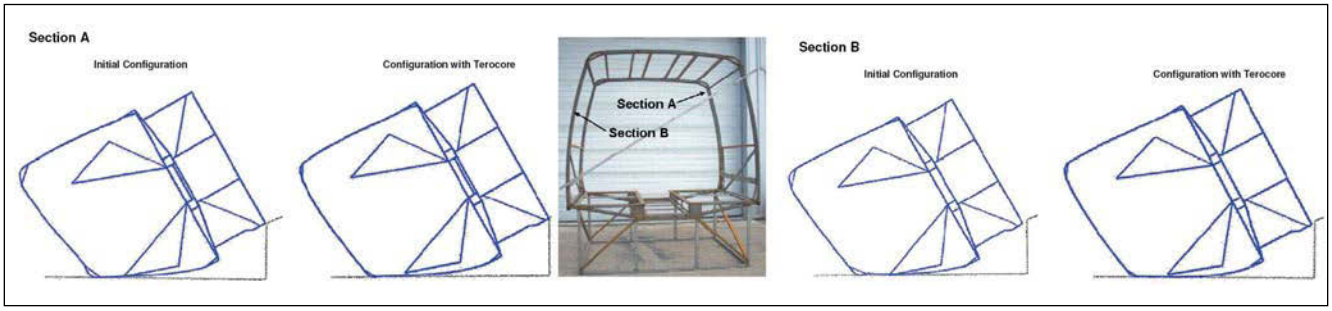


Abbildung 3-9:
Prototyp des Aufbauteils und Vergleich der Simulationsergebnisse zwischen dem ursprünglichem und dem mit Terocore® gefüllten Modell [12]

3 Terocore®: Strukturschaum auf Basis von Epoxidharzen

langung der Freigabe müssen neue Omnibusse mehr Energie absorbieren können, um den vorgeschriebenen Überlebensraum zu erhalten. Allerdings sind Doppeldeckeromnibusse auch in die neue ECE-R 66 nicht eingeschlossen. Zur Beantwortung der Frage, wie sich Doppeldeckerbusse bei einem Kippvorgang verhalten, wurde ein Finite-Elemente-Modell erstellt und den Testkriterien der ECE-R 66, Abbildung 3-10 oben, und den bekannten Werten eines Realunfalls unterzogen. Berechnet wurden drei Lastfälle, die sich in ihren kinetischen Energien während des Zustands des Erstaufschlages unterschieden. Schon frühzeitig zeigte sich, dass der Überlebensraum im Oberdeck während aller Versuche durch eindringende Strukturteile verringert wurde. Aus diesem Grund wurden in weiteren Simulationen veränderte Materialkennwerte und Profilgeometrien verwendet, wodurch ein positives Ergebnis im Verformungsverhalten der Busstruktur erlangt werden konnte, Abbildung 3-10 unten.

An Investigation on Roll-Over Crashworthiness of an Intercity Coach, Influence of Seat Structure and Passenger Weight (2009) [14]

In dieser Studie wurde durch die Zusammenarbeit von CADFEM, LS-DYNA und dem Bushersteller TEMSA das Überschlagverhalten des Finite-Elemente-Modells eines Reisebusses und das Verhalten der Sitzstruktur unter vier verschiedenen Versuchsbedingungen getestet. Dazu wurden Simulationen mit einem leeren Bus, einem leeren Bus inklusive Sitze, einem Bus mit zusätzlichen Passagieren und einem Bus mit weiteren 1.000 kg Beladung im Gepäckraum durchgeführt. Die Ergebnisse dieser vier Simulationen zeigt Abbildung 3-11. Es wird erkennbar, dass die vom Bus zu absorbierende Energie mit Insassen im Vergleich zum leeren Fahrzeug um fast 30 kJ ansteigt. Daher kommen die Autoren, wie in früheren Studien auch andere Autoren schon, zu dem Schluss, dass es notwendig erscheint, die Masse der Passagiere in der ECE-R 66 zu berücksichtigen.

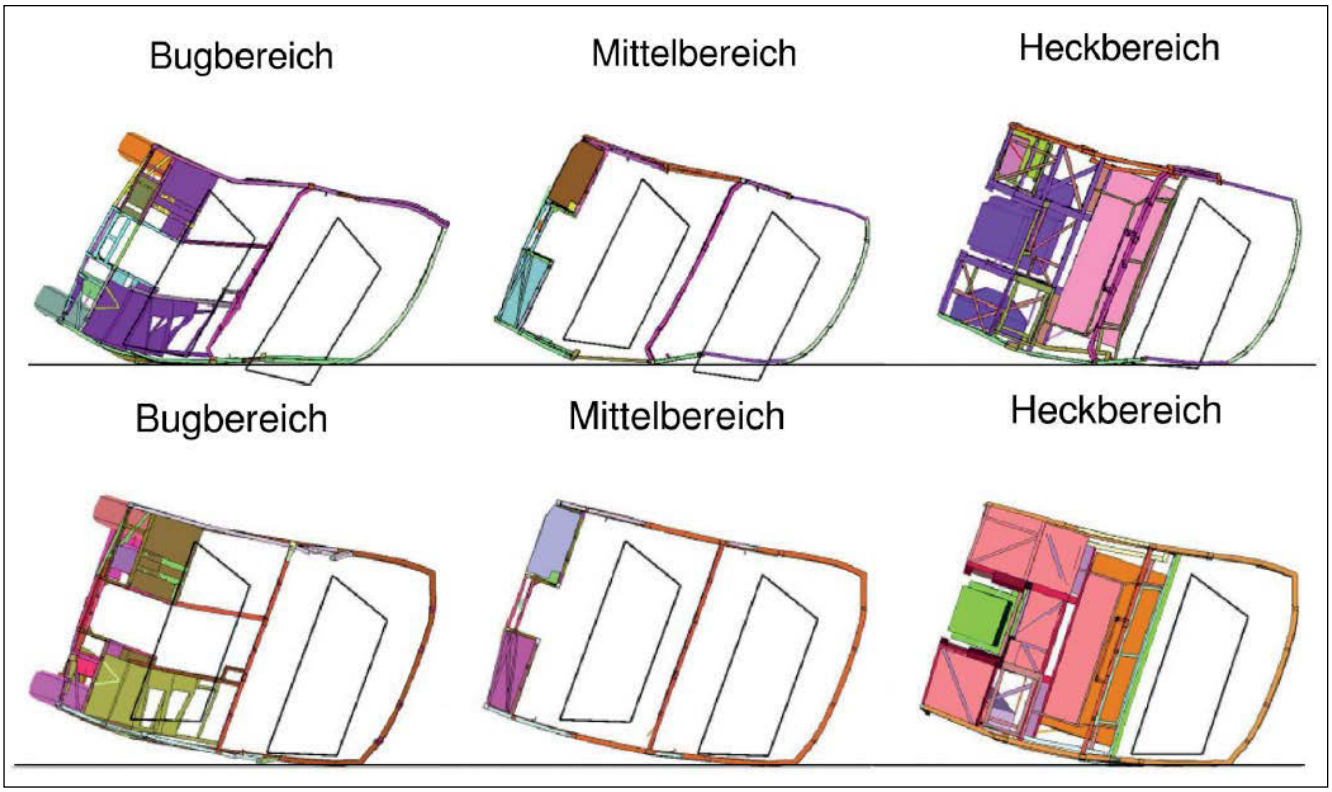


Abbildung 3-10:
Fahrzeug zum Zeitpunkt der maximalen Verformung unter den Testbedingungen der ECE-R 66 mit (unten) und ohne (oben) überarbeiteter Fahrzeugstruktur [13]

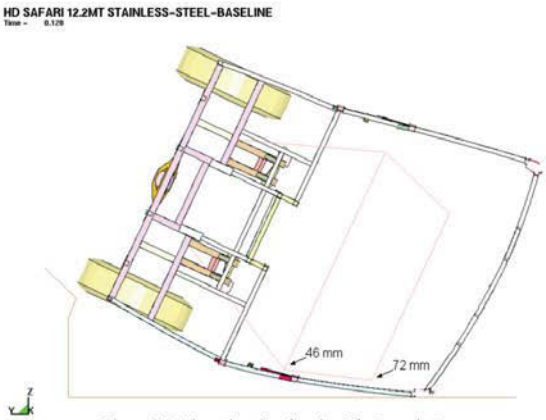


Figure. 10 Deformation plot of section 2 for Scenario 1

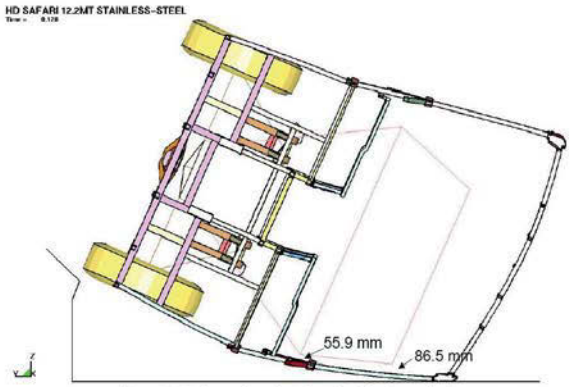


Figure. 11 Deformation plot of section 2 for Scenario 2

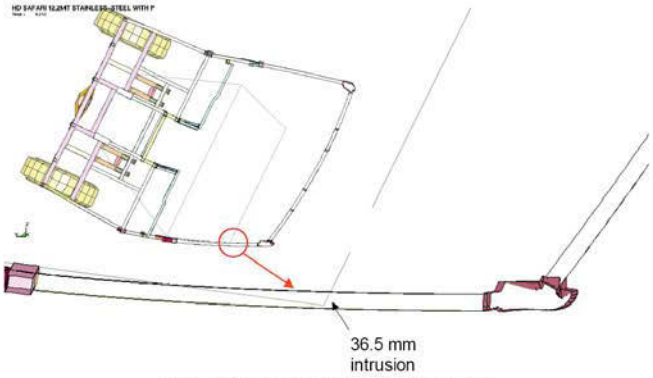


Figure. 12 Deformation plot of section 2 for Scenario 3

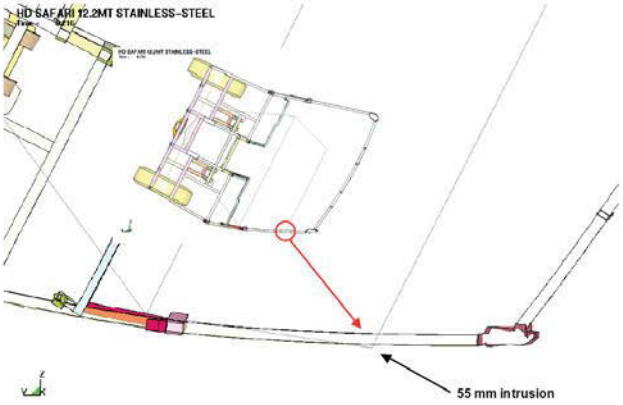


Figure. 13 Deformation plot of section 2 for Scenario 4

Table 1 – Mass CoG and Imposed Energy for Each Scenario

	Mass kg	CoG mm	Energy Joules
Baseline	13100	1225,4	78500
With Seats	13100	1220,7	78700
With Passenger weight	15956	1325,4	107700
With Passenger + Luggage	16913	1300,8	111000

Abbildung 3-11:
Ergebnisse der vier verschiedenen Testszenarien [14]

3.2 Studien zu Verletzungsmechanismen in Kraftomnibussen

Stand- und Sitzsicherheit im innerstädtischen Linienverkehr – Eine Untersuchung der tolerierbaren Beschleunigungen (1999) [15]

In dieser Arbeit wurden durch das Ingenieurbüro Schimmelpfennig und Becke verschiedene Aspekte zur Sitz- und Stehsicherheit in Linienverkehrkraftomnibussen untersucht. Es stellte sich wieder einmal heraus, dass ältere weibliche Businsassen am häufigsten betroffen sind. Nach der Untersuchung von realen Beschleunigungsvorgängen in Linienbussen wurden Fahrversuche durchgeführt, die Aufschluss über die maximal tolerierbaren Beschleunigungen gaben. Es wurden drei verschiedene Versuchsreihen zum Stehen und Gehen sowie zum Festhalten durchgeführt.

Als Ergebnis zeigte sich, dass ab einer Beschleunigung von 1,3 m/s² kein sicheres Stehen im Bus mehr möglich ist, sofern dem Passagier kein ausreichender Raum zur Verfügung steht. Darüber hinaus wurde eine Abhängigkeit der auf die Versuchspersonen aufgebrachten Haltekräfte von deren Körpergewicht und den aufgebrachten Beschleunigungen ermittelt. Wie zu erwarten war, unterschieden sich die tolerierbaren Verzögerungen zwischen älteren und jüngeren Probanden erheblich. Diese lagen bei den jüngeren Versuchspersonen um das 1,5fache höher. Die Versuche bezüglich des Verhaltens beim Sitzen während der Beschleunigungsvorgänge zeigten, dass erst Beschleunigungen von mehr als 4 m/s² zum seitlichen Kippen vom Sitz führten, sofern sich die Probanden nicht festhielten. Ab einer Beschleunigung von 6 m/s² traten diese Erscheinungen auch bei Personen auf, die in Fahrtrichtung blickten. Allerdings sollte dem Umstand Beachtung geschenkt werden, dass alle Probanden auf die bevorstehende Beschleunigung vorbereitet waren, so dass die gewonnen Ergebnisse im realen Fahrbetrieb in gewisser Weise nach unten zu korrigieren sind. Als Konsequenz aus den Versuchen entwickelte das Ingenieurbüro den Prototypen eines „Stehsitzes“, der die Vorteile des geringen Platzbedarfes und der Sicherheit während des Sitzens vereint, Abbildung 3-12.

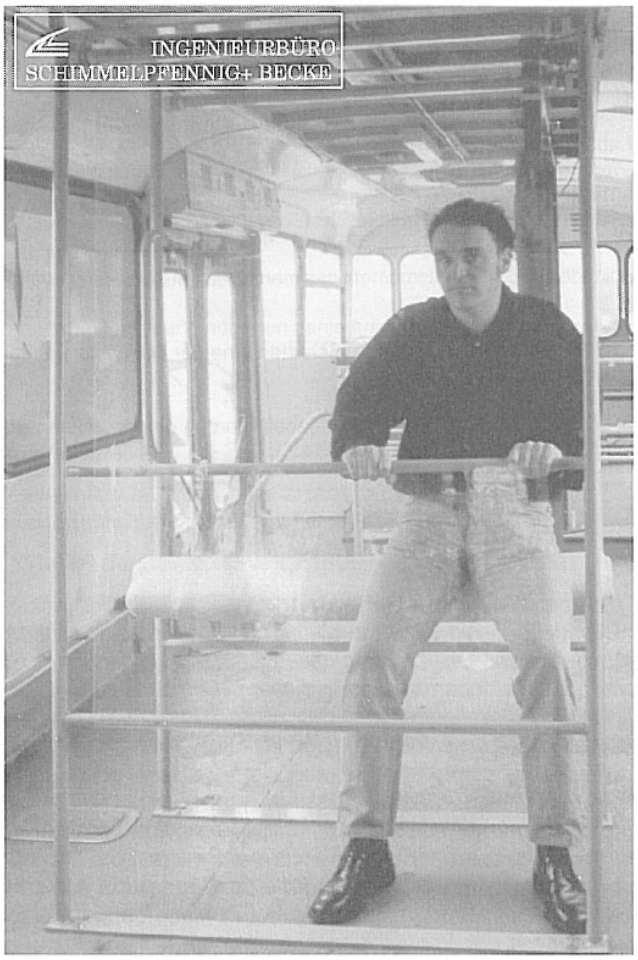


Abbildung 3-12:
In einem Linienbus installierter Prototyp eines Stehsitzes [15]

Passenger Casualties in Non-Collision Incidents on Buses and Coaches in Great Britain (2003) [16]

Die Autoren dieser britischen Studie, die ebenfalls am ECBOS-Projekt beteiligt waren, kommen nach der Auswertung der britischen Unfallstatistik und dem Vergleich mit anderen europäischen Studien zu dem Ergebnis, dass zwar die Unfalldatenerhebung in Europa sehr verschieden ist, sich jedoch die Zahlen der Verletzten aus „non-collision events“ zwischen Großbritannien, Österreich und Deutschland sehr stark ähneln. Sowohl in Österreich und Deutschland als auch in Großbritannien entstehen viele Verletzungen durch Notbremsungen. Hier gilt die Gruppe der älteren weiblichen Insassen als besonders gefährdet. Die Autoren geben die Empfehlung, die Bereiche

um den Fahrer, besonders die Fahrscheinautomaten am Fahrersitz, besser zu gestalten, um Kontaktverletzungen zu minimieren. Sie geben weiterhin den Hinweis, dass während Zeiten hohen Passagieraufkommens der Fahrer durch einen Schaffner unterstützt werden sollte, der den Fahrscheinverkauf abwickelt und beim Ein- und Aussteigen hilft. All dies würde den Fahrer entlasten und dieser könnte sich somit auf das Fahren konzentrieren. Die Autoren begrüßen zwar die neue Regelung für das Innenraumdesign, die vor allem das Ein- und Aussteigen erleichtern und das Interieur sicher machen sollen, erwarten aber kurzfristig keine Besserung der Senkung der Anzahl der Verletzten aufgrund des hohen Anteils an alten Fahrzeugen.

Is there a pattern in European bus and coach incidents? A literature analysis with special focus on injury causation and injury mechanism (2005) [17]

Diese schwedische Studie zielte mit einer Online-Literaturrecherche zur aktuellen Bussicherheit darauf ab, bestimmte Verletzungsmuster, die im Zusammenhang mit Unfällen von M2 bzw. M3 Fahrzeugen stehen, herauszufinden und zu beschreiben. Ein erhebliches Problem stellten dabei die unterschiedlichen Begriffsbestimmungen bei der Datenerhebung der einzelnen Länder dar. Wie auch in anderen Untersuchungen kamen die Autoren in dieser Studie zu dem Ergebnis, dass der Kraftomnibus eines der sichersten Verkehrsmittel ist. Nur 0,3 bis 0,5% aller europäischen Verkehrstoten sind Businsassen. In den Ländern der OECD ist die Wahrscheinlichkeit, in einem Bus getötet zu werden, sieben bis neunmal geringer als in einem Pkw. Überwiegend erleiden Frauen über 60 Jahre Verletzungen, da sie sich im Vergleich zu Männern häufiger in Kraftomnibussen fortbewegen. Obwohl tödliche Busunfälle meist außerhalb geschlossener Ortschaften geschehen, sind die meisten Unfallopfer innerhalb geschlossener Ortschaften zu verzeichnen. Mehr als 1/3 der Unfälle sind durch Ein- bzw. Aussteigen bedingt. Überschläge resultieren fast immer aus schweren Buskollisionen. Dabei stellt die Tatsache, herausgeschleudert zu werden, die größte Gefahr dar, tödliche Verletzungen zu erleiden. Aus diesem Grund sollte energieabsorbierenden Säulen, Handläufen und Glasscheiben mehr Aufmerksamkeit bei der Konstruktion zukommen. Festgestellt wurde weiterhin, dass 3-Punkt-Gurte den Insassen während einer Frontalkollision besser an den Sitz fixieren als Beckengurte. Nachteilig dabei sind die höheren Anschaffungskosten und notwendige Verstärkungen in der Fahrzeugstruktur. Trotz der Gefahr bei einem Überschlag aus dem 3-Punkt-Gurt heraus zu rutschen und dabei andere Insassen oder harte Strukturteile zu treffen, kommen die Autoren zu dem Schluss, dass dieser dem Beckengurt vorzuziehen ist.

Occupant Casualties in Bus and Coach Traffic (2005) [18]

Auf der Grundlage medizinischer Daten von 284 Patienten, gesammelt über einen Zeitraum von 10 Jahren, wurden in dieser schwedischen Studie die Verletzungen von Businsassen untersucht. Die Daten wurden für die Untersuchung herangezogen, da sie nach Auffassung der Autoren verlässlicher und aussagekräftiger sind als die Daten der offiziellen Statistiken bzw. der Polizei. Neben der Erarbeitung von Crash- und Verletzungsmechanismen richtete sich das Ziel auf die Erforschung der Auswirkung von 3-Punkt-Gurten auf die Verletzungen und den Einfluss von Umweltparametern, wie z.B. Seitenwind, auf das Unfallgeschehen. Für die Untersuchung wurden sowohl so genannte „Crash events“ als auch „Non-crash events“ herangezogen.

Nach Angaben des Autors resultiert die Mehrheit der Busunfallopfer aus den „Non-crash events“. 54% der Verletzungen aus „Non-crash events“ stehen 46% der Verletzungen aus Buskollisionen gegenüber, was praktisch einer 50/50-Verteilung gleichkommt. Mit einer Verletzungsschwere von MAIS 2+ stellen weibliche Businsassen mit einem Durchschnittsalter von 57 Jahren den größten Anteil bei den „Non-crash events“. Beim Boarding, speziell beim Aussteigen, treten dabei häufig Verletzungen an den unteren Extremitäten auf. Zur Reduzierung dieser Verletzungen schlägt der Autor die vermehrte Verwendung von Niederflurbussen mit „Kneeling-Funktion“ und verbesserte Haltestellengestaltungen vor, wie sie bereits in Curitiba (Brasilien) umgesetzt sind, Abbildung 3-13.

In der Kategorie der so genannten „crash-events“ wurden vom Autor drei Phasen unterschieden.

Abbildung 3-13:
Beispiel für verbesserte Haltestellengestaltung (Curitiba/ Brasilien) [18]

Precrashphase

Seitenwinde beeinträchtigen die Sicherheit von Kraftomnibussen in der Precrashphase erheblich. Aus diesem Grund vertritt der Autor die Meinung, dass der Aerodynamik von Bussen mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden sollte. Aus den Daten von 10 Busunfällen wurden mathematische Zusammenhänge zwischen der Geschwindigkeit, der Beladung des Fahrzeuges und dem Einfluss der Windgeschwindigkeit analysiert. Der Autor fand durch diese Analyse heraus, dass die Verschiebung des Schwerpunktes um 10% in Richtung der Hinterachse einen 45% höheren Reibungskoeffizient zwischen Straße und Reifen erfordert, Abbildung 3-14.

Crashphase

In der Crashphase werden die meisten schweren und tödlichen Verletzungen durch Überschläge und Herausschleudern verursacht. Durch den Einsatz von 3-Punkt-Gurten an Stelle von Beckengurten kann die Reduzierung von MAIS 2+ Verletzungen von 50% auf 80% erhöht werden. Weitere Beachtung sollten energieabsorbierenden Trägern und Geländern sowie Glasscheiben, die während eines Überschlags intakt bleiben, geschenkt werden. Im Falle eines schweren Busunfalles sollten die Rettungsmannschaften entsprechend schwere Rettungsgeräte zur Befreiung der Insassen vorrätig haben.

Zur Erhöhung der Gefahrenabwehr innerhalb verunfallter Busse sollten entsprechende Rettungsmethoden entwickelt und von den Hilfskräften trainiert werden. Basierend auf den Ergebnissen dieser Studie schlägt der Autor die Einführung eines Bewertungssystems für Busse gleich dem EuroNCAP vor, da dieses System ein Katalysator für die Verbesserung der Bussicherheit sein könnte. Ein weiterer positiver Effekt wird vom Autor dadurch erwartet, dass der „EuroNBAP“ den Reiseagenturen und Busunternehmen die Entscheidung zur richtigen Fahrzeugwahl erleichtern soll.

Table 9. Results from calculations with necessary coefficients of friction distributed over different loads.

Crash no.	Wind gusts (m/s)	Speed at the crash (km/h)	Calculations done in the mathematical model: (i) Necessary coefficient of friction with a laden case (μ)	Calculations done in the mathematical model: (ii) Necessary coefficient of friction with rear laden 10% case (μ)	Increase between laden and rear laden cases (%)
1	16	90[b]	0.47	0.74	57
2	15	93[a]	0.31	0.46	48
3	9	60[a]	0.11	0.16	45
4	21	90[b]	0.45	0.64	42
5	16	90[b]	0.32	0.45	41
6	10	75[a]	0.15	0.20	33
7	15	100[a]	0.36	0.54	50
8	21	75[a]	0.56	0.91	63
9	14	65[a]	0.13	0.16	23
10	17	90[a]	0.38	0.57	50
					Average 45

[a]Tachograph [b]Driver interviews

Abbildung 3-14:
Ergebnisse der Berechnungen der erforderlichen Reibungskoeffizienten aus der Analyse von 10 Busunfällen [18]

Non-collision injuries in public buses: a national survey of a neglected problem (2005) [19]

In dieser im Jahr 2005 veröffentlichten israelischen Studie wurden die Verletzungsmuster von 120 verletzten Insassen öffentlicher Kraftomnibusse untersucht. Der Erhebungszeitraum dieser prospektiven Studie umfasste acht Monate. Die Daten wurden von sechs Notaufnahmen gesammelt und durch die Autoren ausgewertet. Die Studie schloss alle Patienten ein, die in einem Bus des ÖPNV in städtischem oder ländlichem Gebiet verunfallten. Über die Hälfte der Verunglückten war älter als 55 Jahre. Die meisten Verletzungen erlitten Insassen die im Bus standen oder sich bewegten, während das Fahrzeug plötzlich bremste oder beschleunigte. Die zweit häufigste Verletzungsursache war das Ein- oder Aussteigen aus dem Fahrzeug. Am Häufigsten traten Verletzungen an den Extremitäten auf, gefolgt von Kopf- und Wirbelsäulenverletzungen. Die Ergebnisse dieser Studie zeigt Abbildung 3-15. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass die Verletzungen durch ein verbessertes Design des Businneren und durch Optimierung des Betriebsablaufes teilweise vermeidbar wären.

Non-collision injuries in urban buses- Strategie for prevention (2009) [20]

In diesem irischen Paper werden erstmals Ergebnisse von rechnergestützten Analysen der Verletzungen älterer Menschen veröffentlicht, die durch Brems- oder Beschleunigungsvorgänge in Kraftomnibussen verursacht wurden. Nachdem das reale Beschleunigungs- und Bremsverhalten analysiert wurde, wurden die Ergebnisse in eine Madymo-Simulation übertragen. Untersucht wurden zwei verschiedene Varianten von Insassenpositionen, Abbildung 3-16.

In der ersten Simulation wurde aus konstanter Fahrt plötzlich stark abgebremst. In der zweiten Simulation wurden lediglich Veränderungen im Reibwert zwischen Schuhen und dem Oberflächenbelag durchgeführt. In einer dritten Variante wurde eine zügige Beschleunigung,

Table 1 Age distribution of the injured bus passengers

Age (y)	Number	%
⩽18	8	6.7
19–34	22	18.3
35–54	23	19.2
55–74	43	35.8
75+	24	20.0

Table 2 Distribution of the 120 injuries according to the time of day*

Hour	Number	%
0500–1200	53	44.2
1200–1900	55	45.8
1900–2300	12	10.0

*Regular bus service stops around midnight and begins around 0500.

Table 3 Passenger location at the time of injury (total number = 120)

Position	Number	%
Standing	67	55.8
Moving	30	25.0
Sitting	23	19.2

Table 4 Mechanism of the 120 injuries

Mechanism	Number	%
Acceleration/deceleration	63	51.2
Boarding/alighting	35	28.5
Closing of doors	6	4.9
Bus swerving during a turn	9	7.3

Table 5 Sites of the 120 injuries

Site	Number	%
Limb	62	33.3
Head	54	29.0
Spine	41	22.0
Chest	11	5.9
Pelvis	12	6.5
Abdomen	4	2.2
Skin	2	1.1

Abbildung 3-15:
Ergebnisse der Analyse der Verletzungen der 120 Businsassen [19]

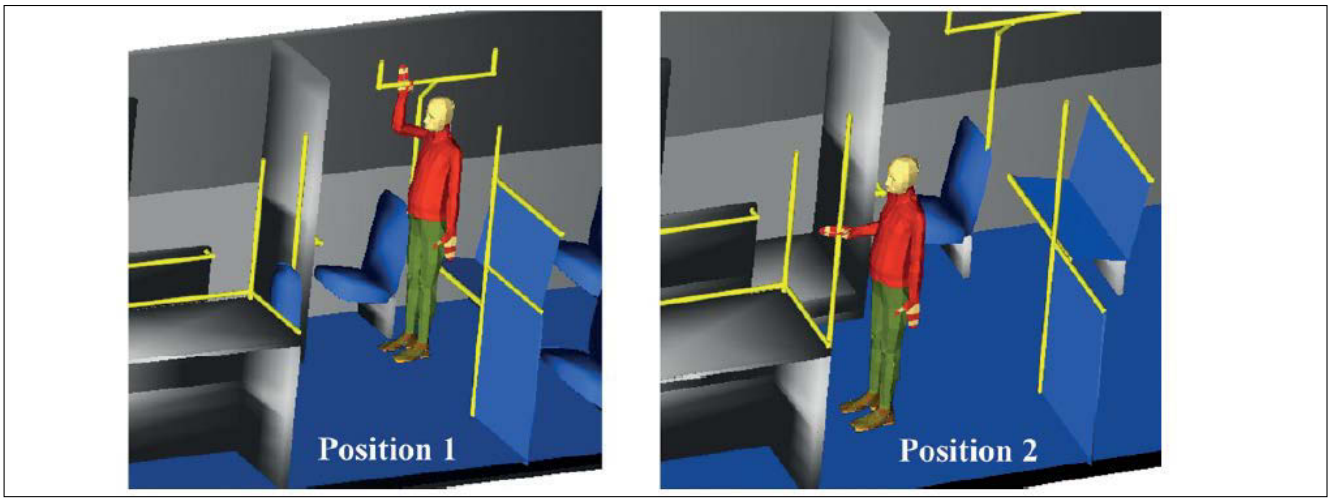


Abbildung 3-16:
Madymo-Modelle des Busses und verschiedener Insassenpositionen [20]

wie sie an Ampeln vorkommt, mit einer plötzlichen abrupten Bremsung kombiniert. Die Ergebnisse der berechneten Belastungen aller Simulationsvarianten zeigt die Abbildung 3-17.

Die aus den Simulationen abgeleiteten Verletzungsschweren entsprachen denen aus publizierten medizinischen Berichten. Die Autoren kommen zu dem Ergebnis, dass Passagiere sich nicht im Gang aufhalten sollten, um Beinverletzungen durch den Kontakt mit dem harten Sitzgestell zu verhindern. Weiterhin sollten sich Passagiere nicht im Eingangsbereich aufhalten, da es bei einem Gleichgewichtsverlust zu einem Kontakt zwischen dem Kopf und der Seitenwand des Busses kommen kann. Horizontale Handläufe sollten durch von der Decke hängende vertikale ersetzt werden. Zusätzlich sollte der Bodenbelag weicher werden. Zudem führen starke Beschleunigungen gefolgt von abrupten Bremsungen sehr wahrscheinlich zum Gleichgewichtsverlust älterer Menschen. Eine weitere wichtige Forderung der Autoren war, dass die Fahrer der Busse hinsichtlich des Bewegungsverhaltens der Insassen während bestimmter Fahrvorgänge

Matrix of computer simulations performed.

Position	Identifier	Input pulse	Friction coefficient
Position 1	1A	MEASURE 1.1	0.85
Position 1	2A	MEASURE 2.1	0.49
Position 1	2B	MEASURE 2.1	0.85
Position 1	3A	MEASURE 2.4	0.49
Position 1	3B	MEASURE 2.4	0.85
Position 2	4A	MEASURE 2.4	0.49
Position 2	4B	MEASURE 2.4	0.85

Principal injury predictions obtained in the Madymo simulations.

Simulation identifier	HIC36	Threshold	Injury risk (AIS ≥ 2)	Right leg (Nm)	Left leg (Nm)	Threshold (Nm)	Injury risk (AIS ≥ 2)	Left Tibia Index	Right Tibia Index	Threshold
1A	20.78	1000	0%	109.02	42.00	110–180[a]	19%	0.29	0.28	1.3
2A	758.18		35%	–	–		–	0.27	1.2	
2B	2.02		0%	126.03	82.50		39%	0.28	0.12	
3A	38.30		0%	51.75	128.80		43%	0.27	0.30	
3B	17.43		0%	137.03	89.35		55%	0.18	0.26	
4A	35.41		0%	98.35	75.00		11%	0.19	0.35	
4B	23.29		0%	66.70	122.98		35%	–	–	

–: No data available.

[a] Minimum and maximum threshold values in the literature.

Abbildung 3-17:
Ergebnisse der berechneten Belastungen aller Simulationen für unterschiedliche Beschleunigungswerte und Reibkoeffizienten zwischen den Schuhen und dem Oberflächenbelag im Gangbereich des Busses [20]

(Bremsen, Beschleunigen) sensibilisiert werden sollten. Dies könnte nach Meinung der Autoren in gesetzlich vorgeschriebenen Schulungen geschehen.

3.3 Studien zur allgemeinen Bussicherheit

Highway Special Investigation Report on Bus Crashworthiness Issues (1999) [21]

Innerhalb dieser amerikanischen Studie wurden durch das US National Transportation Safety Board 40 Kraftomnibus- sowie weitere sechs Schulbusunfälle analysiert. Die Untersuchungen dieser Studie zielten darauf ab, herauszufinden, welche zusätzlichen Maßnahmen zur Verbesserung der Businsassensicherheit getroffen werden müssen. Die Autoren untersuchten unter anderem die Effektivität von Insassenschutzsystemen in Schulbussen, die Effektivität von bundesstaatlichen Standards zur Crashfestigkeit und Diskrepanzen zwischen den unterschiedlichen Kraftomnibusdefinitionen. Die Autoren empfehlen der NHTSA die Entwicklung von nicht weiter im Paper erläuterten Leistungsstandards, die die Sicherheit von Businsassen gewährleisten. Diese Standards sollen für Reise- und Schulbusse bei Frontal-, Seiten- und Heckkollisionen sowie Überschläge gelten. Die NHTSA sollte die laufende Forschung hinsichtlich der Seitenverglasung ausbauen, da diese ein Herausschleudern verhindern können. Die Forschungsergebnisse sollen ferner auf die Anwendbarkeit neu hergestellter Busse hin überprüft werden. Es sollten weiterhin Leistungsstandards für die Festigkeit der Busdächer entwickelt werden, um somit den Überlebensraum auf allen Sitzplätzen zu sichern.

Der Kraftomnibus im aktuellen Unfallgeschehen (2001) [22]

Das Institut für Fahrzeugsicherheit (IFM) führte eine In-depth Analyse von Busunfällen in Bayern (1998) durch. Bei der ersten Auswertung der Unfallzahlen zweier bayerischer Städte zeigte sich, dass Verletzungen von Businsassen ohne Kollision doppelt so häufig auftreten wie Verletzungen nach Kollisionen. Starkes Bremsen und Anfahren erwiesen sich als häufigste Verletzungsursache. Weibliche Personen bilden dabei die dominierende Gruppe der Verletzten. Obwohl leichte Verletzungen an den oberen, unteren Extremitäten und im Kopfbereich überwogen, traten in diesen Körperregionen vereinzelt auch schwere Verletzungen auf. Durch die Untersuchungen des IFM ergaben sich folgende technische und personelle Maßnahmen:

- elektronisch gesteuerte Bremsen
- energieabsorbierende Fußböden und Halteeinrichtungen
- adäquate Polsterung der Sitze
- mehr Sitzplätze für ältere Insassen
- Sensibilisierung der Fahrer in Hinblick auf ältere weibliche Passagiere
- Sensibilisierung der Fahrgäste auf mehr Rücksicht gegenüber älteren Passagieren.

Hinsichtlich der passiven Sicherheit formulieren die Autoren folgende Empfehlungen:

- Einführung von Fahrdynamikregelungen mit Kippstabilisation
- Einführung von Reifendruck-Überwachungssystemen
- EU-weite obligatorische Einführung von Regelungen zur Kippsicherheit gemäß ECE-R 66
- EU-weite obligatorische Einführung von Regelungen zum Rückhaltevermögen der Sitze und deren Verankerung gemäß ECE-R 80
- Obligatorische Einführung von UDS in Reisebussen
- Automatische Unfallmelder mit Panikknopf
- Seitenscheiben aus bruchsicherem Glas.

Evaluation of Occupant Protection in Buses (2002)

In dieser Studie werden die Ergebnisse einer Literaturstudie über die Sicherheit von Businsassen und die Regulierungsverfahren in Kanada, Australien, der USA und Europa beschrieben. Wie auch schon zuvor sind die Autoren zu dem Schluss gekommen, dass Busfahren eine der sichersten Transportarten ist. Dennoch sollten Anstrengungen unternommen werden, die die Bussicherheit weiter verbessern. Die Kernaussagen dieser Studie sind:

- es gibt keine einheitliche Klassifizierung der Kraftomnibustypen
- Überschläge und das Herausschleudern sind die Hauptgründe für schwere und tödliche Verletzungen
- der Beckengurt ist das bevorzugte Rückhaltesystem
- 3-Punkt-Gurte sind bei der Reduzierung von Verletzungen und dem Herausschleudern sehr effektiv
- bruchsicheres Glas wirkt ebenfalls dem Herausschleudern entgegen
- die Nachrüstung von Sicherheitsgurten ist schwierig und kostenintensiv, wenn die Bodenstruktur die Kräfte nicht aufnehmen kann
- Bussitze mit integrierten Sicherheitsgurten sind ohne höheres Gewicht realisierbar
- die Regulierungen hinsichtlich der Struktursteifigkeit der Fahrzeuge, der Sitzbefestigung und der Sicherheitsgurte in Australien und Europa spiegeln das reale Unfallgeschehen wider.

Sicherheitsmaßnahmen bei Reisebussen (2004) [23]

Auf dem DEKRA/VDI Symposium 2004 wurde über zwei Projekte berichtet, die zum einen das Brandverhalten von Reisebussen und zum anderen eine Schwachstellenanalyse zur Optimierung des Notausstieges von Reisebussen thematisierten. Die erstgenannte Studie zielte darauf ab, das reale Brandgeschehen im Hinblick auf die Regulierung 95/28/EG, die eine Prüfung des Brennverhaltens von Werkstoffen der Kraftfahrzeuginnenausstattung mit drei verschiedenen Methoden vorschreibt, zu untersuchen und gegebenenfalls Verbesserungsmöglichkeiten herauszuarbeiten.Über einen längeren Zeitraum, von 1999 bis 2003, wurden daher von der DEKRA 55 Busbrandfälle untersucht. Die Autoren dieser Studie sind der Ansicht, dass die geltende Richtlinie das reale Brandverhalten nur unzureichend wiedergibt, da weder die Rauchgasmenge noch die Rauchgastoxizität bewertet wird. Zur Verbesserung der Beurteilung des Brandverhaltens

schlagen die Autoren eine Orientierung an den Richtlinien für Straßen- und Eisenbahnen vor, da das nicht die Entwicklung komplett neuer Verfahren erfordern würde. Die Autoren sind der Auffassung, dass Brände in Reisebussen nicht völlig auszuschließen sind. Sie regen daher Folgendes an:

- Brandmeldeanlagen im Motorraum, in der Bordtoilette und in Treppenaufgängen zum Oberdeck vorzuschreiben,
- automatische Löschanlagen im Motorraum zu installieren (nicht gesetzlich vorzuschreiben),
- eine Anpassung der Regelung zur Mitführung der Feuerlöscher vorzunehmen,
- die Insassen durch Informationssysteme (bspw. Piktogramme) über die Sicherheitseinrichtungen vor Fahrtantritt zu informieren,
- ein generelles Rauchverbot zu veranlassen (Entscheidung soll allerdings beim Busbetreiber liegen),
- automatische Notrufsysteme mit gleichzeitiger Ermittlung der Fahrzeugposition zu installieren sowie die Prüfung der Toxizität aller verwendeten Materialien vorzuschreiben.

In der zweitgenannten Studie wurden neben einer Schwachstellenanalyse nationaler, internationaler und europäischer Richtlinien bezüglich der Notausstiege auch Evakuierungsversuche aus einem Reisebus in Seitenlage durchgeführt. Die gewonnenen Erkenntnisse wurden zur Erarbeitung von Anforderungen, Leistungen und Prüfbedingungen eines optimierten Notausstiegssystems benutzt. Unter anderem beinhaltete das erstellte „Lastenheft“:

- die Betätigung des Ausstieges muss für Kinder und Erwachsenen ohne Kraftaufwand und auch von außen möglich sein
- die Ausstiege sollten kinder- und seniorengerecht sein
- in jeder Lage des Busses sind zwei Hauptfluchtrichtungen sicherzustellen
- automatisierte Notöffnung
- die maximale Notöffnungszeit sollte nur 5 sec betragen
- Notöffnungsmöglichkeiten von Verbundsicherheitsglas.

Three Point Seat Belts on Coaches – The First Decade in Australia (2005) [24]

Seit der zweiten Jahreshälfte 1994 müssen in Australien alle Kraftomnibusse mit 3-Punkt-Sicherheitsgurten ausgestattet sein. In dieser Untersuchung wurden technische Probleme sowie betriebliche Verhaltensaufälligkeiten von 3-Punkt-Sicherheitsgurten betrachtet. Ein weiterer Punkt betraf die Ermittlung der Gurtanlegequoten in Australien. Die Autoren schlussfolgerten, dass die Anlegeraten mit 20% sehr gering sind. Daher sollten, wie es schon in den 90er Jahren erfolgte, Programme erarbeitet werden, die die Businsassen dazu ermutigen, die Sicherheitsgurte anzulegen. Die anfänglichen Bedenken hinsichtlich der Kosten und des Gewichtes der mit Sicherheitsgurten ausgestatteten Sitze erwiesen sich als unbegründet. Im Vergleich wiegen moderne Doppelsitze 15 bis 30% weniger als ältere Sitze. Schlussendlich ergaben sich auch keine Nachteile für die Transportkosten in Australien. Aus diesem Grund sind die Autoren darüber erstaunt, dass die bewiesenen positiven Ergebnisse nicht weltweit angenommen werden.

Large School Bus Safety Restraint Evaluation – Phase II (2003) [25]

In der zweiten Phase des NHTSA-Projekts zur Kindersicherheit in Schulbussen wurden Schlittentests vor dem Hintergrund der Untersuchung der Effektivität verschiedener Rückhaltesysteme bei Frontalkollisionen durchgeführt. Innerhalb der Testreihen wurden die Belastungswerte HIC_{15}[4], Nij[5] und die 3 ms Brustbeschleunigung gemessen. Sowohl für Dummies, die mit Becken-, 3-Punkt-Gurt, einer Kombination aus 3-Punkt-Gurt und Airbag gesichert waren, als auch für ungesicherte Insassen ergaben sich Werte, wie sie zusammenfassend Abbildung 3-18 zeigt. Neben den korrekt gegurteten Dummies wurden gleichzeitig auch Misuse-Tests durchgeführt. Das obere linke Bild der Abbildung 3-18 zeigt die Übersichtsgrafik der Ergebnisse des HIC_{15}. Die Werte wurden dabei auf den Erhalt/Nichterhalt-Wert von 700 normiert. Ein Wert von 1.0 bedeutet demnach ein HIC_{15} von 700, damit

4 HIC: Head injury criterion
5 Nij: Normalized Neck injury criterion

besteht ein 30%iges Risiko, schwer verletzt zu werden. Im oberen rechten Bild der Abbildung 3-18 liegt das Erhalt/Nichterhalt-Kriterium für das Nij bei 1.0. Bei einem Wert von 2.0 besteht dagegen schon ein 67%iges Risiko, schwer verletzt zu werden. Im unteren Diagramm wurde der Durchschnittswert der 3 ms Brustkorbbeschleunigung normiert. Auch hier entspricht ein Wert von 1.00 dem Erhalt/Nichterhalt-Kriterium.

Child Safety Research in School Buses (2005) [26]

Dieses Paper entstand in Zusammenarbeit der National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) und dem Volpe National Transportation Systems Center und wurde in ähnlicher Form im Jahr 1998 auf der 17. ESV Konferenz unter dem Titel „Large School Bus Safety Restraint Evaluation" vorgestellt. In dieser Studie wurde der Stand der Forschung zur Kindersicherheit in Schulbussen untersucht. Durch eine Analyse verschiedener amerikanischer Unfalldatenbanken fand die NHTSA heraus, dass die meisten tödlichen Schulbusunfälle mit anderen Fahrzeugen auf Straßen mit ausgewiesenen Geschwindigkeiten von 55-60 mph (88-97 km/h) geschehen. Die häufigsten Unfallgegner sind schwere Lastkraftwagen. Auf Grundlage dieser Erkenntnisse wurden ein Frontalcrash mit einer Geschwindigkeit von 30 mph gegen eine ortsfeste undeformierbare Barriere (OUB) und ein Aufprall eines Lastkraftwagen mit 45 mph in die Seite eines stehenden Schulbusses durchgeführt, bei dem ein Lkw mit einer Geschwindigkeit von 45 mph unter einem 90° Winkel in die Seite eines Schulbusses gefahren wurde, Abbildung 3-19. In beiden Versuchen wurden die Busse mit verschieden großen Dummies ausgestattet. Bemerkenswert war, dass außerhalb der direkten Anstoßzone des Lkw die Belastungen weit unterhalb der gesetzlich geforderten Grenzwerte lagen.

Für alle Dummies ergaben sich auch bei der Frontalkollision Belastungen weit unterhalb der gesetzlich zulässigen Werte. Bezüglich der Frontalkollisionen kommen die Autoren zu dem Ergebnis, dass standardisierte Tests für freiwillig eingebaute Sicherheitsgurte benötigt werden und dass Sicherheitsgurte für Busse unter 10.000 Pfund (4536 kg) erforderlich sind.

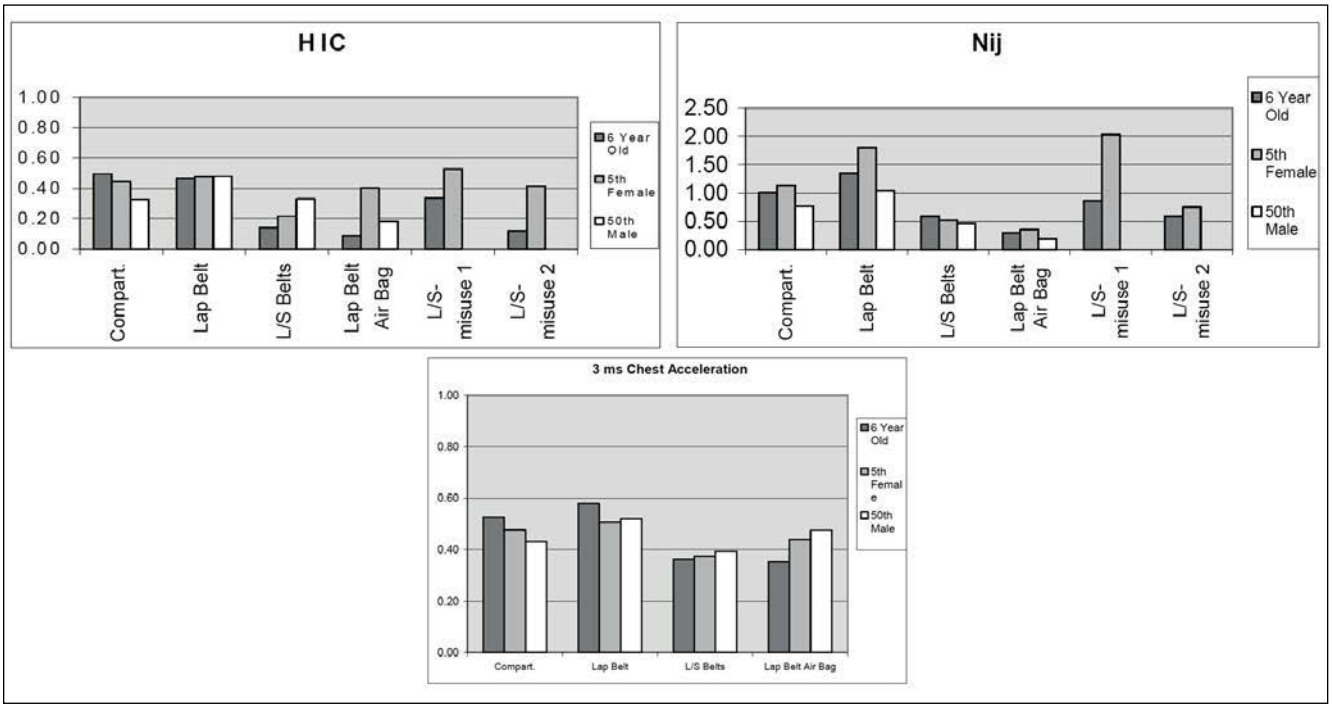


Abbildung 3-18:
Ergebnisse der Schlittenversuche mit verschiedenen Rückhaltesystemen [25]

Information Brief on Bus Vehicle Safety (2006) [27]

Neben einer kurzen statistischen Zusammenfassung australischer Busunfälle kommt die Australian Bus Industry Confederation (BIC) zu dem Ergebnis, dass auch in Australien Kraftomnibusse die sichersten Transportmittel sind. Zur weiteren Reduzierung der Verletzten und Getöteten kann jedoch nur eine kombinierte Verbesserung der Überschlagfestigkeit, der Sitzbefestigung sowie die Ausstattung der Fahrzeuge mit Sicherheitsgurten führen. Es zeigte sich, dass das Vorhandensein von Sicherheitsgurten allein nicht ausreiche, wenn das Fahrgestell oder die Sitzbefestigungen bei einem Rollover oder Frontalaufprall nicht Stand halten. Allerdings kommt die BIC zu dem Ergebnis, dass ein Kollabieren älterer Fahrzeug- oder Sitzstrukturen ein größeres Risiko birgt als das Fehlen von Sicherheitsgurten. Die Autoren geben den Hinweis, dass die Rücklehnen stärker gepolstert werden sollten, da damit die Verletzungsquote um 20% verringert werden könnte.

Im Gegensatz zu anderen Untersuchungen kommt die BIC durch eine Analyse anderer Forschungsergebnisse zu dem Schluss, dass das Risiko stehender Passagiere in Stadtbussen relativ gering ist. Allerdings sollten die maximalen Geschwindigkeiten für Busse, die stehende Passagiere transportieren, gesetzlich auf 80 km/h beschränkt werden. In dieser Studie werden Fragen bezüglich der Verantwortlichkeit zur Überprüfung der Gurtbenutzung und des Umgangs mit Passagieren, die das Anlegen von Sicherheitsgurten verweigern, aufgeworfen, die jedoch unbeantwortet bleiben.

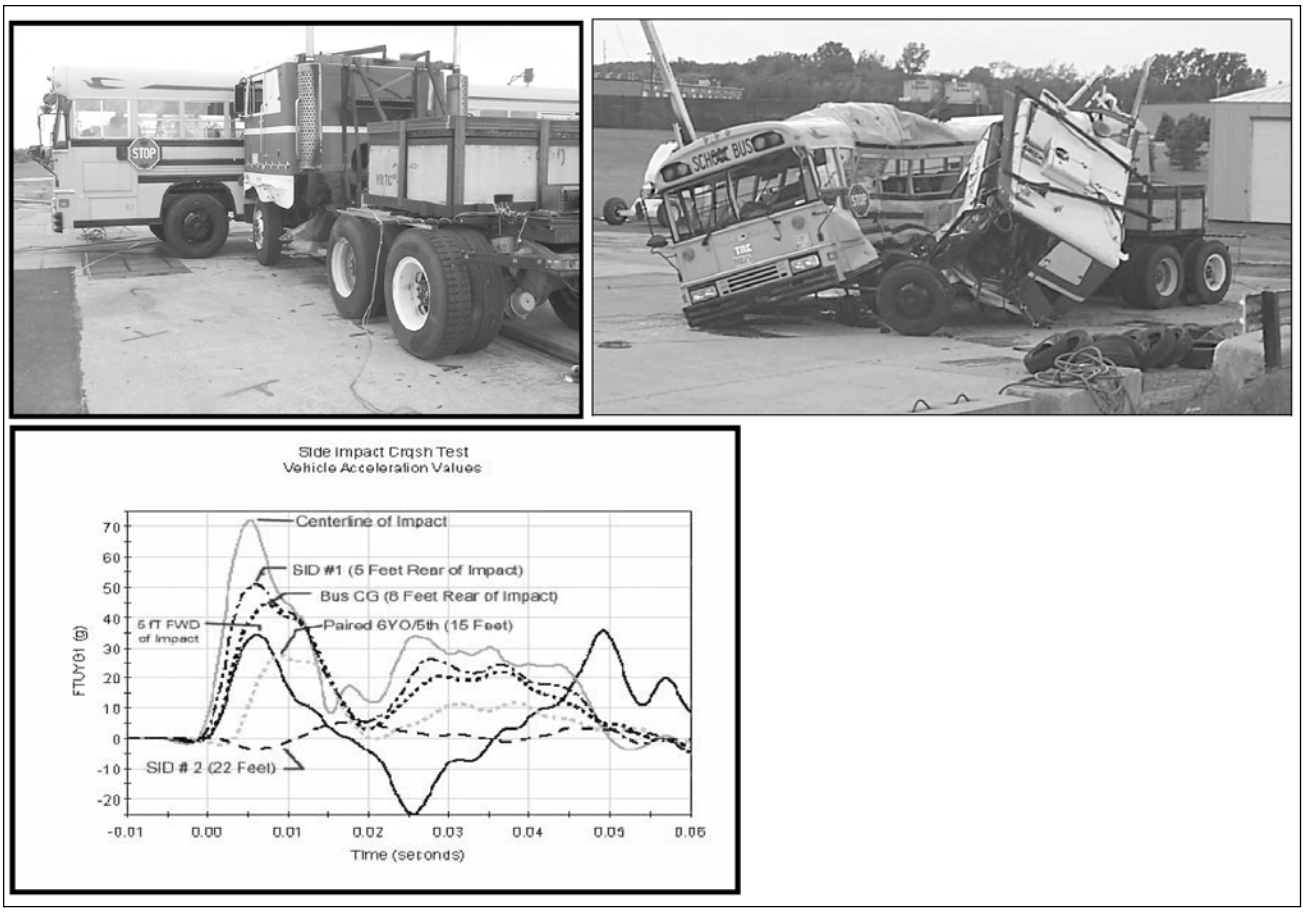


Abbildung 3-19:
Stellung der Fahrzeuge vor und nach dem Crashversuch sowie die gemessenen Beschleunigungswerte unterschiedlicher Dummies [26]

Improving Safety management in Australia´s Bus industry (2008) [28]

Neben der Auflistung und Zusammenfassung jüngster Studien zur Bussicherheit, die zum Teil auch in dieser Arbeit ausgewertet wurden, beinhaltet dieses Paper unter anderem folgende Verbesserungsvorschläge der SIA[6], die durch die NTC[7] realisiert werden sollen:

- Anwendung der ADR 59[8] (ECE-R 66) auf alle Omnibustypen
- Anwendung der ADR 66[9] und ADR 68[10] für alle Sitzpositionen
- Verbundsicherheitsglas für alle Fensterscheiben
- Crashfestigkeits- und Aufprallkompatibilitätsbestimmungen für Kollisionen mit anderen Verkehrsteilnehmern
- Gewährleistung der Sicherheit ein- und aussteigender Passagiere
- Überwachung kontinuierlicher Verbesserung der Sicherheitsgurttechnologien
- Einführung eines Wartungskontrollsystems
- Tragepflicht von Sicherheitsgurten für Schulkinder bei Exkursionen
- Einführung der Kontrolle des Anlegens von Sicherheitsgurten durch Lehrer oder einen anderen Verantwortlichen.

Untersuchungen zur inneren Sicherheit von Kraftomnibussen (1995) [30]

In dieser Arbeit wurde anhand von 65 Unfallgutachten der Dekra die innere passive Sicherheit von Kraftomnibussen untersucht. Es wurden nur schwere Unfälle, bei denen Insassen verletzt wurden, bzw. solche Unfälle, bei denen es aufgrund der Beschädigungen des Kraftomnibusses zu Verletzungen hätte kommen können, herangezogen. Es stellte sich heraus, dass Kollision mit einem entgegenkommenden Pkw einen Unfallschwerpunkt darstellen. Aber auch Kollisionen mit dem Heck eines Lkw Insassen enden für Businsassen häufig mit schweren Verletzungen. Sehr kritisch zu bewerten sind Alleinunfälle mit umkippenden Kom, aus denen etwa 70 % der Getöteten des gesamten Datenmaterials hervorgingen. Sofern es nicht zum Kippen des Kraftomnibusses kam, waren Deformationen im Fahrgastbereich selten aufgetreten. Als häufige Unfallursachen stellten sich technische Mängel, überhöhte Geschwindigkeit oder Unaufmerksamkeit des Fahrers heraus.

Überblick und ausgewählte Szenarien des Unfallgeschehens mit Bussen in Deutschland und Europa (2006) [31]

Neben der statistischen Analyse des europäischen Unfallgeschehens und der Beschreibung typischer Unfallszenarien wurden in dieser Studie von EVOBUS und Dekra Kraftomnibusunfälle aus der Dekra-Datenbank nach dem Schema der eSafety HDV-Gruppe untersucht. Das Schema der eSafey HDV-Gruppe lässt sich in die Gruppen mit

- verletzten/getöteten Insassen der betrachteten Fahrzeugkategorie (Gruppe A),
- verletzten/getöteten Insassen der Unfallgegner der betrachteten Fahrzeugkategorie (Gruppe B)
- und verletzten/getöteten ungeschützten Verkehrsteilnehmern und der betrachteten Fahrzeugkategorie (Gruppe C)

einteilen. Für die Gruppe der verletzten/ getöteten Businsassen stellten sich Unfälle mit Nutzfahrzeugen (41 %) und der Umkippen/ Überschlagunfall (18 %) als besonders kritisch heraus. Den dominierenden Anteil der Unfälle der Gruppe B stellte der PKW-Frontalunfall (54 %), gefolgt von Unfällen, bei denen es zur Kollision der Kraftomnibusfront und der Pkw-Seite (17 %) kommt.

Als weiteres Ergebnis zeigte sich, dass ungeschützte Verkehrsteilnehmer häufig bei Kreuzungskollisionen (27 %) oder Gegenverkehrskollisionen (25 %) schwer verletzt oder getötet werden.

6 SIA: Safety Institute of Australia Inc.
7 NTC: National Transport Commission
8 ADR 59: Australische Regulierung zur Überrollfestigkeit von Kraftomnibussen
9 ADR 66: Australische Regulierung zur Sitzfestigkeit, deren Verankerungen und Polsterung
10 ADR 68: Australische Regulierung zur Insassensicherheit von Kraftomnibussen

3.4 Zusammenfassende Bewertung der Unfallstatistik und der Literaturrecherche

In einem Aspekt sind sich alle Autoren der verschiedenen Forschungsprojekte einig:
Der Kraftomnibus stellt trotz einiger Probleme und vorhandenen Forschungsbedarfs eines der sichersten Transportmittel dar.

Gleichwohl war es für die Autoren der Publikationen offenbar problematisch, eine eindeutige Definition für „schwere Kraftomnibusunfälle" festzulegen. Ein Kriterium für die Einteilung war die Anzahl der Verletzten bzw. Getöteten. Ein anderes Kriterium waren z.B. die Fahrzeugdeformationen.

Die Literaturrecherche zeigt, dass der Schwerpunkt der Untersuchungen, auch der die zeitlich nach dem ECBOS-Projekt durchgeführt wurden, hauptsächlich auf die Analyse und die Verbesserung der Crashfestigkeit der Kraftomnibusstrukturen im Zusammenhang mit Fahrzeugüberschlägen gelegt wird. Die seit Jahren und in den jüngsten Studien von vielen Autoren immer wieder geforderte Berücksichtigung der Beladung durch die Businsassen wird ab 2010 eingeführt. Ab diesem Zeitpunkt müssen alle neu zugelassene Kraftomnibusse den gestiegenen Anforderungen der ECE-R 66, die auch in Deutschland gesetzlich verankert ist, entsprechen. Dies ist als Teilerfolg der doch häufig sehr aufwändigen Forschung zu Busunfällen anzusehen. Allerdings sind Doppeldeckerbusse, entgegen den deutlichen Empfehlungen einiger Autoren, von der neuen Regulierung weiterhin ausgenommen.

Obwohl Fahrzeugüberschläge stets mit schweren bzw. tödlichen Verletzungen der Insassen einhergehen, zeigen jüngere Studien eine weitere, nicht zu vernachlässigende Gefahrenquelle: die sogenannten „Non-Collision-Events", also Unfälle mit Businsassen, die nicht durch Zusammenstöße mit anderen Fahrzeugen sondern die im normalen Betrieb durch Anfahren und Bremsen oder beim Ein-und Aussteigen verursacht werden. Die Studien von Kirk et al.[16], Albertsson et al. [17], Halpern et al. [19] sowie Palacio et al.[20] weisen in diesem Zusammenhang nach, dass die Sicherheit von Kraftomnibusinsassen auch durch die Verbesserung der Innenraumgestaltung gesteigert werden kann.

Die Auswertung der statistischen Daten zeigte, dass ein großer Teil der Leicht- und Schwerverletzten innerhalb geschlossener Ortschaften zu verzeichnen sind. Da in der Statistik bei der Anzahl der Verletzten nicht zwischen Unfällen mit anderen Fahrzeugen und Unfällen im normalen Fahrbetrieb unterschieden wird, ist die große Anzahl möglicherweise auch auf die beschriebenen Nicht-Kollisionen zurückzuführen. Hierzu wird die Auswertung der Fallakten der Versicherer im Teilprojekt II weiteren Aufschluss bringen, da bereits aus den Informationen in der polizeilichen Verkehrsunfallanzeige in jedem Fall zu entnehmen sein wird, ob weitere Fahrzeuge an dem Unfall beteiligt waren.

Schwere Kraftomnibusunfälle mit tödlich Verunglückten sind häufig Auslöser für die Diskussion über die Sicherheit von Bussen. Die Statistik zeigt jedoch, dass die absoluten Zahlen sehr klein sind. Sie unterliegen daher auch keinem eindeutigen Trend, da sich ein Einzelfall bei der Betrachtung eines längeren Zeitraums überproportional auswirken würde. Dagegen ist bei den Leichtverletzten ein klar ansteigender Trend in den letzten Jahren zu beobachten. Der Fokus der Auswertung der Dateneingaben aus dem Teilprojekt II dürfte daher auf dieser Gruppe der Verunglückten liegen. Es wird zu prüfen sein, ob sich in den Fallakten der Versicherer der große Anteil an älteren Personen und Frauen wiederfindet, der vor allem in den Studien herausgearbeitet wurde, die auf medizinischen Daten basieren.

4 Definition neuer Merkmale und Merkmalsausprägungen für die Datenbank

Im Rahmen des ersten Teilprojektes musste überprüft werden, ob die Merkmale und Merkmalsausprägungen in der Unfalldatenbank der Versicherer (UDB) die Busunfälle in hinreichender Art beschreiben oder ob und welche neuen Parameter ggf. in die UDB aufgenommen werden sollten.

Um sich diesem Problem zu nähern, wurde zum einen die FAT-Studie [30] und zum anderen das ECBOS-Projekt in Bezug auf die dort erfassten Merkmale ausgewertet. In Form einer Tabelle, die vollständig als Anhang 2 diesem Bericht beigefügt ist, wurden die Parameter nach Gruppen zusammengefasst und einander gegenübergestellt. Die Einteilung der Gruppen erfolgte in Anlehnung an die Eingabefenster in der UDB. Neben Umfeldparametern und allgemeinen Unfalldaten sind technische Daten, u.a. auch die sitzplatzbezogene Ausstattung mit Gurten, aufgenommen worden. Es zeigte sich sehr früh, dass im FAT-Projekt teilweise völlig andere Daten erhoben wurden als im ECBOS-Projekt. Die Ursache liegt in dem unterschiedlichen Datenmaterial der beiden Studien. Insofern war es erforderlich, über den reinen Vergleich hinaus auch die Erfahrungen aus der Dateneingabe einfließen zu lassen. Nur so konnte eingeschätzt werden, ob für bestimmte Merkmale überhaupt ausreichend Informationen zu erwarten sind. In einem ersten Schritt wurden dennoch zunächst die Merkmale aus FAT- und ECBOS-Studie den in der UDB bereits vorhandenen Merkmalen gegenüber gestellt. Abbildung 4-1 zeigt einen Ausschnitt aus der Tabelle des Anhangs 2, die im Ergebnis dieses Vergleichs erarbeitet wurde.

	ECBOS	FAT	EUSKA/ZUF
3 Fahrzeugdaten - Bus			
Merkmal / Merkmalsausprägung			
Nationalität (Registration)		0	
Fahrzeugart			
Hersteller			
Typ	Textfeld		
Reisebus mit Gelenk			0
Hochdecker			0
Superhochdecker mit Unterflurcockpit			0
Kategorie		0	
Baujahr			
technische Mängel			
Links-/Rechtslenker		0	0
Leergewicht (kg)		0	
Geschätzte Masse des Busses inklusive Insassen und Gepäck			0
Fahrzeuglänge (mm)		0	0
Fahrzeugbreite (mm)		0	0
Fahrzeughöhe (mm)		0	0
Türpositionen	0		0
vorne	0		0
mittig	0		0
hinten	0		0
Fahrertür	0		0
sonstige	0		0
Anzahl der Stehplätze			0
Anzahl der Sitzplätze			
Art der Sitze		0	0
Aufpolsterung		0	0
Sicherheitsgurte			
Art der Sicherheitsgurte	Textfeld	0	
Kopfstützen Fahrer-, Beifahrer, Fahrgastsitze	0		0

Abbildung 4-1:
Ausschnitt aus der Tabelle im Anhang 2

Erwartungsgemäß sind Daten zur Zulassung des Busses (Fahrzeugart, Hersteller, Baujahr) in beiden Projekten erfasst worden und als Merkmal in der UDB bereits vorhanden. Während aber in den Projekten die Busse nach Aufbauart unterschieden werden (Reisebus mit Gelenk, Hochdecker, Superhochdecker), fehlten diese Details in der UDB.

Die erste Auswertung von etwa 30 Akten zeigte ferner, dass es erforderlich ist, die Beschädigungen im Frontbereich (Fahrer und Begleiter) und auch im Innenraum näher zu spezifizieren. Die FAT-Studie konnte auf Grund ihres speziellen Datenmaterials (unfallanalytische und Schadengutachten nach schweren Busunfällen) hier Daten liefern. Auch in den bis dato verfügbaren Akten waren teilweise Informationen zu den Beschädigungen im Bus vorhanden. Die Beschädigungen im Bus sind aber auch in Zusammenhang mit den Verletzungen der Insassen zu sehen. Während in der FAT-Studie Verletzungsursachen benannt werden, sind diese im ECBOS-Projekt nicht aufgeführt und auch in der UDB nicht enthalten gewesen. Dagegen war z.B. die Ausrichtung des Sitzes (in / entgegen Fahrtrichtung) als Merkmal im ECBOS-Projekt aufgeführt, in der FAT-Studie aber nicht erwähnt.

Auf diese Weise wurden mehr als 170 Merkmale miteinander verglichen und bewertet. Zusammen mit der Unfallforschung der Versicherer wurde in mehreren Diskussionen eine Prioritätenliste der Merkmale und Merkmalsausprägungen erarbeitet, jeder Parameter wurde gewichtet und benotet. Es wurde festgelegt, ob Einfach- oder Mehrfachnennungen erforderlich bzw. zulässig sind und welche möglichst eindeutigen Begriffe verwendet werden sollten, um die Merkmale zu beschreiben. Die Eingrenzung auf einige Parameter war erforderlich, da zum einen die Anzahl der gewünschten, in die UDB zu übernehmenden Merkmale zu groß war, zum anderen zeigte die Erfahrung bei der Dateneingabe, dass bestimmte Merkmale praktisch fast nie aus den Schadenakten zu entnehmen sind. Es sollte vermieden werden, durch die Übernahme aller wünschenswerten Merkmale in der UDB eine zu große Anzahl von Leerfeldern bzw. „nicht ermittelbaren“ Ausprägungen zu erhalten.

Im Ergebnis der Diskussionen wurden einige Merkmale als unbedingt erforderlich erachtet, so z.B. die Fragen danach, ob der Bus den ECE-Regelungen R 66 und R 80 entspricht, wie die Sitze ausgerichtet sind und ob eine Person gesessen oder gestanden hat. Für andere Daten (z.B. Lage der Beschädigungen, Deformationstiefe) wurde diskutiert, ob sich diese Merkmalsausprägungen in der für eine Auswertung erforderlichen Genauigkeit und Differenzierung nicht durch bereits vorhandene Ausprägungen (z.B. Beschädigungsgrad) beschreiben lassen. Alle Merkmale wurden im Ergebnis der Diskussionen bewertet und gewichtet.

Schließlich wurde die UDB um etwa 30 Merkmale mit fast 70 Merkmalsausprägungen erweitert.

So wurde z.B. ein neues Feld „Bus“ definiert, in dem u.a. die Lage der Fahrgasttüren, aber auch die Abmessungen (Länge, Breite, Höhe) und die Masse eingegeben werden können.

In der neuen Eingangsmaske „Bus“ wird auch erstmals abgefragt, ob der Bus den Anforderungen nach ECE-R 66 und ECE-R 80 entspricht, Abbildung 4-2.

Der Bus lässt sich im Ergebnis des Datenvergleichs wesentlich detaillierter beschreiben. So ist neben der Anzahl der Sitzreihen in Ober- und Unterdeck und der sitzspezifischen Gurtausstattung auch die Abwahl einzelner Sitze möglich. Darüber hinaus kann jeder Sitz einzeln gedreht werden. Praktisch kann man auf diese Weise den Bus in Bezug auf die Sitzplätze genau modellieren, Abbildung 4-3. Dieses Modell ist insbesondere für die Auswertung von Kollisionen hilfreich, da man die Passagiere auf den einzelnen Sitzen den Beschädigungen, Belastungen und Verletzungsmechanismen gegenüberstellen kann.

Für die „Mitfahrer“ wurde z.B. unter den „medizinischen Daten“ neben den bereits vorhandenen Merkmalen „Allgemeine Angaben“ und „Verletzungsschwere“ ein neues Merkmal „Verletzungsursachen“ eingeführt. Dort kann eingegeben werden, welche Fahrzeugteile (Scheibe, Sitz, Haltevorrichtung) die Verletzung verursacht hat und ob

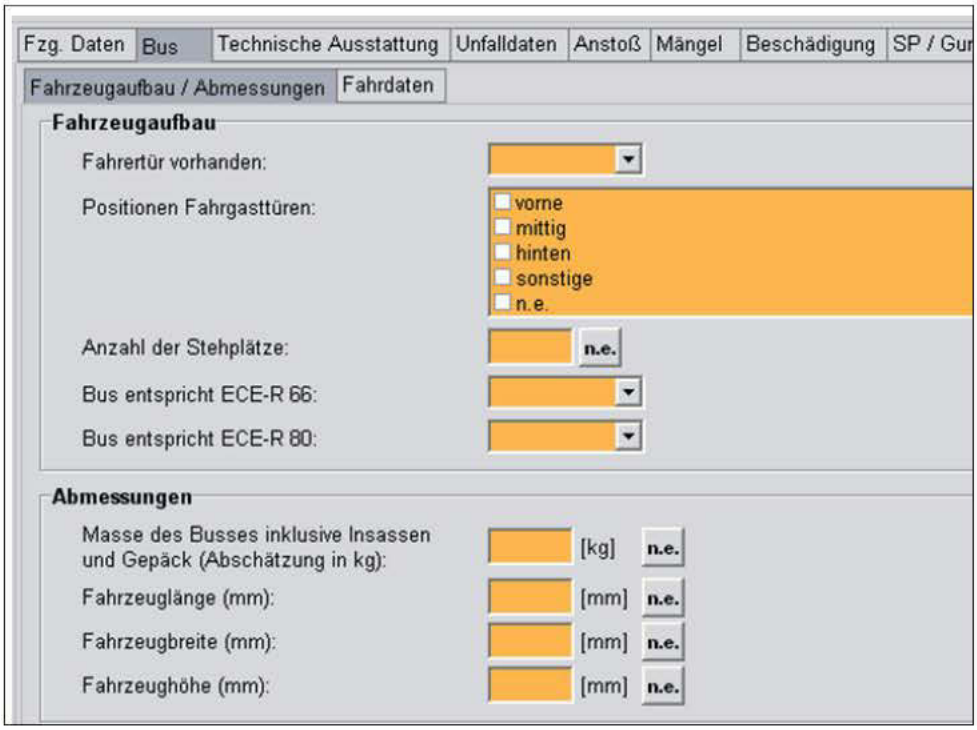


Abbildung 4-2:
Merkmal „Bus“ in der UDB

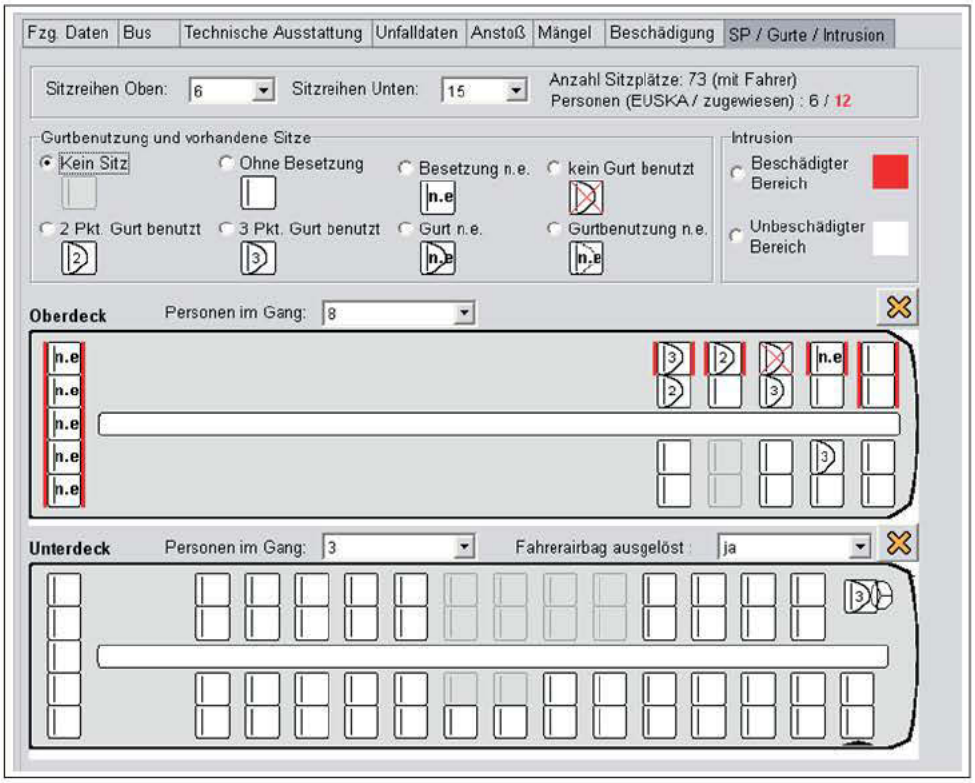


Abbildung 4-3:
Merkmal „SP/Gurte/Intrusion“ in der UDB

der „Mitfahrer“ im Verlauf des Unfall durch den Bus oder ein anderes Fahrzeug überrollt wurde, Abbildung 4-4. Von diesen Daten wird u.a. Aufschluss darüber erwartet, ob bestimmte Einbauten in Bussen besonders häufig verletzungsrelevant sind.

In diesem Zusammenhang ist auf das Problem der „Non-Collision-Events“ hinzuweisen. Nach der Literaturauswertung erschien es wichtig, die stehenden Personen in die UDB aufzunehmen und von den sitzenden zu unterscheiden. Die Merkmalsausprägungen gestatten darüber hinaus, auch die Position des Insassen genauer zu beschreiben, Abbildung 4-5.

Zusammenfassung zu den Merkmalsausprägungen

Auf der Grundlage der Literaturrecherche wurden in Anlehnung an die Projekte ECBOS und FAT etwa 30 neue Merkmale mit fast 70 neuen Merkmalsausprägungen für die UDB erarbeitet. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass die wesentlichen unfallbeschreibenden Parameter in der Datenbank erfasst werden können und damit einer Abfrage mit den entsprechenden Softwaretools zugänglich sind. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf eine hinreichend genaue Abbildung der Lage und Anordnung der Sitze, auf die Sicherheitsausstattungen sowie auf die Positionen und das Verhalten der Insassen gelegt.

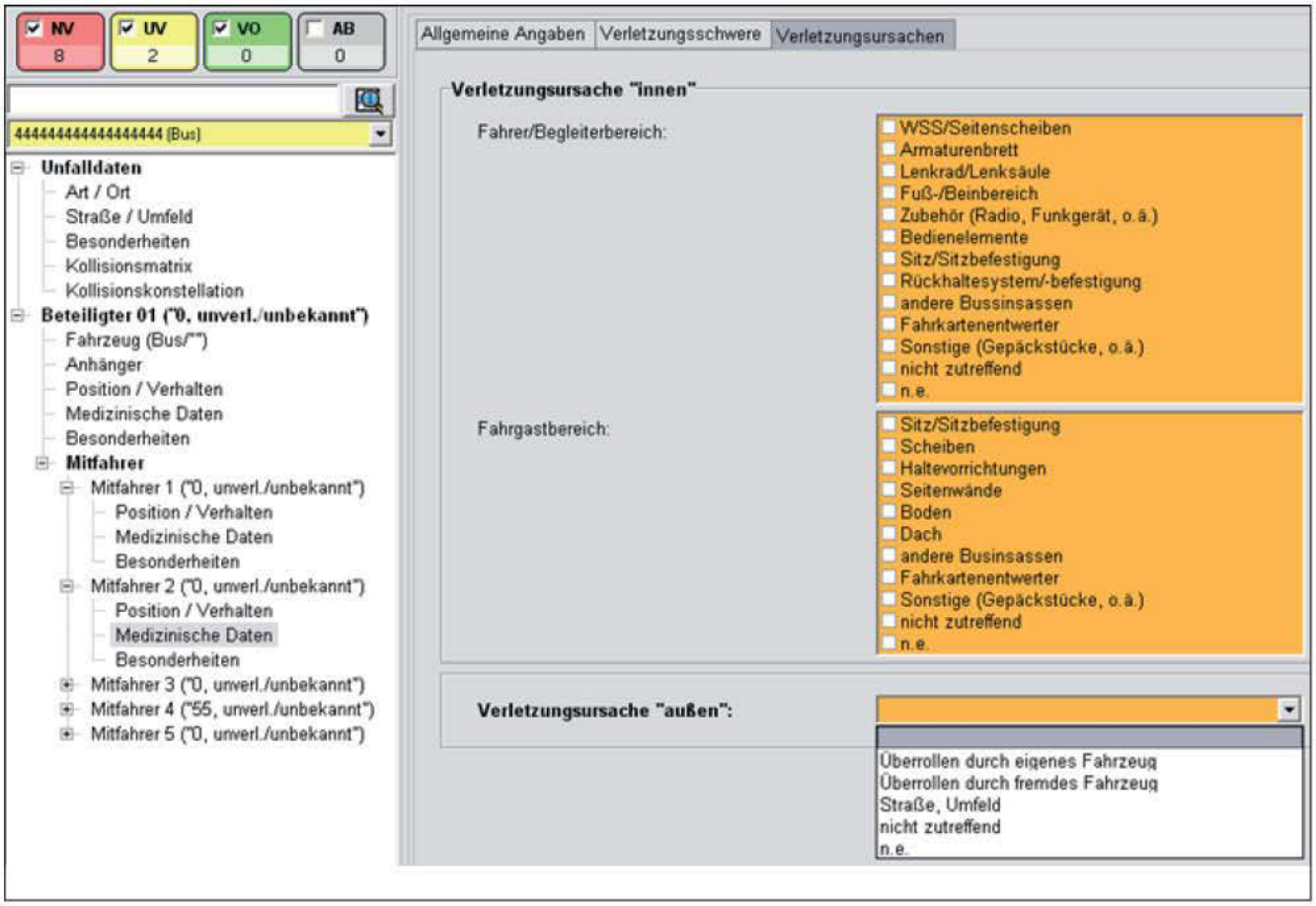


Abbildung 4-4:
Merkmal „Verletzungsursachen“ in der UDB

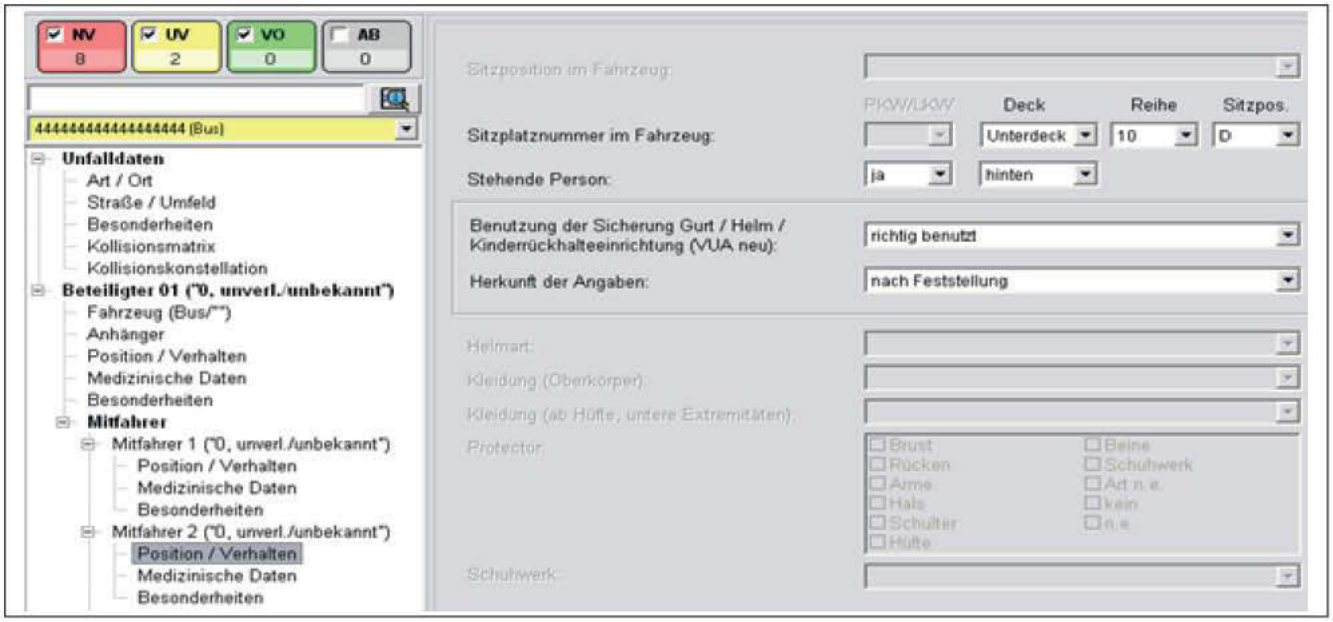


Abbildung 4-5:
Merkmal „Position/Verhalten“ der Businsassen

5 Auswertung des Fallmaterials aus der UDB

5.1 Einleitung

Die Auswertung der amtlichen Kraftomnibusunfallstatistik der vergangenen Jahre im Kapitel 1 hat gezeigt, dass sich die Zahlen der verunglückten Businsassen in einem längeren Zeitraum nur geringfügig änderten. Sowohl bei den leicht- als auch bei den schwerverletzten Businsassen waren keine eindeutigen Trends sinkender Zahlen zu erkennen. Auch die Zahlen der getöteten Businsassen ließen einen eindeutigen Abwärtstrend nicht erkennen. Tabelle 5-1 zeigt noch einmal die Anteile der Kraftomnibusse als Hauptverursacher bei Verkehrsunfällen und Unfälle unter Kraftomnibusbeteiligung im Vergleich zu allen registrierten Verkehrsunfällen aus dem Jahr 2008.

Im Vergleich zu allen anderen Verkehrsbeteiligten ist der Kraftomnibus neben der Bahn hinsichtlich eines Risikovergleiches eines der sichersten Verkehrsmittel. Der Quotient der Getöteten pro einer Milliarde Personenkilometer lag im Jahr 2008 im Kraftomnibusverkehr bei 0,16 [33]. Allerdings stehen schwere Busunfälle, so wie im September 2010 bei Berlin, bei dem 13 Insassen tödlich verletzt wurden, immer wieder im Fokus der Diskussion über die allgemeine Sicherheit von Kraftomnibussen. In Tabelle 5-2 sind die wichtigsten Daten der schwersten Busunfälle des Jahres 2010 zusammengetragen.

Die vorliegende Untersuchung gliedert sich in zwei Teile. Im ersten Teil der Untersuchungen werden Analysen zum allgeneinen Unfallgeschehen unter Kraftomnibusbeteiligung und zur Insassensicherheit durchgeführt. Der zweite Teil widmet sich dem Nutzenpotential aktiver Fahrerassistenzsysteme von Kraftomnibussen.

Tabelle 5-1:
Verteilung der Unfälle mit Kom als Hauptverursacher und unter Kom-Beteiligung 2008 [1, 32]

Unfallfolgen	Kraftomnibus ist				Kom-Unfälle gesamt		Unfälle insgesamt	
	Hauptverursacher		Beteiligter					
	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil
Unfälle mit Personenschaden	2.135	0,7 %	5.216	1,6 %	7.351	2,3 %	**320.614**	**77,1 %**
Unfälle mit Getöteten	19	0,006 %	71	0,022 %	90	0,028 %	**4.117**	**1,0 %**
Unfälle mit Sachschaden	253	0,1 %	824	0,3 %	1.077	0,3 %	**91.144**	**21,9 %**
Gesamt	**2.407**	**0,6 %**	**6.111**	**1,5 %**	**8.518**	**2,0 %**	**415.875**	**100,0 %**

Tabelle 5-2:
Chronik der schwersten Busunfälle 2010

Datum	Bundesland	Unfallort	Getötete Businsassen	Busart
03.02.2010	Sachsen-Anhalt	A 9	3	Reisebus
14.03.2010	Baden-Württemberg	A 8	2	Reisebus
13.06.2010	Nordrhein-Westfalen	bei Lohmar	1	Reisebus
18.07.2010	Nordrhein-Westfalen	bei Moers	1	Reisebus
26.09.2010	Brandenburg	A 10	13	Reisebus
11.11.2010	Niedersachsen	A 28	1	Reisebus
15.12.2010	Bayern	Miltenberg	2	Linienbus

5.2 Datengrundlage

Zum Zwecke der Unfallforschung existiert bei der Unfallforschung der Versicherer (UDV) eine Unfall-Datenbank (UDB), die einen repräsentativen Ausschnitt aus dem Datenbestand aller dem GDV angeschlossenen Versicherungsunternehmen abbildet. Basis der UDB sind die Inhalte der Schadenakten der Versicherer. Dabei übersteigt die Informationstiefe der UDB die der Bundesstatistik [2] deutlich. Sie ist vergleichbar mit GIDAS, allerdings ist die Aussagefähigkeit einiger UDB-Merkmale eingeschränkt, da keine Analyse des Unfalls vor Ort durchgeführt wird. Für die Auswertungen wurden ausschließlich Kraftomnibus-Haftpflicht-Schadenfälle mit Personenschaden und mindestens 15.000€ Schadenaufwand berücksichtigt. Fälle mit nur Sachschaden sowie Unfälle mit Personenschaden und einem Schadenaufwand <15.000€ sind in der UDB nicht enthalten. Im Rahmen des vorliegenden Projekts werden ausschließlich Unfälle mit Personenschaden analysiert. Reine Sachschäden werden bei den Analysen nicht berücksichtigt .

5.3 Unfallstruktur bei Kraftomnibusunfällen mit Personenschaden

Der Datenbestand der UDB umfasste insgesamt 213 Unfälle unter Kraftomnibusbeteiligung. Anders als die amtliche Statistik waren in diesem Datenbestand neben den Verunglückten aus Unfällen mit anderen Verkehrsteilnehmern bzw. aus Kollisionen mit Hindernissen auch Ereignisse enthalten, bei denen Verletzungen von Businsassen verzeichnet wurden, ohne dass es zuvor zu einer Kollision kam. Der Gesamtbestand von 213 Fällen teilte sich zunächst in 153 (72 %) Unfälle mit Kollision und 49 (23%) ohne Kollision („Non-crash-events“) auf. In 11 (5 %) Fällen kam es zwar zu einem Konflikt zwischen einem Kraftomnibus und einem anderen Verkehrsteilnehmer, jedoch nicht zu einer Kollision zwischen den Beteiligten.

Für die allgemeine Betrachtung der Unfallumstände in Anhängigkeit von äußeren Gegebenheiten (Lichtverhältnisse, Ortslage, Unfallhergang bzw. -typ usw.) bleiben die 49 Fälle ohne vorausgehenden Kollisionen mit anderen Verkehrsteilnehmern unberücksichtigt. Zwar weist diese Unfallkategorie eine nicht zu vernachlässigende Gefahrenquelle auf, jedoch sind die „Non-crash-events“ nur in minimalem Maße bzw. gar nicht von äußeren Faktoren abhängig. Ferner sind bei einer Berücksichtigung der „Non-crash-events“ Verzerrungen des Gesamtunfallgeschehens unter Kraftomnibusbeteiligung zu erwarten. So geschahen beispielsweise, ohne es vorwegzunehmen, annähernd 80 % der „Non-Crash-Events“ innerhalb geschlossener Ortschaften bei Tageslicht.

Im Allgemeinen können Kraftomnibusse hinsichtlich ihrer Nutzung in die drei Gruppen Linien-, Reise- und Schulbusse unterteilt werden. Die Unterteilung erfolgte nach der von den Versicherern verwendeten Wagniskennziffer. Es ist anzumerken, dass die drei Gruppen häufig auch bau- bzw. einsatzartübergreifend Verwendung finden können. So können beispielsweise Reisebusse (im Sinne der Bauart) durchaus auch als Schul- oder Linienbus eingesetzt werden. Darüber hinaus finden Linienbusse sehr häufig Verwendung als Schulbusse. Die Anteile der unterschiedlichen Kraftomnibusarten im Datenbestand ist in Abbildung 5-1 zu sehen. Linienbusse waren mit ca. 50%

Linienbusse: 49,4 %

Reisebusse: 40 %

Schulbusse: 7,5 %

Abbildung 5-1:
Anteil der verschiedenen Kraftomnibusarten (n = 160 ≙ 100%) mit Beispielabbildung [44, 45, 46]

am häufigsten vertreten, gefolgt von Reisebussen mit einem Anteil von 40%. Schulbusse waren mit etwa 7% nur gering vorhanden. Bei ca. 3% des Fallmaterials war die Bestimmung der Kraftomnibusart nicht möglich.

Abbildung 5-2 zeigt die Verteilung des Alters der Kraftomnibusfahrer, die mit einem Anteil von 89 % männlich waren Die Unterteilung erfolgte in fünf Altersklassen. Das Durchschnittsalter lag bei ca. 47,5 Jahren. Die Gruppe der 45-54 Jährigen war mit etwa 1/3 am häufigsten vertreten, gefolgt von den 35-44 und 55-64 Jährigen.

Eine Übersicht der Häufigkeitsverteilung der Kraftomnibusunfälle hinsichtlich der Differenzierung des Kollisionsgegners zeigt Abbildung 5-3. Die mit 52 % am häufigsten vertretene Gruppe bildeten Kraftomnibus-Pkw-Unfälle, gefolgt von Kraftomnibus-Fußgänger- (17 %) und Kraftomnibus-Lkw-Unfällen (11 %).

Betrachtet man die Gruppe der VRU[11] (Fußgänger, Radfahrer und motorisierte Zweiradfahrer) zusammen, so stellte diese Gruppe immerhin etwa einen Anteil von 1/3.

Für die Gruppen der Kraftomnibus-Pkw-, Kraftomnibus-Lkw-Unfälle und Kraftomnibusalleinunfälle zeigt Tabelle 5-3 die Verteilung der Anstoßbereiche am Kraftomnibus bzw. am Kollisionsgegner. Sowohl bei den Unfällen zwischen Kraftomnibus und Kraftomnibus sowie sonstigen Verkehrsteilnehmern waren die Fallzahlen zu gering, um aussagekräftige Vergleiche anzustellen. Im unteren Teil der Tabelle sind die Anteile der Anstoßbereiche zwischen Fußgängern, Rad- und motorisierten Zweiradfahrerm aufgelistet. Abweichend von den insgesamt 80 Kraftomnibus-Pkw-Unfällen wurden nur 79 Fälle für die anteiligen Berechnungen herangezogen, da in einem Fall der Anstoßbereich am Kraftomnibus nicht bekannt war. Die prozentualen Angaben beziehen sich jeweils auf 79 Unfälle zwischen Kraftomnibus und Pkw, 17 Unfälle zwischen Kraftomnibus und Lkw sowie auf 10 Alleinunfälle und 42 Kom-Unfälle mit ungeschützten Verkehrsteilnehmern (VRU). Weiterführende Unterteilungen nach Überdeckungsgrad und der Anstoßseite am Kraftomnibus, Pkw und Lkw bzw. Bewegungsrichtungen von Radfahrern und Fußgängern wurden nicht vorgenommen.

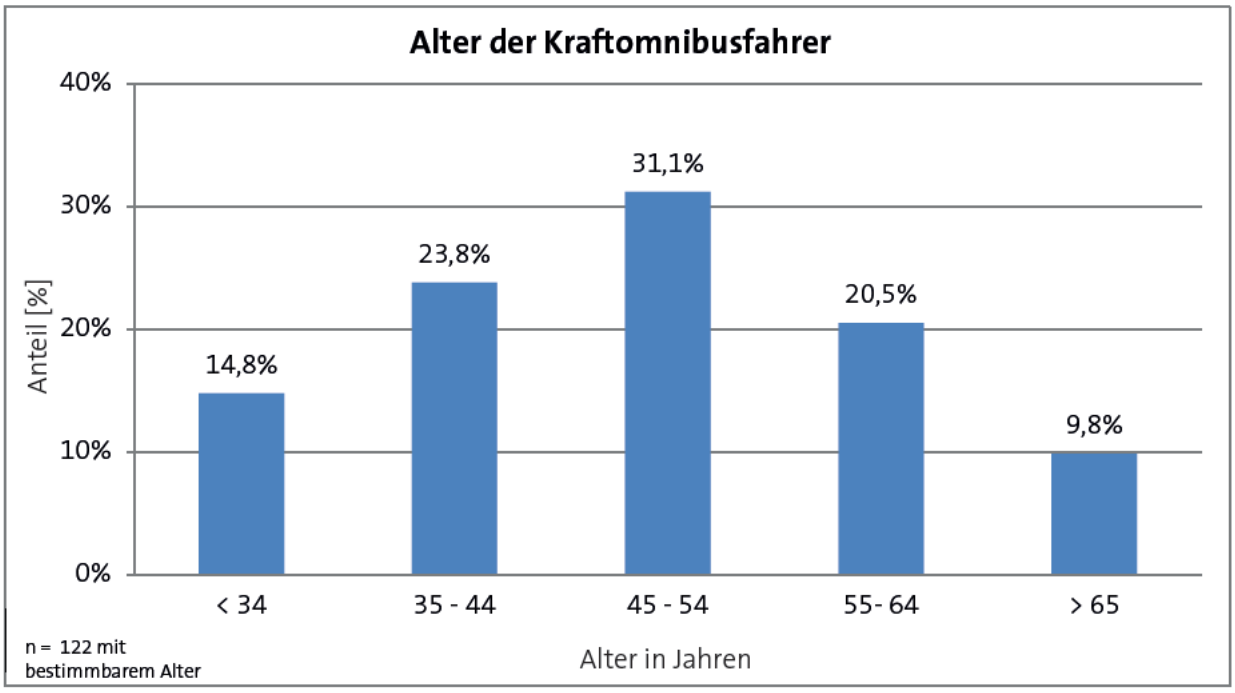


Abbildung 5-2:
Fahreralter

11 VRU: Vulnerable Road User – ungeschützter Verkehrsteilnehmer

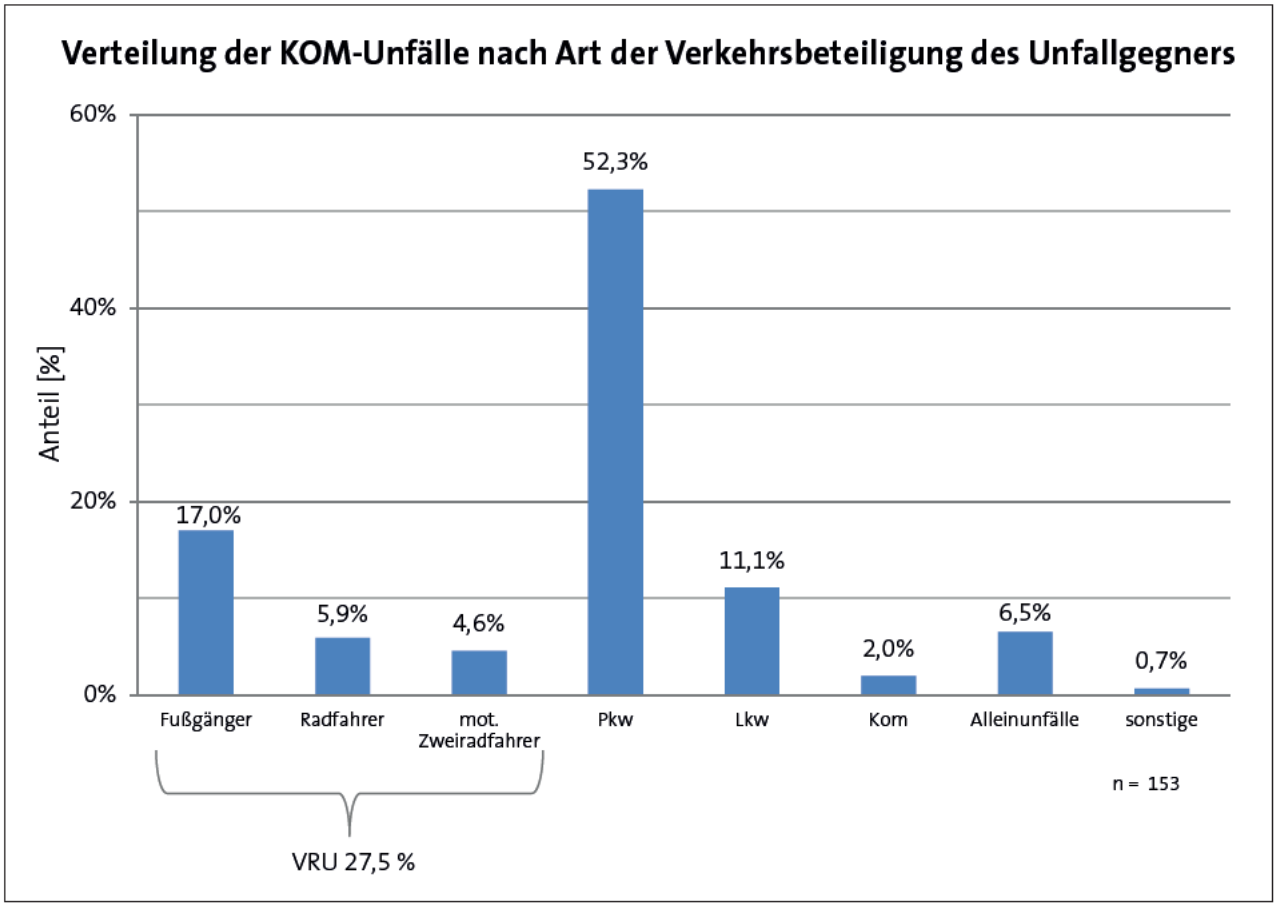


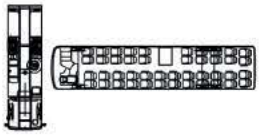
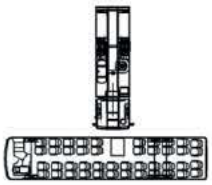
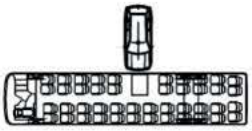
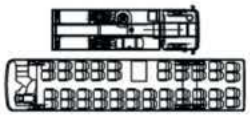
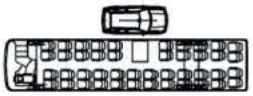
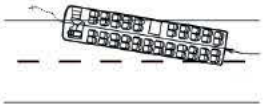
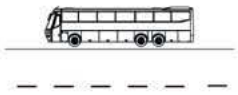
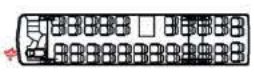
Abbildung 5-3:
Anteil der KOM-Unfälle nach Art der Verkehrsbeteiligung des Unfallgegners

Im Folgenden wird bei den Beschreibungen der Anstoßkonstellationen zuerst die Anstoßstelle am Kraftomnibus und als zweites jene am Kollisisonsgegner genannt. Bei 38% der Kraftomnibus-Pkw-Unfälle war es zu einem Auffahren des Kraftomnibusses auf das Heck des Pkw gekommen. Den zweitgrößten Anteil, mit immerhin etwas mehr als 1/5, bildeten Front-Front-Zusammenstöße zwischen Pkw und Kraftomnibus. Zum etwa gleichen Anteil waren Seiten-Front- (ca. 14%) bzw. Front-Seiten-Anstöße (ca. 11%) zu verzeichnen. Wie Tabelle 5-3 weiterhin zeigt, kam es im Gegensatz zu den Kraftomnibus-Pkw-Unfällen bei den Kraftomnibus-Lkw-Unfällen mit ca. 30% am häufigsten zu Heck-Front-Kollisionen. Eine ähnliche Häufigkeit ließ sich bei den Front-Heck-Kollisionen (23,5%) feststellen. Mit jeweils ca. 12% kam es zu Front-Seite- und Seite-Seite-Anstößen zwischen Kraftomnibus und Lkw. Kraftomnibusalleinunfälle stellten im Datenpool mit 10 Fällen nur einen geringen Anteil am Gesamtunfallgeschehen.

Abbildung 5-4 stellt die Lichtverhältnisse der Lage des Unfallortes (oben) bzw. der Verletzungsart (unten) gegenüber. Annähernd 75% der Kraftomnibusunfälle mit Kollisionen ereigneten sich bei Tageslicht, Abbildung 5-4 oben. Dabei lag der Anteil der Innerortsunfälle um das ca. 1,5 fache über dem Anteil der Außerortsunfälle. Die Grafik zeigt weiterhin, dass das Auftreten von Außer- und Innerortsunfällen bei Dunkelheit und Dämmerung ungefähr gleich hoch ist.

Der Anteil der Leicht- und Schwerverletzten liegt bei Tageslicht überdurchschnittlich hoch.

Tabelle 5-3:
Verteilung der Anstoßbereiche am Kraftomnibus bei Pkw-, Lkw-, Allein- und VRU-Unfällen

KOM - Lkw-Unfälle nach Anstoßbereich (n = 17)		Anteil	KOM - Pkw-Unfälle nach Anstoßbereich (n = 79)		Anteil
Front -Front		**17,6%**	**Front -Front**		**21,5%**
Front - Seite		**11,8%**	**Front - Seite**		**11,4%**
Front -Heck		**23,5%**	**Front -Heck**		**38%**
Seite -Front		**5,9%**	**Seite -Front**		**13,9%**
Heck - Front		**29,4%**	**Heck - Front**		**10,1%**
Seite - Seite		**11,8%**	**Seite - Seite**		**5,1%**
Alleinunfälle (n = 10)					
		Anteil			**Anteil**
Abkommen von der Straße mit Aufprall auf ein Hindernis		**40%**	**Umkippen**		**60%**
VRU (n = 42)					
	KOM - FG-Unfälle nach Anstoßbereich	**Anteil**		KOM – Rf/ mot. Zw-Unfälle nach Anstoßbereich	**Anteil**
Front		**26,2%**	**Front - Seite** **Front – Front** **Front - Heck**		**16,7%**
Seite		**35,7%**	**Seite – Seite** **Front - Heck**		**21,4%**

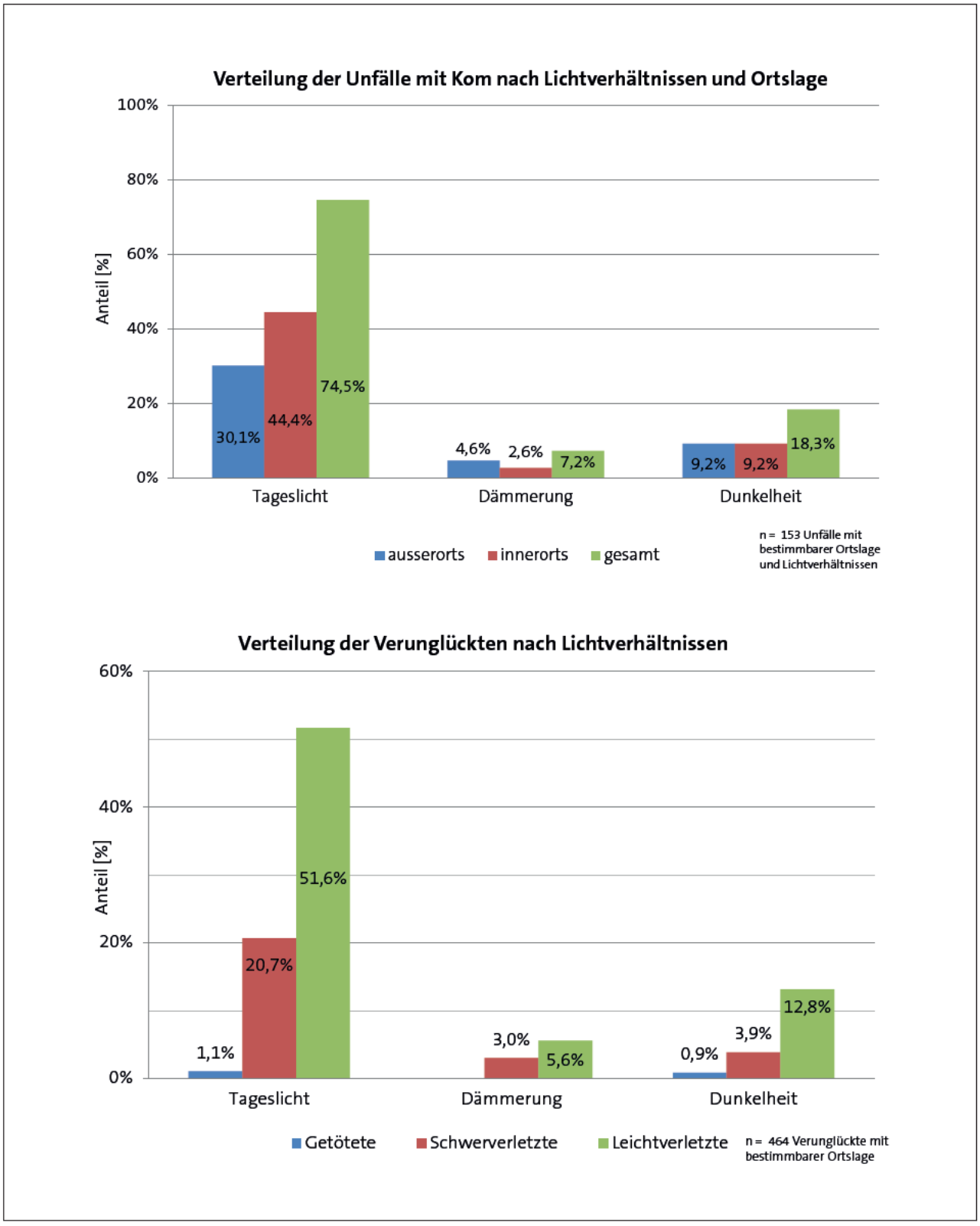


Abbildung 5-4:
Verteilung der Kom-Unfälle nach Lichtverhältnissen, Ortslage und Verletzungsart

Dagegen unterscheiden sich die prozentualen Anteile der Getöteten im Hinblick auf die Lichtverhältnisse nur gering, Abbildung 5-4 unten.

Die unfallursächliche Konfliktsituation kann zunächst durch den Unfalltyp beschrieben werden, Abbildung 5-5. Wie anhand der Abbildung erkennbar ist, stellten Unfälle im Längsverkehr mit ca. 1/3 den größten Anteil, gefolgt von den Abbiege-, Fahr- und Einbiegen/Kreuzen-Unfällen mit je einem Anteil von etwa 18 %. Innerhalb des Unfalls im Längsverkehr war die Kollision mit einem vorausfahrenden oder im Stau stehenden Fahrzeug (Unfalltyp 601 bis 614) mit ca. 55 % der häufigste Unfalltyp. Etwa 20 % der Längsverkehrsunfälle wurden durch unachtsame Spurwechsel nach links bzw. rechts verursacht.

Ergänzend zu den einzelnen Unfalltypen sind in Abbildung 5-6 die Anteile der Charakteristiken der Unfallstellen aufgelistet. Der Abbildung ist zu entnehmen, dass es gleich oft zu Unfällen im Einmündungs- und Kreuzungsbereich (31 %) gekommen ist, gefolgt von Unfällen in Kurven (22 %). Diese Unfallstellen lassen sich, bezogen auf alle Unfälle, durchaus mit dem besonders häufig auftretenden Längsverkehrsunfällen bzw. den Fahr- und Einbiegen/Kreuzen-Unfällen in Einklang bringen.

Analysiert man ausschließlich Kraftomnibusunfälle mit schwerverletzten und/oder getöteten Verkehrsteilnehmern (schwere Unfälle), so zeigt sich, dass der größte Anteil an Schwerverletzten bei den Pkw-Insassen (ca. 30 %) zu finden war, Abbildung 5-7. Im Hinblick auf alle Schwerverletzten bildeten mit einem Anteil von ca. 23 % schwerverletzte Businsassen aus Unfällen mit Lkw (23 %) die zweitgrößte Gruppe, gefolgt von schwerverletzten Fußgängern (17 %) und Insassen aus Kraftomnibusalleinunfällen (9 %). Insgesamt waren 9 getötete Verkehrsteilneh-

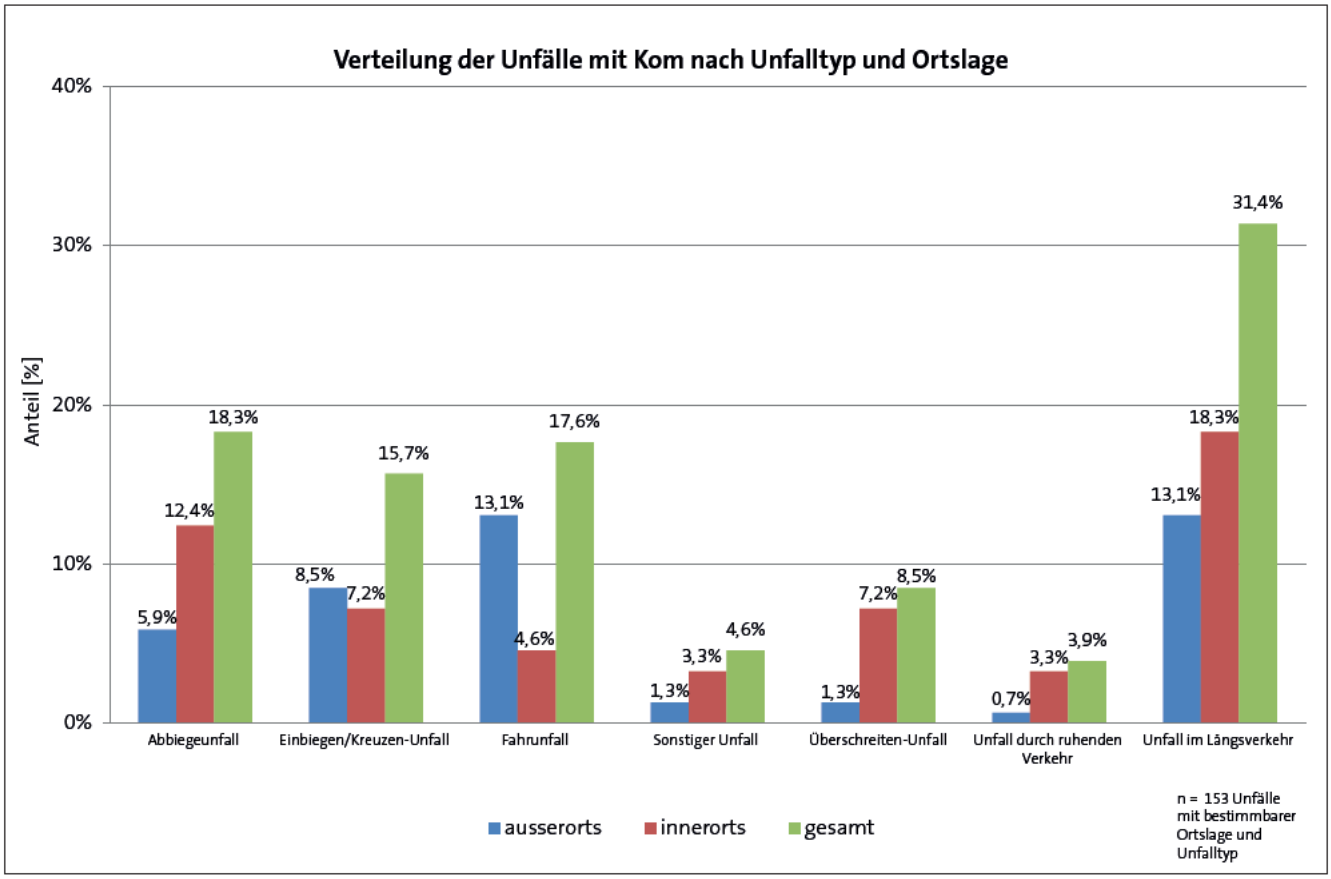


Abbildung 5-5:
Verteilung der Kom-Unfälle nach Ortslage und Unfalltyp

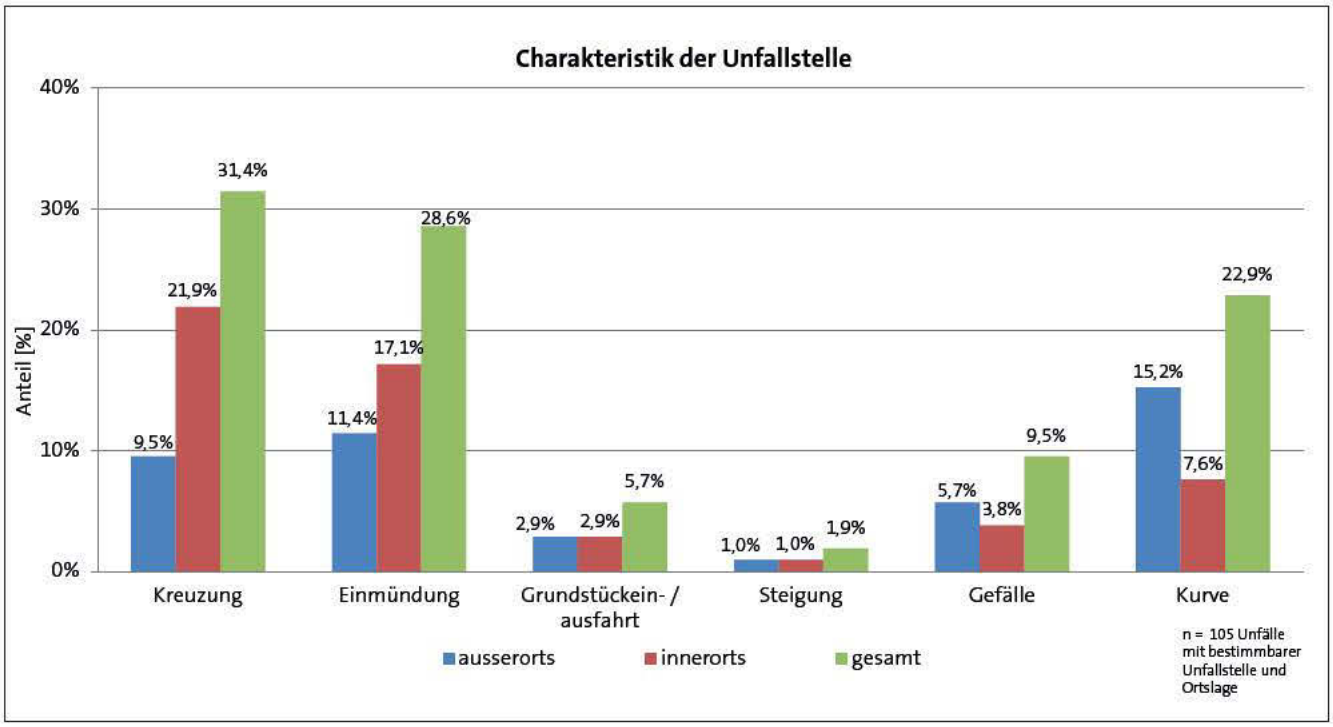


Abbildung 5-6:
Charakteristik der Unfallstelle

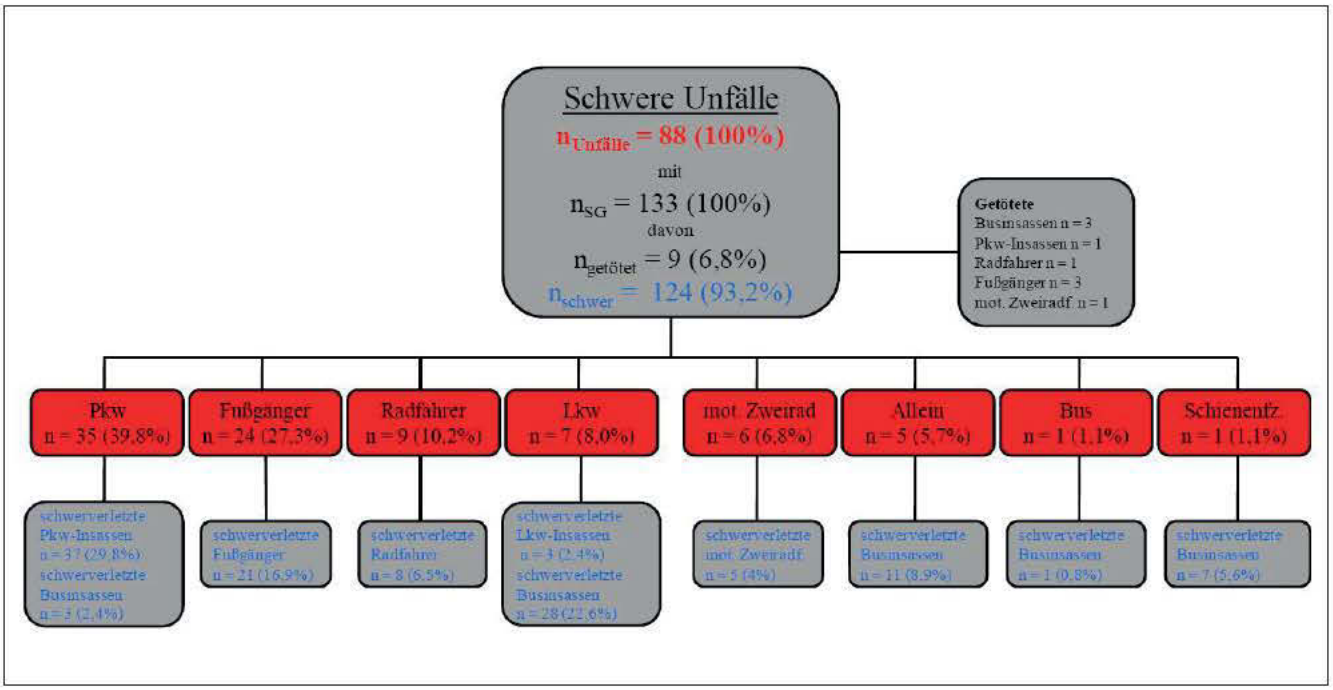


Abbildung 5-7:
Verteilung der Getöteten und Schwerverletzten bei schweren Unfällen mit Kom-Beteiligung

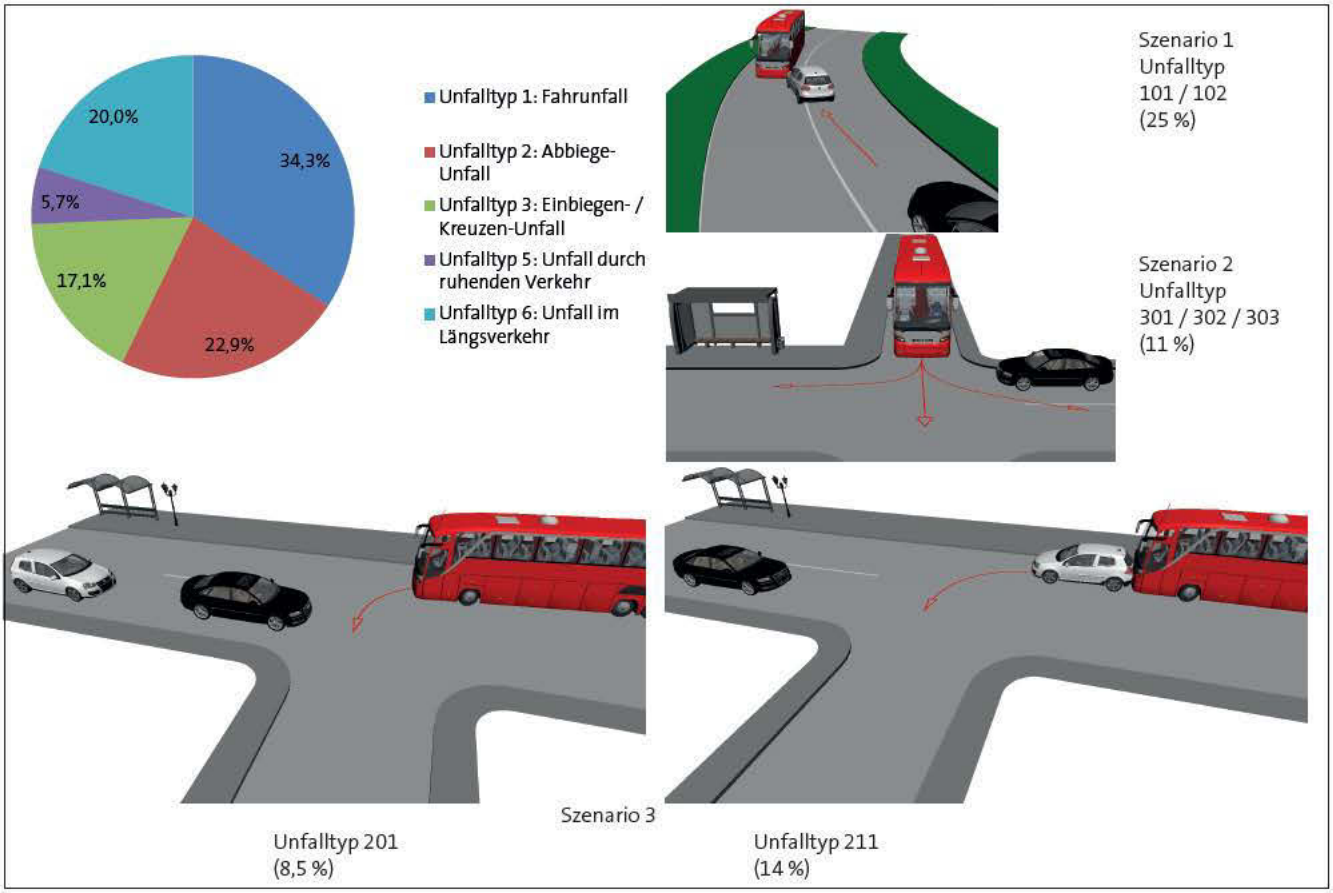


Abbildung 5-8:
Szenarien bei schweren Unfällen zwischen Kraftomnibussen und Pkw (n=35 → 100%)

mer im Datenbestand verzeichnet, davon 3 Businsassen. Ferner wurden 3 Fußgänger und jeweils 1 motorisierter Zweirad- und Fahrradfahrer sowie ein Pkw-Fahrer bei Unfällen mit Kraftomnibusbeteiligung getötet.

Bei den schweren Unfällen zwischen Kraftomnibussen und Pkw (n = 35 → 100 %) waren Fahrunfälle (Szenario 1; Unfalltyp 101 bzw. 102; 25 %), bei dem einer der Beteiligten auf die Gegenfahrbahn kam und dies unfallursächlich war, am häufigsten vertreten. Neben den Fahrunfällen waren Einbiege-/ Kreuzen-Unfälle (Szenario 2; Unfalltyp 301/ 302 bzw.303; 11,5 %), bei denen der Konflikt durch einen einbiegenden oder kreuzenden Wartepflichtigen ausgelöst wurde, vermehrt zu verzeichnen. Abbiege-Unfälle (Szenario 3; Unfalltyp 211) waren mit insgesamt 14 % vertreten. Bei Unfallszenario 1 war der Kraftomnibusfahrer in 33 %, bei Unfallszenario 2 in 50 % der Hauptverursacher.

Für die schweren Unfälle zwischen Fußgängern und Kraftomnibussen lassen sich die Szenarien analysieren, wie sie in Abbildung 5-9 dargestellt sind. Etwa 30 % der getöteten und/oder schwerverletzten Fußgänger wurden bei Kollisionen auf freier Strecke bzw. nach Knotenpunkt vom Kraftomnibus erfasst. Beim Links- bzw. Rechtsabbiegen (Unfalltyp 222 bzw. 282 und Unfalltyp 241, 242, 284) erlitten 25 % der geschädigten Fußgänger schwere Verletzungen.

5.4 Schadenaufwand

Im Folgenden wird der durchschnittliche Schadenaufwand der einzelnen Unfallkategorien (Kom-Unfälle mit Konflikten mit zweispurigen motorisierten VT, VRU, Alleinunfälle sowie Non-Crash-Events) betrachtet. Für die hier betrachteten Fälle wurde eine Einteilung in zwei Schadengruppen (15.000 – 29.999 € und > 30.000 €) voll-

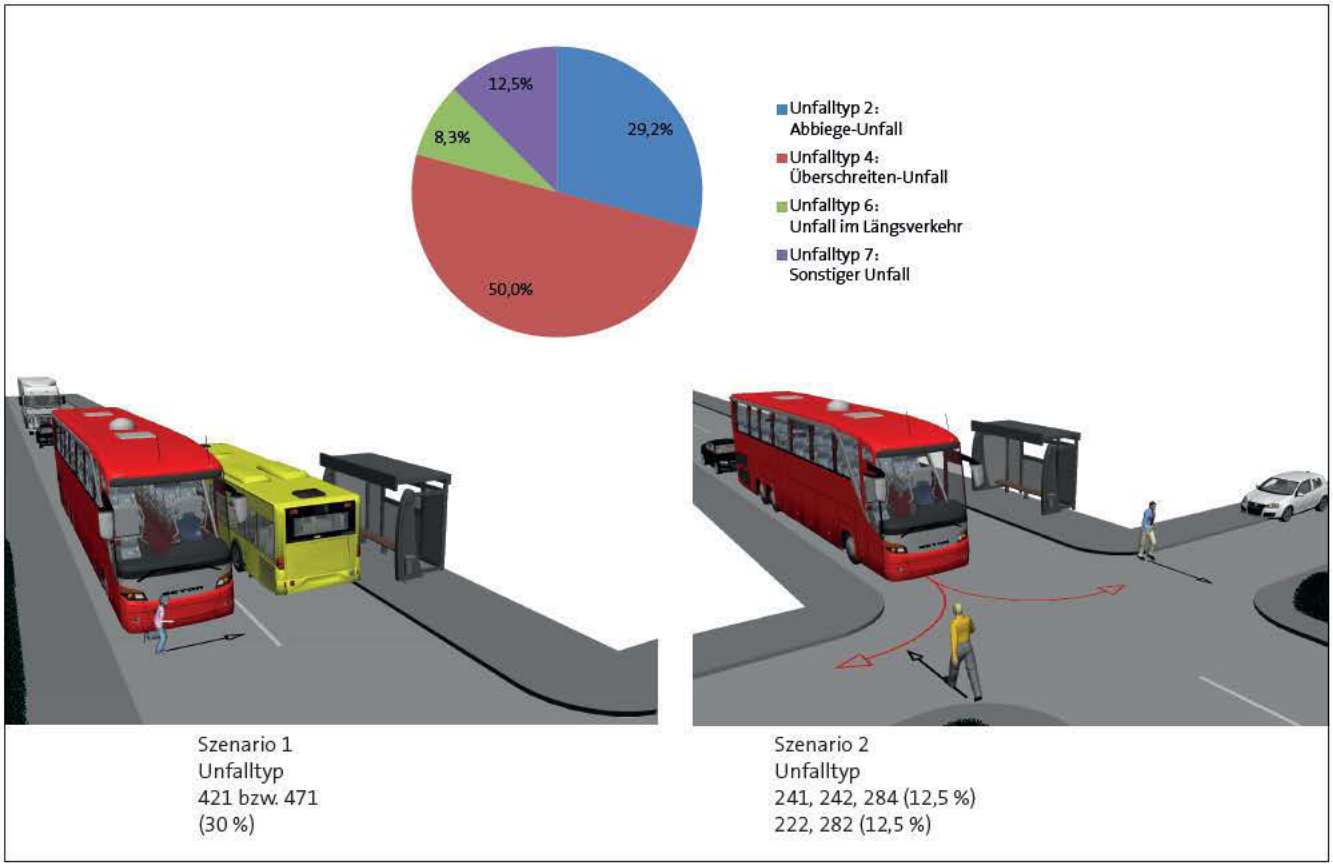
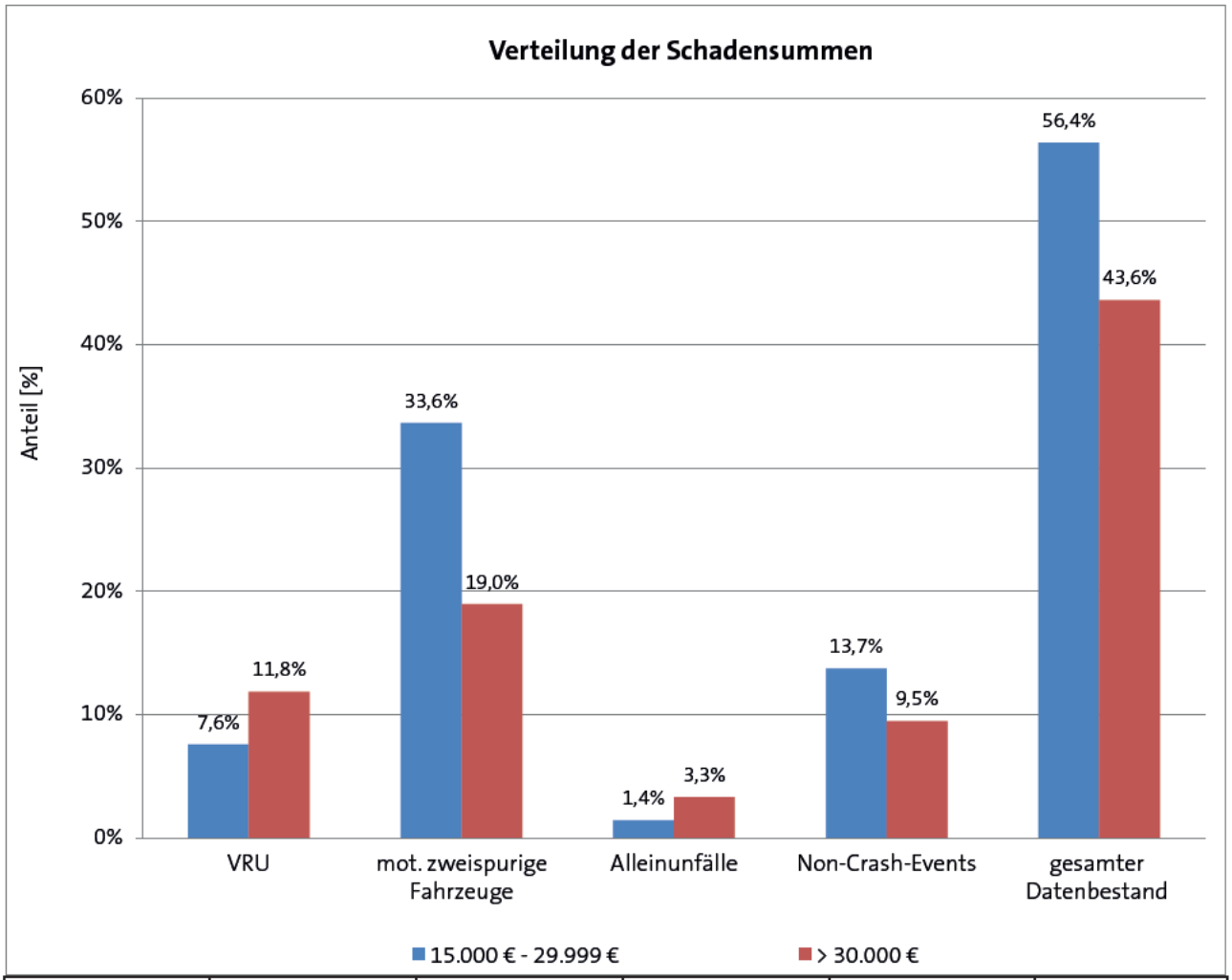


Abbildung 5-9:
Szenarien bei schweren Unfällen zwischen Kraftomnibussen und FG (n=24 → 100%)

zogen, Abbildung 5-10 oben. Bei knapp mehr als der Hälfte aller Unfälle lag die Schadensumme zwischen 15.000 und 29.999 € Euro.

Der durchschnittliche Schadenaufwand betrug ca. 66.000 €. Die maximale Schadensumme betrug etwa 819.000 € (Kollision zw. Kom und Schienenfahrzeug), die minimale etwa 15.000 € (Kom-Fußgängerunfall). Entsprechend der Tabelle in Abbildung 5-10 war die größte mittlere Schadensumme bei Unfällen mit VRU sowie bei den Alleinunfällen zu finden. Durchschnittlich betrug der Schadenaufwand bei den „Non-crash-events" etwa 60.000 € und war damit genau so hoch wie die durchschnittliche Schadensumme der „Crash-events" mit motorisierten zweispurigen Fahrzeugen.



	VRU [€]	mot. zweispurige Fahrzeuge [€]	Alleinunfälle [€]	Non-Crash-Events [€]	gesamter Datenbestand [€]
Mittelwert	90.248	59.324	89.086	59.911	66.880
Maximalwert	386.543	818.728	219.859	777.772	818.728
oberes Quartil	110.429	47.317,50	144.590,50	59.760	78.919,50
Median	60.638	24.934	44.064	24.104	27.240
unteres Quartil	22.280	19.184	29.360	21.791	20.334
Minimalwert	15.300	15.081	21.726	16.344	15.081

Abbildung 5-10:
Verteilung der Schadensummen und durchschnittliche Schadensummen der verschiedenen Unfallgegner

6 Untersuchungen zur Insassensicherheit

Den Untersuchungen zur Insassensicherheit standen aus dem Gesamtbestand der Datenbank des UDV (n = 213) insgesamt 160 Kraftomnibusunfälle (75%) mit 164 beteiligten Kraftomnibussen zur Verfügung. Das einbezogene Fallmaterial stammte zum größten Teil aus den Jahren 2005 – 2007. Aufgrund der guten Datengrundlage bzw. Datenerfassung wurden zusätzlich Einzelfälle aus den Jahren 2001 bis 2004 in die Betrachtungen einbezogen, die jedoch mit < 7% nur einen geringen Anteil am gesamten Fallmaterial bildeten. Kollisionen zwischen Kraftomnibussen und motorisierten bzw. nicht motorisierten einspurigen Fahrzeugen sowie Fußgängern wurden bei den folgenden Betrachtung hinsichtlich der Insassensicherheit von Kraftomnibussen nicht einbezogen, da lediglich drei Businsassen bei Kollisionen mit VRU leicht verletzt wurden. Bezüglich der Verletzungsschwere der Unfallbeteiligten wurden ausschließlich die Verletzungen der Businsassen ausgewertet, Verletzungen der Kollisionsgegner (Pkw-Insassen, Lkw-Insassen) wurden nicht berücksichtigt. Das Durchschnittsalter der Kraftomnibusse, bei denen das Jahr der Erstzulassung bekannt war (n =140), lag zum Unfallzeitpunkt bei etwa 8,2 Jahren. Ferner wurde gut die Hälfte der Kraftomnibusse vor dem Jahr 2000 und damit vor der Einführung der Gurtanlegepflicht in Kraftomnibussen erstmalig zugelassen.

Wie bereits beschrieben, müssen bei der Analyse des vorliegenden Datenmaterials zunächst zwei große Gruppen der Unfallszenarien unterschieden werden. Die erste und mit mehr als 2/3 am häufigsten vertretene Gruppe des Datenbestands bilden Unfälle, bei denen es zu einer Kollision mit einem zweispurigen Fahrzeug bzw. einem Hindernis neben der Fahrbahn kam. Die zweite Gruppe wird mit ca. 1/3 durch die sogenannten „Non-crash-events“ gestellt, bei denen es zwar zu einer Verletzung von Businsassen jedoch ohne eine vorausgehende Kollision mit anderen Verkehrsteilnehmern (Pkw, Lkw usw.) kam, Abbildung 6-1. Bei diesem Unfallszenario handelte es sich stets um umstürzende Businsassen aufgrund eingeleiteter fahrdynamischer Vorgänge (Brems-, Beschleunigungsvorgänge sowie Kurvenfahrten) bzw. um zu Fall kommende Insassen beim Ein- und Aussteigen aus dem Kraftomnibus (Kom). Bei den folgenden Auswertungen wird zuerst auf Kollisionen von Kraftomnibussen mit anderen Verkehrsteilnehmern eingegangen. Im zweiten Teil werden dann die Unfälle ohne Kollision („Non-crash-events“) näher beleuchtet.

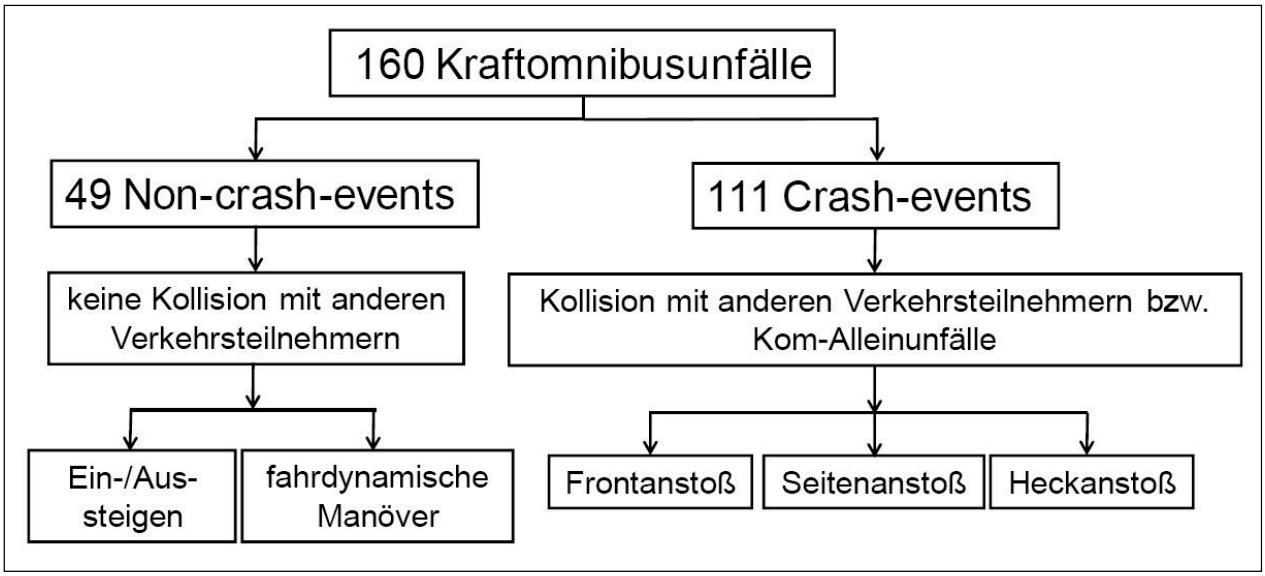


Abbildung 6-1:
Verteilung der Kraftomnibusunfälle im Datenbestand

Tabelle 6-1:
Vergleich der Quotienten der Getöteten, Leicht- und Schwerverletzten des UDV-Datenbestands und der amtlichen Statistik aus den Jahren 2005 – 2007 [2]

verletzte Businsassen	leichtverletzt		schwerverletzt		getötet		Verunglückte
	Anzahl	Quotient	Anzahl	Quotient	Anzahl	Quotient	Anzahl
Datenbank	232	0,814	50	0,175	3	0,011	285
Statistik	14.608	0,921	1.205	0,076	47	0,003	15.860

An dieser Stelle soll angemerkt werden, dass ein Vergleich des vorliegenden Datenbestands mit der amtlichen Statistik [2] nur sehr schwer durchzuführen ist. Zum einen unterscheiden sich die Definitionen der Kraftomnibusse in der amtlichen Statistik von jenen in der Datenbank. Sind in der Datenbank die Definitionskriterien Reise-, Linien- und Schulbus vermerkt, so sind in der amtlichen Statistik zusätzlich Oberleitungsbusse und sonstige Kraftomnibusse aufgeführt. Zum anderen sind aufgrund der Erfassungskriterien für die Datenbank die Quotienten der schwerverletzten und getöteten Businsassen bezogen auf alle Verunglückten deutlich höher als die der Bundesstatistik. Dies ist unter anderem auf den Ausschluss der Verkehrsunfälle mit ungeschützten Verkehrsteilnehmern (Fußgänger, Fahrradfahrer und Motorradfahrer), bei denen durchaus mit verletzten Businsassen zu rechnen ist, wenngleich die Verletzungsschwere eher gering ausfallen dürfte, zurückzuführen. Ferner findet in der amtlichen Statistik keine Unterscheidung der Verletzungsart der Businsassen im Hinblick auf die Art der Verkehrsbeteiligung des Unfallgegners statt, so wie sie in der Studie vorgenommen wird. Damit bildet das vorliegende Datenmaterial eine bessere Grundlage für die Bewertungsmöglichkeit der Verletzungsrisiken von Businsassen als die amtliche Statistik.

Anzumerken ist, dass die Datenbank der UDV nicht alle schweren Busunfälle, die im beschriebenen Zeitraum auf innerdeutschen Straßen geschahen, enthält. Zum einen kommt es immer wieder zu Unfällen mit ausländischen Fahrzeugen, die nicht in den Schadenakten aller dem GDV angeschlossenen Versicherungsunternehmen enthalten sind. Zum anderen sind die Verkehrsbetriebe, also die Betreiber des öffentlichen Personennahverkehrs, oft Eigenversicherer, bei denen das Unternehmen selbst Sach- und Personenschäden reguliert.

6.1 Crash-events

Wie die Literaturrecherche und die statistischen Auswertungen des Unfallgeschehens von Kraftomnibussen in den Kapiteln 1 bis 3 bereits aufgezeigt haben, ist das Risiko, als Businsasse verletzt zu werden, sehr gering. Der Quotient der Getöteten pro einer Milliarde Personenkilometer lag im Jahr 2008 im Kraftomnibusverkehr bei 0,16 [3]. Im Vergleich dazu lag der Quotient im Pkw-Verkehr bei 2,77 Getöteten pro einer Milliarde Personenkilometer. Damit lag das Risiko im Pkw getötet zu werden um mehr als das 17fache höher als beim Kraftomnibusverkehr.

Eine erste Übersicht der Häufigkeitsverteilung der Kraftomnibusunfälle hinsichtlich der Differenzierung des Kollisionsgegners zeigt Abbildung 6-2. Die mit 80 Fällen am häufigsten vertretene Gruppe bildeten die Kraftomnibus-Pkw-Unfälle, gefolgt von den Kraftomnibus-Lkw- (17 Fälle) und Kraftomnibus-Alleinunfällen (10 Fälle). Unter Kraftomnibusalleinunfällen sind solche Unfälle zu verstehen, bei denen es zum Abkommen von der Straße oder zur Kollision mit Objekten am Straßenrand gekommen ist, ohne dass ein weiterer motorisierter Verkehrsteilnehmer beteiligt gewesen war. Unfälle mit anderen Kraftomnibussen und sonstigen Verkehrsteilnehmern (in einem Fall war der Unfallgegner eine Regionalbahn) waren in der vorliegenden Datenbank selten. Die Gesamtanzahl von 111 Unfällen dient für die folgenden Auswertungen als Datengrundlage.

6.1.1 Verletzungsart

Tabelle 6-2 zeigt die Verteilung der Verunglückten gemäß der Definitionen der amtlichen Unfallstatistik. Insgesamt wurden in der Datenbank 285 verunglückte Businsassen verzeichnet. Bezogen auf die Art der Ver-

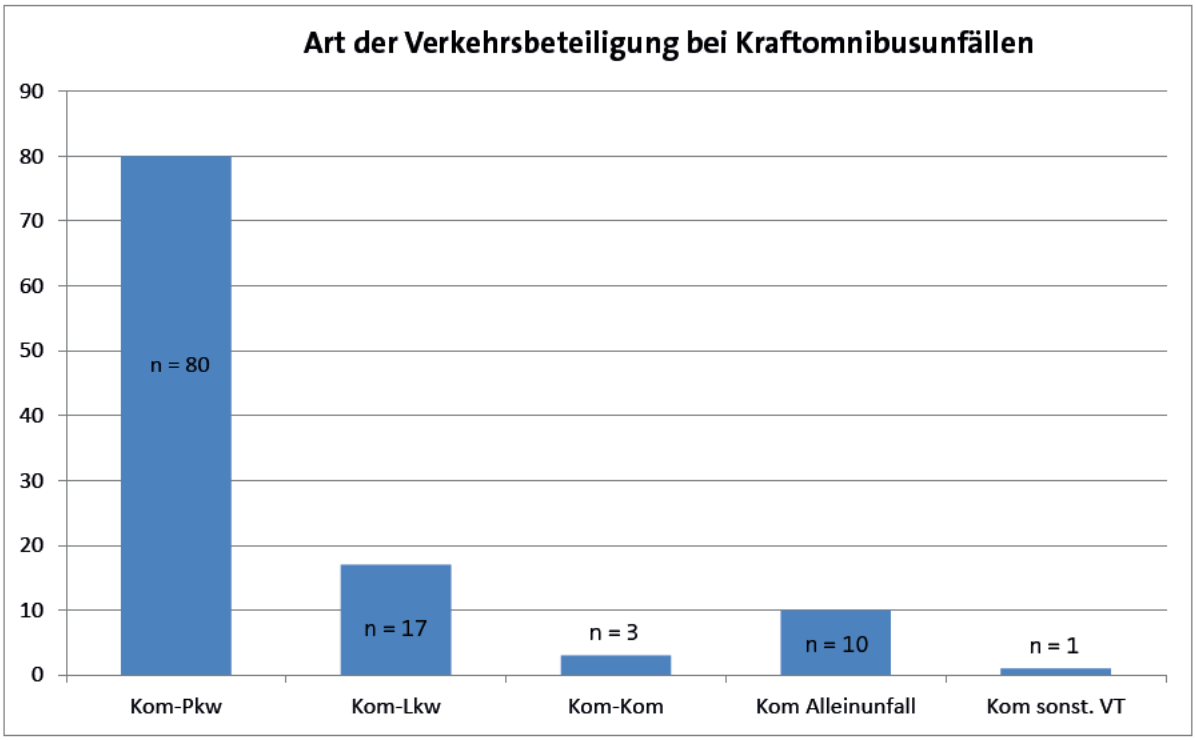


Abbildung 6-2:
Verteilung der Kraftomnibusunfälle nach Art der Verkehrsbeteiligung des Kollisionsgegners

Tabelle 6-2:
Verteilung der Verletzungsart der Businsassen in Bezug zur Verkehrsteilnahme des Unfallgegners

Verkehrsteilnehmer	leichtverletzt		schwerverletzt		getötet		Gesamt	
	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil
Kom-Pkw	51	94,4% / 22,0%	3	5,6% / 6,0%	0	0,0% / 0,0%	54	100,0% / 18,9%
Kom-Lkw	81	73,0% / 34,9%	28	25,2% / 56,0%	2	1,8% / 66,7%	111	100,0% / 38,9%
Kom-Kom	11	91,7% / 4,7%	1	8,3% / 2,0%	0	0,0% / 0,0%	12	100,0% / 4,2%
Kom Alleinunfall	84	88,4% / 36,2%	11	11,6% / 22,0%	0	0,0% / 0,0%	95	100,0% / 33,3%
Kom sonst. VT	5	38,5% / 2,2%	7	53,8% / 14,0%	1	7,7% / 33,3%	13	100,0% / 4,6%
Gesamt	232	81,4% / 100,0%	50	17,5% / 100,0%	3	1,1% / 100,0%	285	100,0% / 100,0%

kehrsteilnahme des Unfallgegners des Kraftomnibusses ist die Dominanz mit einem Anteil von ca. 81 % bei den Leichtverletzten zu erkennen. Etwa 95% der Verunglückten aus Kollisionen mit Pkw verletzten sich leicht, bei den Kraftomnibus-Lkw-Unfällen waren es 73%. Sowohl bei den Kraftomnibus-Pkw- als auch bei den Kraftomnibus-Kraftomnibus-Unfällen lag der Anteil der Schwerverletzten unter 10%. Dagegen stellten die Schwerverletzten bei den Kraftomnibus-Lkw-Unfällen mehr als 50 % aller schwerverletzten Businsassen und ca. 25 % aller Verunglückten aus dieser Unfallkategorie. Damit lag das Risiko bei Kraftomnibus-Lkw-Unfällen schwer verletzt zu werden um mehr als das 5fache höher als bei Kraftomnibus-Pkw-Unfällen.

Obwohl insgesamt „nur“ 10 Kraftomnibusalleinunfälle in die Betrachtungen einbezogen wurden, waren dort in Bezug auf die Anzahl der Schwerverletzten 22%, in Bezug auf die Anzahl der Leichtverletzten sogar mehr als 36% zu verzeichnen. Bezogen auf alle Verunglückten stellte die Gruppe der Getöteten mit „nur“ 1,1% den geringsten Anteil. Dabei sind zwei der insgesamt drei getöteten Businsassen bei Kollisionen mit Lastkraftwagen zu verzeichnen gewesen.

Aussagekräftige Schlussfolgerungen zu den Verletzungen der Businsassen aus Kollisionen mit sonstigen Verkehrsteilnehmern können aufgrund des seltenen Auftretens nicht getroffen werden.

Wie die zuvor durchgeführten Analysen gezeigt haben, liegt der Schwerpunkt des Unfallgeschehens des Datenbestands bei den Auffahrunfällen zwischen Kraftomnibus und Pkw sowie zwischen Kraftomnibus und Lkw. Die Verbesserung der Aufbaufestigkeit der Kraftomnibusstruktur, die in den vergangenen Jahren oft Schwerpunkt von Untersuchungen war, ist auf diese Unfallgruppen jedoch nicht anzuwenden. Zum besseren Schutz von Fahrer und Beifahrer, die bei diesen Unfallkategorien besonders gefährdet scheinen, wurde von der Firma Mercedes Benz der „Front-Collison-Guard“ (FCG), bei dem Lenkung, Pedalerie und Sitz auf einem Rahmen angeordnet sind, für den Reisebus Travego eingeführt. Bei diesem Sicherheitssystem wird bei schweren Frontalunfällen die Rahmenkonstruktion nach hinten verschoben und dadurch der zur Verfügung stehende Überlebensraum vergrößert [47]. Daneben sollte auch ein besonderes Augenmerk auf die aktive Sicherheit von Kraftomnibussen und damit auf die Vermeidbarkeit dieser Unfälle gerichtet werden.

6.1.2 Kraftomnibusunfälle nach Ortslage

Abbildung 6-3 stellt die Lage des Unfallortes der Art der Verkehrsbeteiligung des Unfallgegners des Kraftomnibusses gegenüber. Annähernd jeweils 70% der Kraftomnibus-Lkw-, der Kraftomnibus-Allein- und der Kraftom-

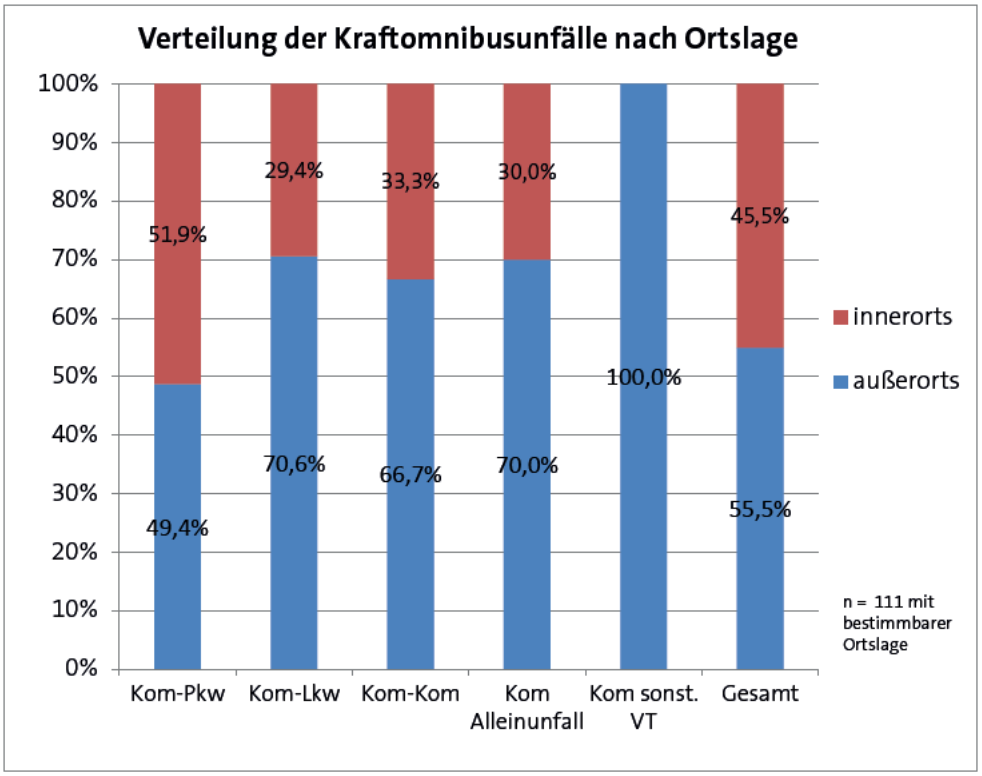


Abbildung 6-3:
Verteilung der Kraftomnibusunfälle nach Ortslage

nibus-Kraftomnibus-Unfälle ereigneten sich außerhalb geschlossener Ortschaften. Dagegen waren bei den Kraftomnibus-Pkw-Unfällen die Innerorts- und Außerortsunfälle etwa gleich stark vertreten.

Betrachtet man alle 111 Unfälle mit einer Kollision, so ließ sich ein geringfügig höherer Anteil (55%) an Außerortsunfällen, davon 15 (24,5)% auf Autobahnen, feststellen.

6.1.3 Kraftomnibusunfälle nach Jahreszeit, Licht- und Straßenverhältnissen

Werden alle Unfälle in die vier saisonalen Kategorien Januar-März (Wintermonate), April-Juni (Frühlingsmonate), Juli-September (Sommermonate) sowie Oktober-Dezember (Herbstmonate) aufgeteilt, ergeben sich die Zusammenhänge, wie sie die Bilder in Abbildung 6-4 wiedergeben. Anhand der Abbildung wird ersichtlich, dass die Gruppe der Kraftomnibus-Pkw-Unfälle mit einem Anteil zwischen ca. 63% (1. Quartal) und ca. 75% (2.- 4. Quartal) stets den Hauptanteil am Gesamtunfallgeschehen bildete. Daneben waren im ersten Quartal die Kraftomnibusalleinunfälle mit 22%, im dritten und vierten Quartal die Kraftomnibus-Lkw-Unfälle, mit 14%, respektive 19%, am zweithäufigsten vertreten. In allen vier Quartalen sind Kollisionen zwischen zwei Kraftomnibussen sowie Kollisionen mit sonstigen Verkehrsteilnehmern gering bzw. nicht aufgetreten.

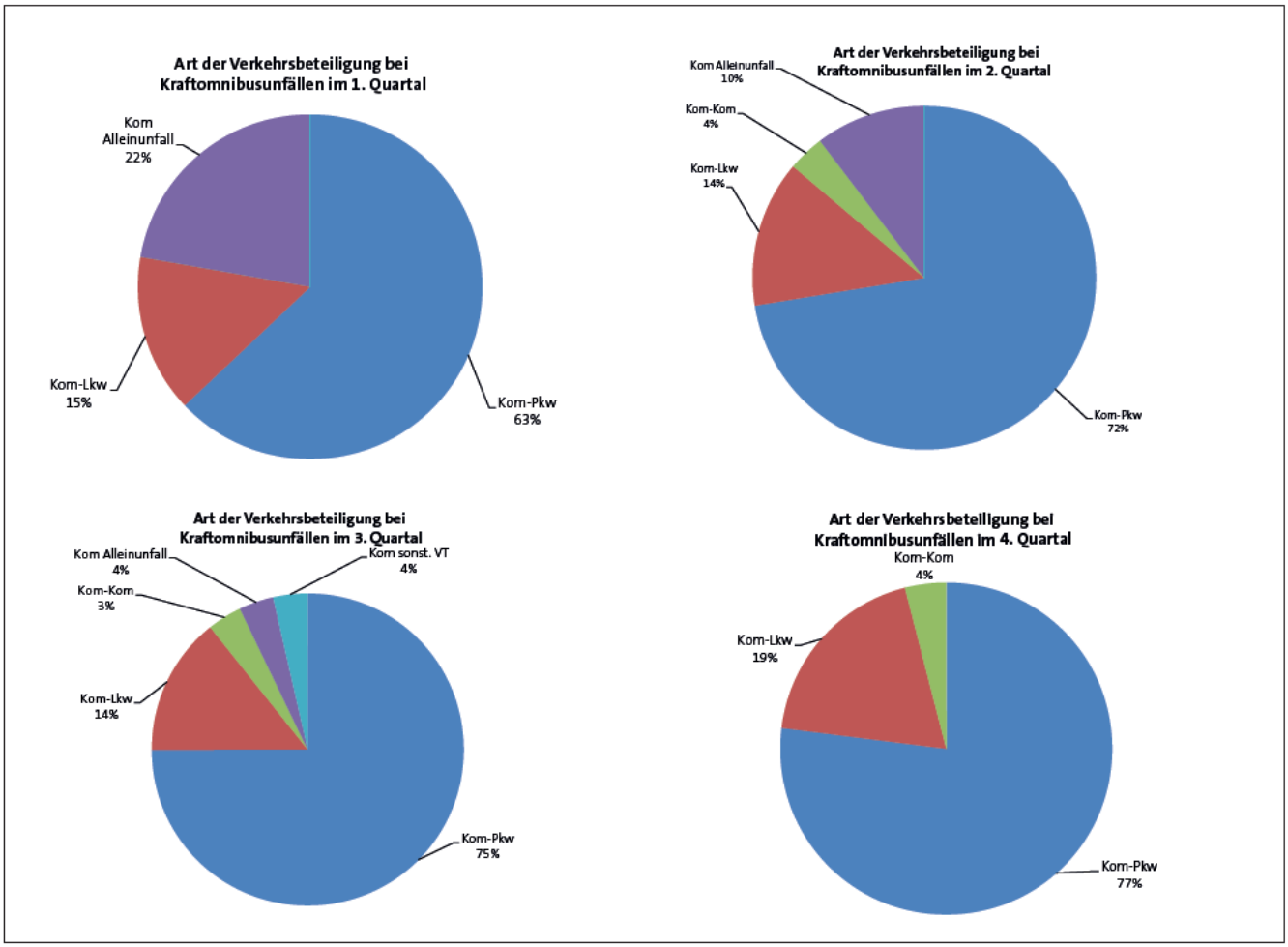


Abbildung 6-4:
Saisonale Verteilung der Kraftomnibusunfälle

Abbildung 6-5 gibt die Verteilung der Kraftomnibusunfälle in Hinblick auf die Lichtverhältnisse und den jeweiligen Kollisionsgegner wieder. Bei den Analysen wurde zwischen Tageslicht, Dämmerung und Dunkelheit unterschieden. Etwa ¾ der Unfälle geschahen bei Tageslicht. Bei Linienbussen ist der niedrigere Anteil der Dunkelheitsunfälle womöglich auf die nachfragebedingte Taktverdünnung im ÖPNV[12] zurückzuführen. Denn nur insgesamt 20% der Linienbusunfälle ereigneten sich bei Dunkelheit bzw. Dämmerung. Bei den Reisebusunfällen lag die Quote bei 25% und damit nur geringfügig höher. Dies ist eventuell auch auf eine sinkende Fahrleistung der Reisebusse bei Nacht bzw. die allgemein niedrigere Fahrleistung des gesamten Verkehrs in den Nachtstunden zurückzuführen.

In direktem Zusammenhang mit der Jahreszeit stehen neben den Lichtverhältnissen auch die Straßenverhältnisse. Es zeigte sich, dass sich ca. 60% der Unfälle im betrachteten Zeitraum auf trockener Fahrbahn ereigneten, Abbildung 6-6. Allerdings fällt sofort der hohe Anteil der Kraftomnibusalleinunfälle bei winterglatten Fahrbahnen auf, die aufgrund des Fehlens eines Kollisionsgegners gänzlich auf eine Fehleinschätzungen der Straßen- bzw. Witterungsverhältnisse der Kraftomnibuslenker zurückzuführen sind. Bei etwa 4% der Unfälle lagen keine Informationen über den Straßenzustand zum Unfallzeitpunkt vor.

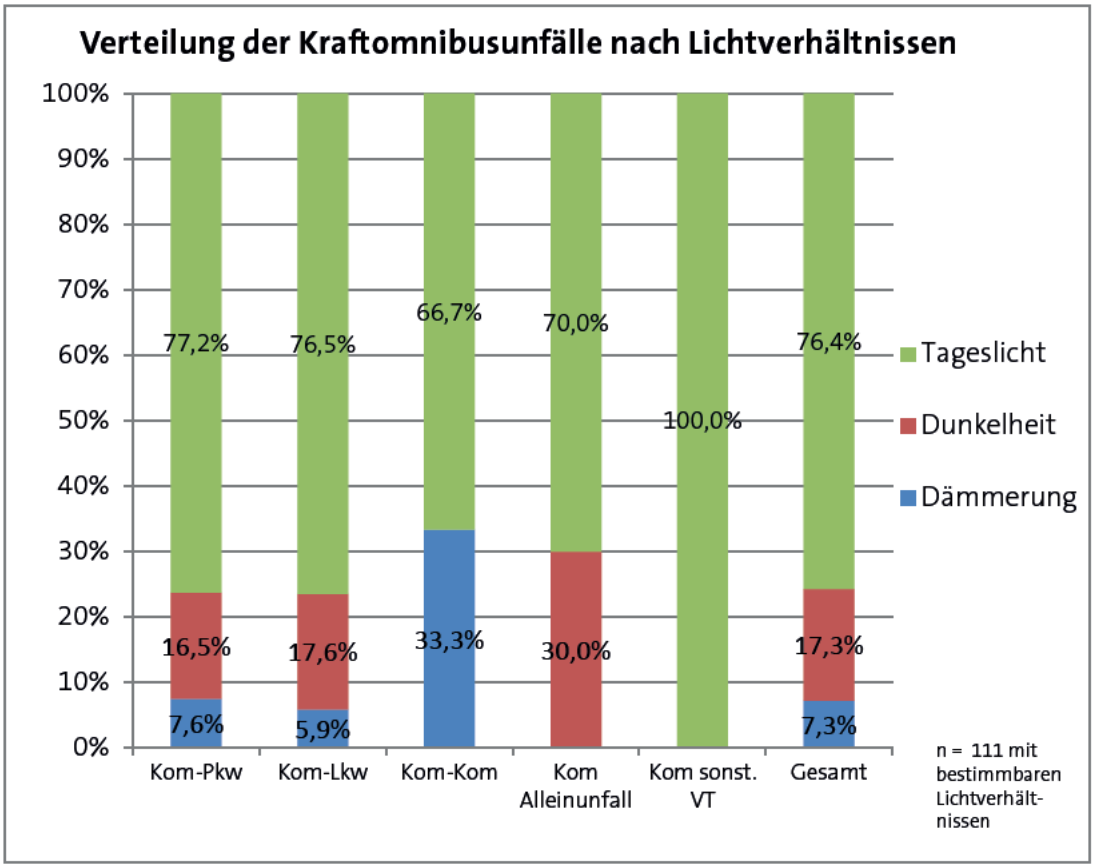


Abbildung 6-5:
Verteilung der Kraftomnibusunfälle nach Lichtverhältnissen

12 ÖPNV - Öffentlicher Personennahverkehr

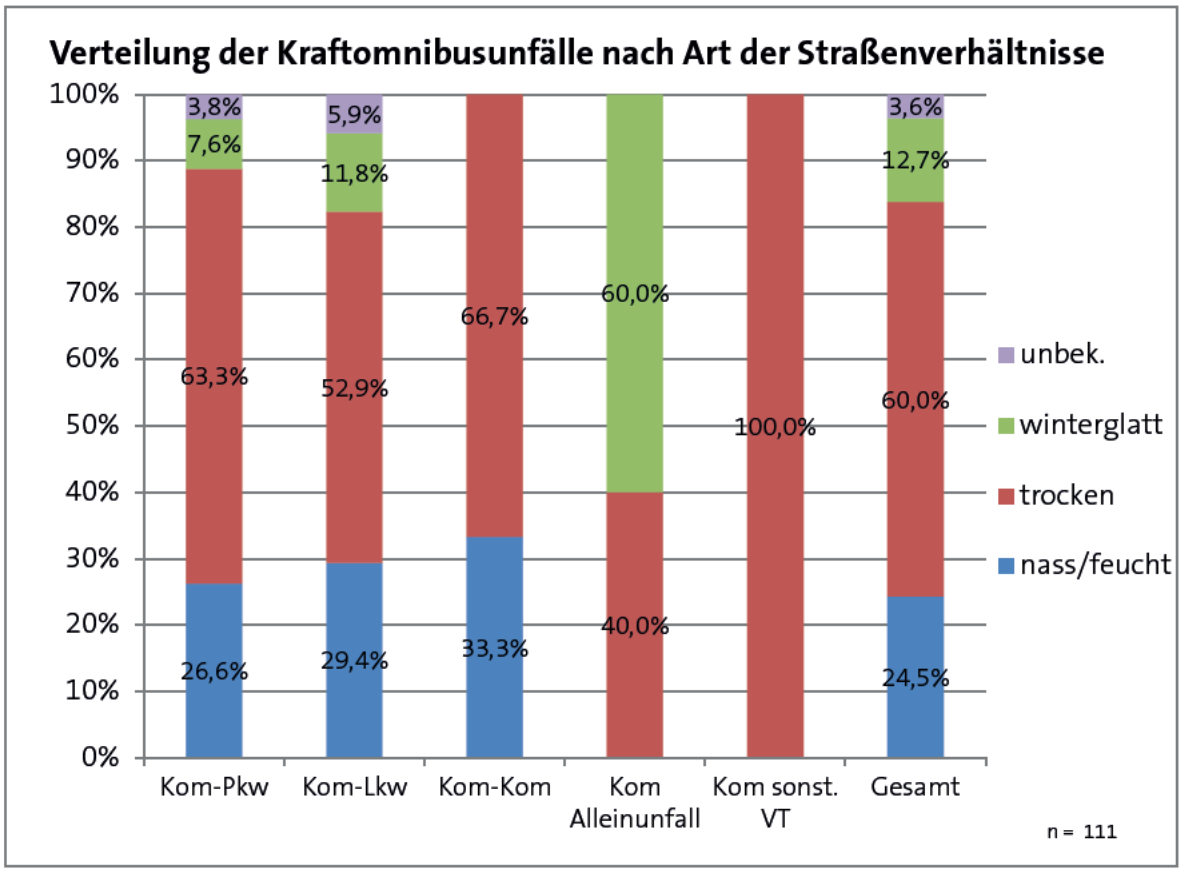


Abbildung 6-6:
Verteilung der Kraftomnibusunfälle nach Straßenverhältnissen

6.1.4 Kraftomnibusunfälle nach Art des Kraftomnibusses

Abbildung 6-7 zeigt die Verteilung der Kraftomnibusunfälle nach Art des Kraftomnibusses und des jeweiligen Kollisionsgegners. Dabei wurde eine Unterteilung nach Schul-, Reise- und Linienbus durchgeführt. Insgesamt waren im Datenbestand Reisebusse und Linienbusse nahezu gleich stark vertreten. Schulbusse waren mit einem Anteil von nur ca. 8% selten vorhanden. Abgesehen von den Kraftomnibus-Pkw-Unfällen, bei denen der Anteil der Linienbus-Pkw-Kollisionen etwa 13% über den der Reiseomnibus-Pkw-Kollisionen lag, verunfallten stets mehr Reisebusse als Linien- und Schulbusse zusammen. Bei den Alleinunfällen lag der Anteil sogar bei 80%.

6.1.5 Verletzungsschwere und Verletzungsmuster

In der Datenbank der UDV werden neben den äußeren Unfallumständen und spezifischen Fahrzeuginformationen für jeden verletzten Fahrzeuginsassen die Verletzungen nach der AIS-Bewertungsskala[13] [4] aufgelistet und codiert. Dies geschieht anhand der in den Fallakten enthaltenen medizinischen Informationen bzw. Befunde der Insassen. Aufgrund der geringen Fallzahlen erschien nicht für alle Arten der Verkehrsteilnahme der Unfallgegner eine statistische Auswertung der Verletzungsschwere der Businsassen sinnvoll. Für die folgenden Auswertungen wurden nur für die Kraftomnibus-Pkw-, Kraftomnibus-Lkw und für die Kraftomnibusalleinunfälle die Verteilung der Verletzungsschwere nach Anstoßlage

13 AIS – Abbreviated Injury Scale: Bewertungsskala für den Grad der Letalität von Einzelverletzungen. Die Verletzungen werden nach Körperregion und Schweregrad unterschieden und reichen von 0 (unverletzt) bis 6 (maximal). [4]

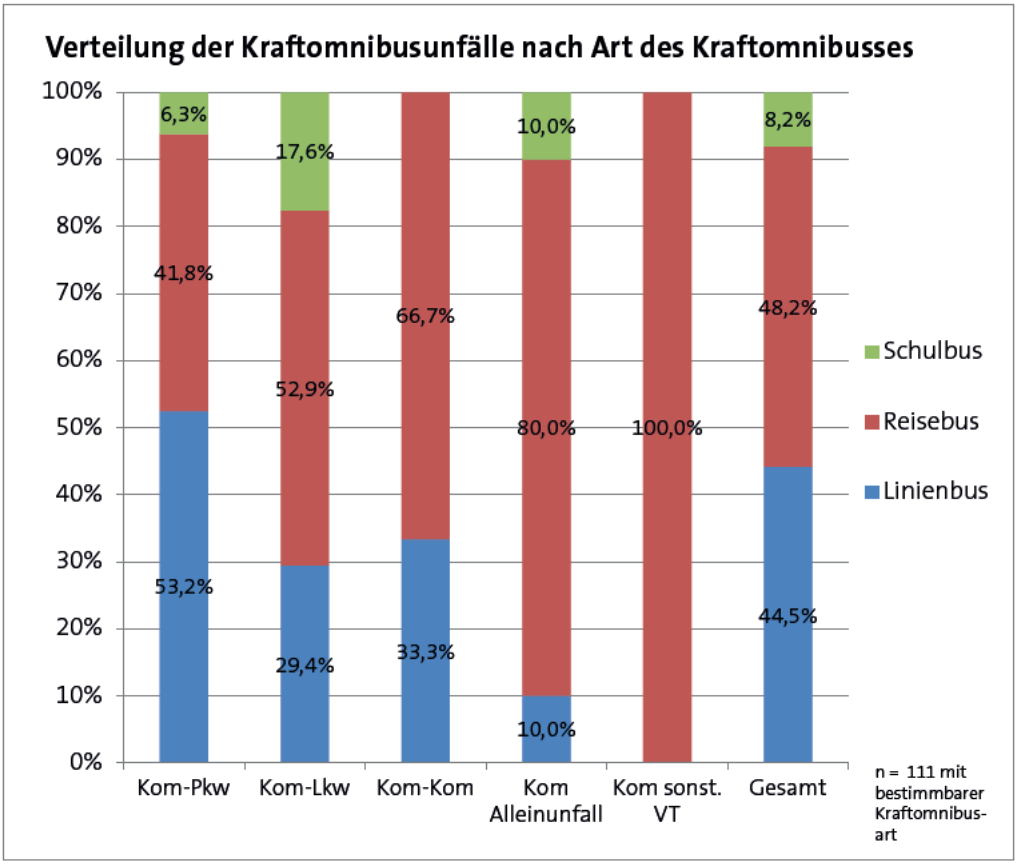


Abbildung 6-7:
Verteilung der Kraftomnibusunfälle nach Art des Kraftomnibusses

am Kraftomnibus ausgewertet. Genaue Untersuchungen im Hinblick auf die exakten Sitzpositionen der im Kraftomnibus verletzten Insassen sind aufgrund fehlender Informationen nicht möglich.

Ferner waren keine Untersuchungen möglich, die die Erarbeitung von Zusammenhängen zwischen Verletzungen und dem Kontakt des Insassen mit Struktur- bzw. Innenraumteilen des Kraftomnibusses zuließen, z.B. der Aufprall des Kopfes an der Rückenlehne des Vordersitzes, da die erforderlichen Informationen den Akten nicht zu entnehmen waren.

Für die Auswertungen der Gesamtverletzungsschwere wurde das arithmetische Mittel, der Median sowie die Standardabweichung des ISS[14] berechnet. Es ist allerdings zu bemerken, dass eine Mittelwertbildung des ISS nicht immer sinnvoll erscheint, da dieser, aus den Quadraten der AIS der drei am schwersten betroffenen anatomischen Regionen gebildet wird und somit nicht jeder Wert von 1 bis 75 angenommen werden kann. Zusätzlich unterliegt die Letalität im Hinblick auf die AIS-Skalierung keinem linearen Zusammenhang. Als Beispiel sei ein 100 prozentiges Risiko der Lebensbedrohung bei einem AIS 6 im Gegensatz zu einem „nur“ ca. 3 prozentigen Risiko der Lebensbedrohung eines AIS 3 erwähnt, Abbildung 6-8.

Eine zusammenfassende Übersicht der anatomischen Körperregionen zeigt Abbildung 6-9.

14 ISS - Injury severity score: Score-System, welches bei Mehrfachverletzungen die Gesamtverletzungsschwere quantifiziert. Für anatomischen Regionen Kopf/Nacken, Gesicht, Thorax, Abdomen, Extremitäten und Weichteile wird die Verletzungsschwere anhand des AIS-Wertes beschrieben. Zur Berechnung des ISS werden anschließend die AIS-Werte der drei am schwersten betroffenen Regionen quadriert und summiert. Der ISS kann Werte zwischen 1 und 75 annehmen.

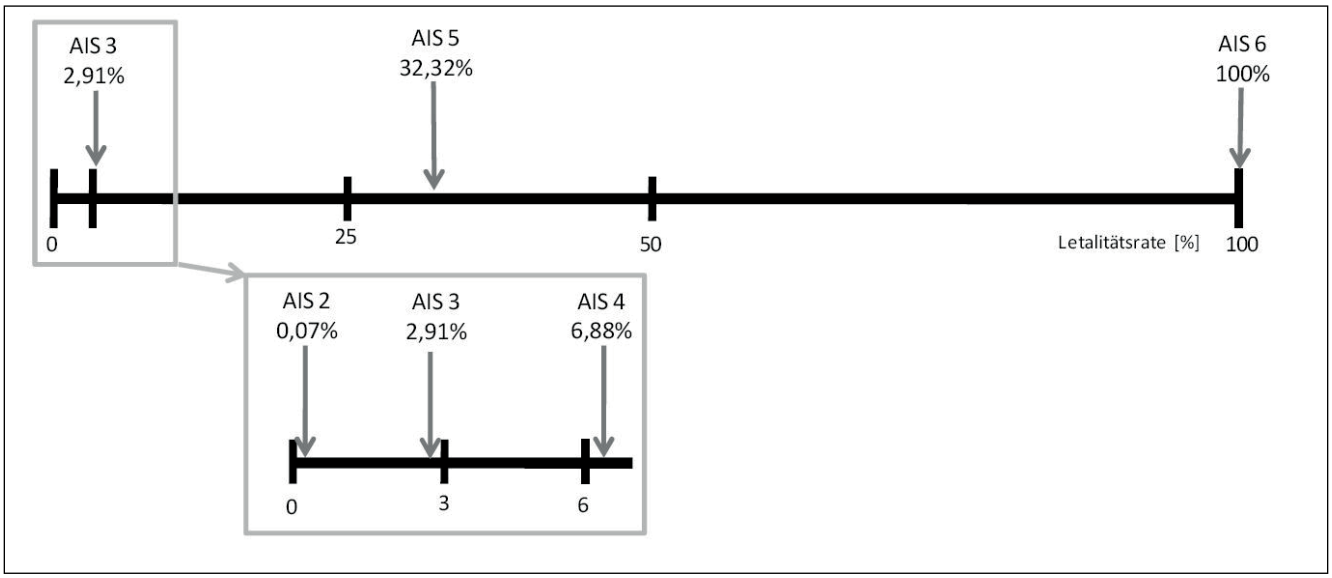


Abbildung 6-8:
Zusammenhang der AIS-Skalierung und der Letalitätsrate nach [35] und [36]

- **Kopf / Hals**
  (Gehirn, Schädel, Nacken und Halswirbelsäule)
- **Gesicht**
  (Gesichtsknochen, Kiefer, Augen, Nase, Mund, Ohren)
- **Thorax**
  (Brustkorb, Lunge, Herz und Brustwirbelsäule)
- **Abdomen**
  (Organe im Bauchraum und im Becken, Lendenwirbelsäule)
- **Extremitäten**
  (Arme und Hände einschließlich Schulter, Beine und Füße einschließlich Becken)
- **Weichteile**
  (Haut- und Weichteilverletzungen aus allen Körperregionen, Verbrennungen)

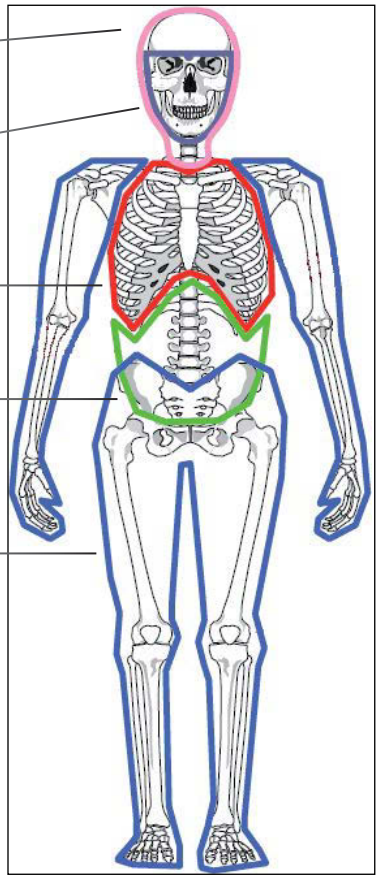


Abbildung 6-9:
Die sechs Körperregionen zur Berechnung des ISS, aus [34]

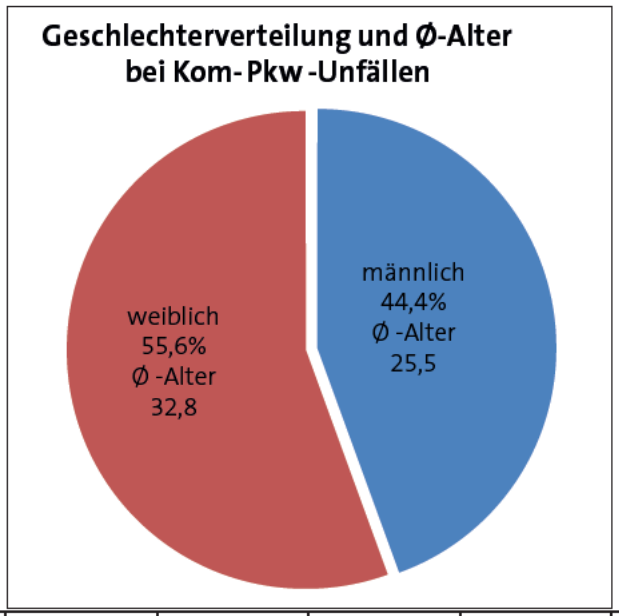
6.1.5.1 Kraftomnibus-Pkw-Unfälle

Für die Analyse der Verletzungsschwere von Businsassen aus Kraftomnibus-Pkw-Kollisionen standen genauere Informationen von 39 der insgesamt 54 verletzten Businsassen zur Verfügung. Dabei stammten 25 Verletzte aus Kollisionen, bei denen die Hauptanstoßzone an der Front des Kraftomnibusses lag, 10 Verletzte entstammten aus Kollisionen mit dem Heck als Hauptanstoßzone sowie 4 Verletzte aus Kollisionen, bei denen der Kraftomnibus seitlich getroffen wurde. Für die Berechnung des Durchschnittsalters nach Art des Geschlechts und die Auswertungen bezüglich des ISS konnten aufgrund fehlender Daten nur 36 Verletzte einbezogen werden.

Die Geschlechterverteilung und das Durchschnittsalter sowie die statistischen Ergebnisse der ISS-Auswertungen zeigt Abbildung 6-10. Wie anhand der Abbildung nachvollzogen werden kann, lag das Durchschnittsalter der weiblichen Insassen, die zudem mit etwa 10% häufiger im Verletztenkollektiv vertreten waren, mit 32,8 Jahren deutlich über dem der männlichen Verletzten. Allerdings wurden Männer und Frauen in etwa gleich schwer verletzt.

Das arithmetische Mittel und die Standardabweichung nehmen Werte um 2 an. Der Median betrug 1 bei den männlichen und 1,5 bei den weiblichen Verletzten.

Vergleicht man die Verletzungsschwere der verunglückten Businsassen bei Kraftomnibus-Pkw-Unfällen bezogen auf die Aufprallart des Kraftomnibusses (Front, Heck und Seite), so zeigte sich bei den Frontalanstößen im Vergleich zu den anderen beiden Anstoßarten die deutlich höhere Anzahl an AIS 1 Verletzungen an den Weichteilen (ca. 28%) und an den Extremitäten (ca. 23%) der Businsassen, Abbildung 6-11. Dabei handelte es sich in erster Linie um Prellungen und Kontusionen der Weichteile bzw. um Abschürfungen der Haut der Extremitäten. Wie die Abbildung 6-11 zeigt, waren Verletzungen an Extremitäten und Weichteilen bei den Heckkollisionen gar nicht,



Businsassen bei Kom-Pkw-Unfällen	Anzahl	Anteil	ISS Mittelwert	ISS Median	ISS Standardabweichung
männlich	16	44,4 %	2,4	1	± 2,2
weiblich	20	55,6 %	2,2	1,5	± 2,4

Abbildung 6-10:
Durchschnittsalter und Gesamtverletzungsschwere nach Geschlecht bei Kom-Pkw-Unfällen

bei den Seitenanstößen nur einmalig vorhanden. Leichte Verletzungen (AIS 1) am Hals, dies betraf größtenteils HWS-Distorsionen, waren dagegen bei den Insassen aus Heckkollisionen im Vergleich zu den Frontalanstößen fast 1,5 fach häufiger anzutreffen. Auch AIS 1 Verletzungen im Bereich der Lendenwirbelsäule (z.B. LWS-Distorsionen) und der Brustwirbelsäule (z.B. BWS-Distorsionen) waren, wenngleich diese ohnehin nur sehr selten auftraten, bei Heckkollisionen ebenfalls häufiger vorzufinden. Aussagekräftige Vergleiche hinsichtlich der Verletzungsschwere >AIS 1 der verschiedenen Körperregionen in Bezug auf die unterschiedlichen Anstoßbereiche konnten aufgrund der geringen Anzahl nicht vollzogen werden.

6.1.5.2 Kraftomnibus-Lkw-Unfälle

Für die Auswertung der Verletzungsschwere von Businsassen aus Kraftomnibus-Lkw-Kollisionen standen 82 verletzte Fahrzeuginsassen aus 17 Unfällen zur Verfügung. Dabei waren insgesamt 165 Businsassen beteiligt. Abweichend von den 82 Verletzten, bei denen genaue Informationen über die Verletzungsschwere vorlagen, konnten die Berechnungen des Durchschnittsalters bzw. des ISS nur von 73 Insassen durchgeführt werden. Gleich den Kraftomnibus-Pkw-Unfällen waren auch bei den Kraftomnibus-Lkw-Unfällen deutlich mehr weibliche als männliche Businsassen vertreten, Abbildung 6-12. Frauen wiesen insgesamt eine niedrigere Gesamtverletzungsschwere als Männer auf. Im Mittel lag der ISS bei den Männern bei 3,5, bei den Frauen betrug das arithmetische Mittel des ISS nur 2,7. Die Standardabweichung errechnete sich zu ±3,1 bzw. ±3,9. Sowohl bei den Männern als auch bei den Frauen lag der Median bei 2. Anhand der Tabelle in Abbildung 6-12 ist festzustellen, dass Businsassen bei Kraftomnibus-Lkw-Unfällen insgesamt schwerer verletzt wurden. Dies lässt sich ebenfalls anhand der Gesamtzahl der getöteten Businsassen erkennen (vgl. Tabelle 6-1).

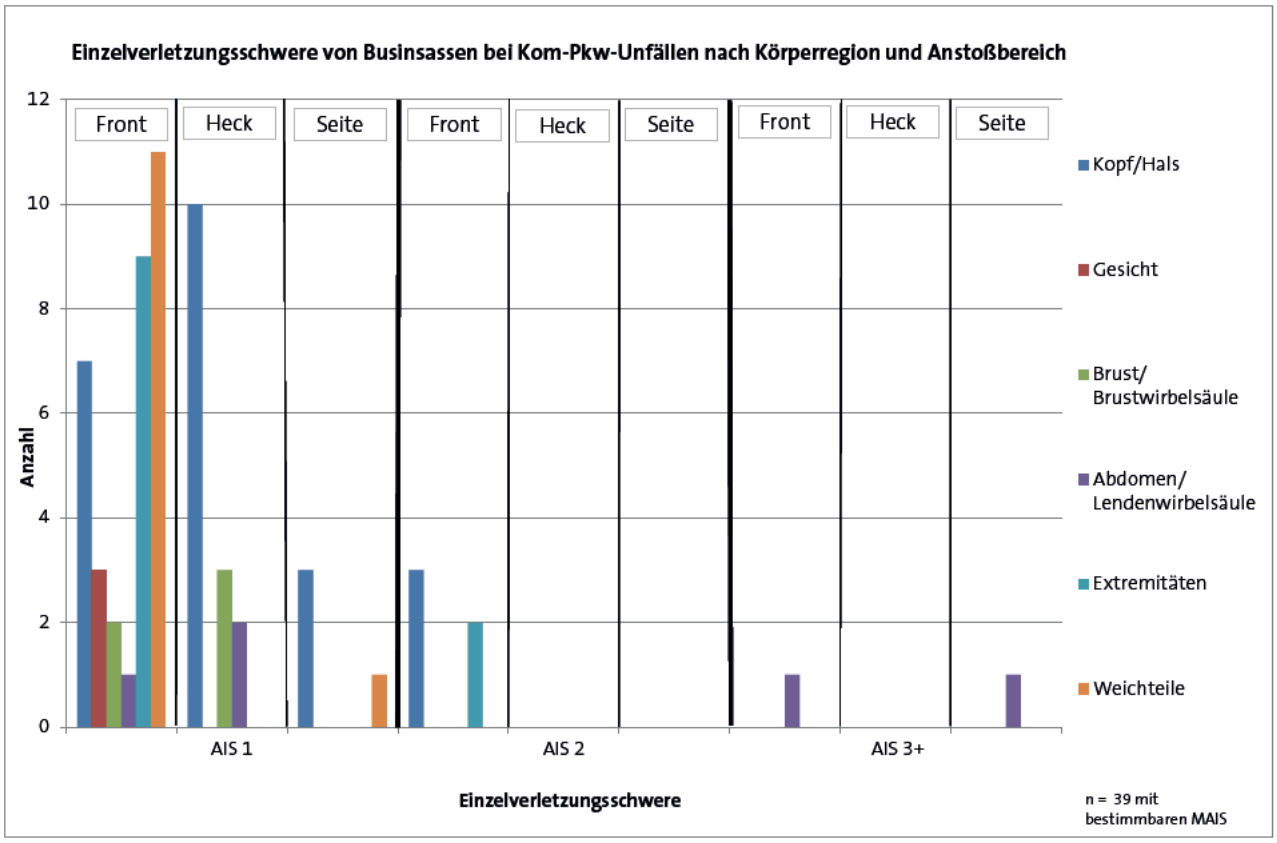
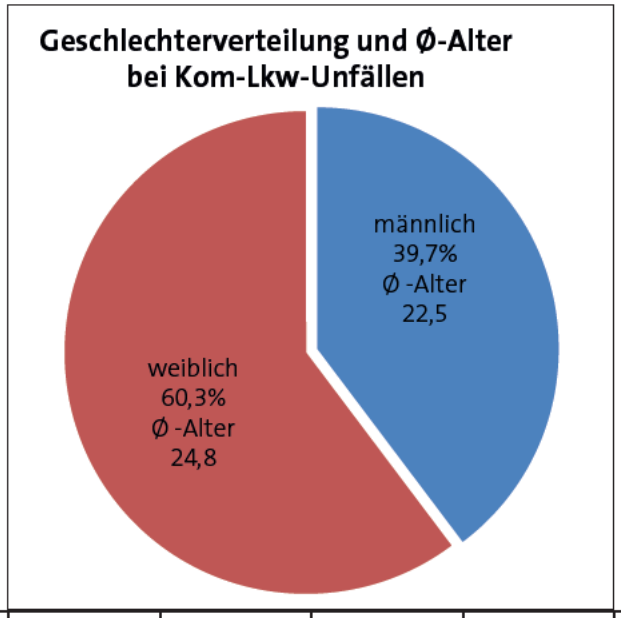


Abbildung 6-11:
Verletzungsschwere der einzelnen Körperregionen verletzter Businsassen unterteilt nach Aufprallart bei Kom-Pkw-Unfällen



Businsassen bei Kom-Lkw-Unfällen	Anzahl	Anteil	ISS Mittelwert	ISS Median	ISS Standardabweichung
männlich	29	39,7 %	3,5	2	± 3,1
weiblich	44	60,3 %	2,7	2	± 3,9

Abbildung 6-12:
Durchschnittsalter und Gesamtverletzungsschwere nach Geschlecht bei Kom-Lkw-Unfällen

Die Häufigkeitsverteilung der Einzelverletzungsschwere bei Kraftomnibus-Lkw-Unfällen zeigt Abbildung 6-13. Gleich den Kraftomnibus-Pkw-Unfällen waren bei den Frontalzusammenstößen mit Lkws die meisten Verletzungen zu verzeichnen gewesen. Überwiegend betraf dies mit einem Anteil von ca. 28% nicht weiter zu spezifizierende Prellungen und Abschürfungen an den Weichteilen mit einem AIS 1. In etwa gleichem Umfang lagen bei den Frontalkollisionen AIS 1 Verletzungen im Gesichtsbereich (ca. 25%) vor. Hauptsächlich handelte es sich dabei um gelockerte bzw. ausgebrochene Zähne und um Lid-, Lippen oder Nasenbeinkontusionen. Mit einem Gesamtanteil von ca. 18% kamen bei Frontalkollisionen vermehrt Verletzungen der oberen und unteren Extremitäten vor. Dies waren unter anderem leichte Knieverletzungen (Prellungen) oder Abschürfung der Haut an Ober- oder Unterschenkel bzw. Ober- und Unterarm. Etwa im gleichen Ausmaß wie bei den Frontalkollisionen waren bei den Heckkollisionen Verletzungen mit einem AIS 1 des Kopf-/ Halsbereiches vorzufinden. Bei beiden Anstoßarten handelte es sich größtenteils um Verspannungen oder Distorsionen der Halswirbelsäule.

Abgesehen von Verletzungen im Abdominalbereich, der ohnehin äußerst selten betroffen war, waren bei den Seitenkollisionen an allen Körperregionen Verletzungen mit einem AIS 1 vorzufinden. Wie bei den Frontalanstößen waren auch bei den seitlichen Kollisionen Verletzungen an den Weichteilen, wie z.B. Abschürfungen oder Kontusionen, am häufigsten vorhanden.

Bezogen auf die verletzten Insassen waren bei Kraftomnibus-Lkw-Kollisionen im Vergleich zu den Kraftomnibus-Pkw-Kollisionen doppelt so viele Verletzungen mit einem AIS 2+ zu verzeichnen. Hirnerschütterungen (AIS 2 im Kopf-/ Halsbereich) zählten sowohl bei den Frontal- als auch bei den Seitenanstößen zu den häufigsten Verletzungsarten. Daneben waren aber auch Kontusionen des Großhirns (AIS 3 Kopf-/ Halsbereich) vertreten. Eine Insassin erlitt eine Lenden- und Brustwirbelsäulenprellung

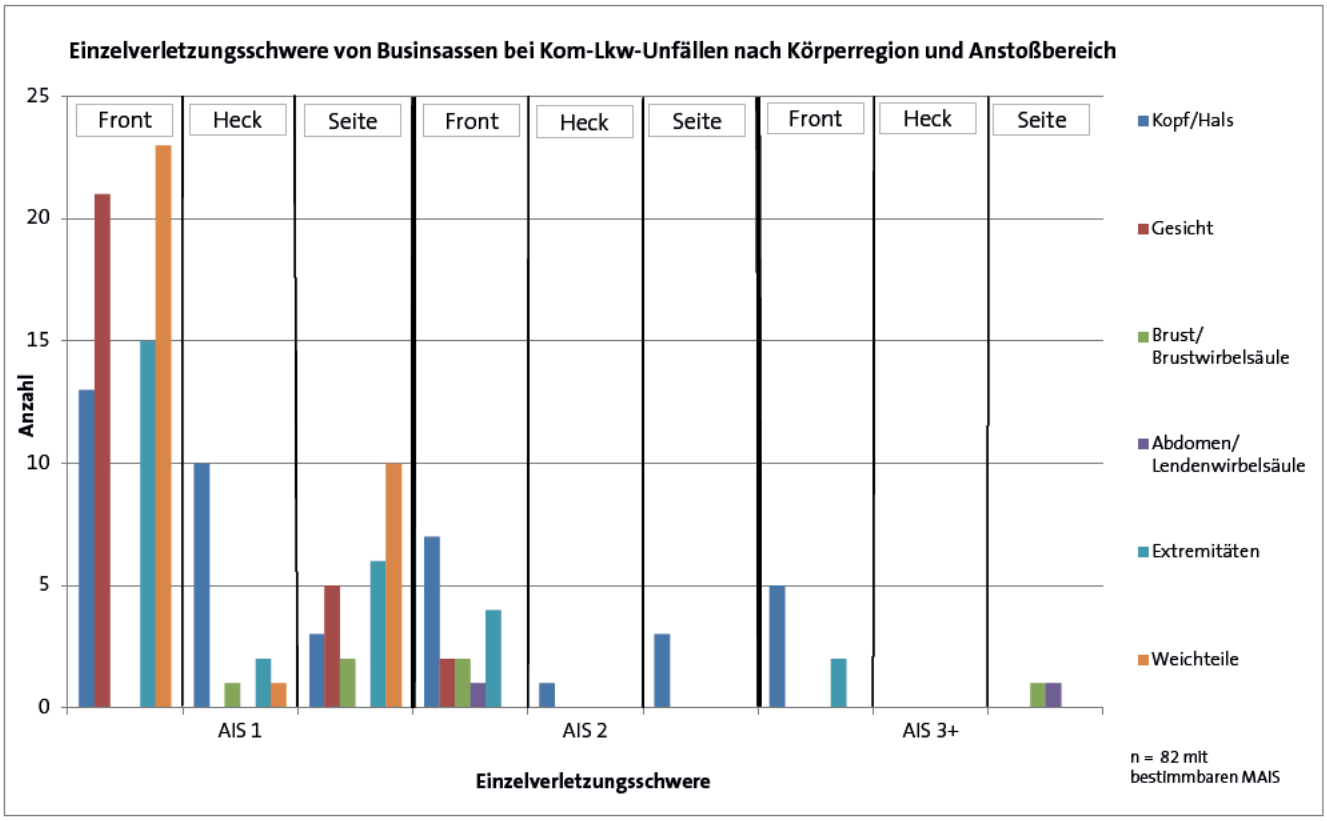


Abbildung 6-13:
Verletzungsschwere der einzelnen Körperregionen verletzter Businsassen unterteilt nach Aufprallart bei Kom-Lkw-Unfällen

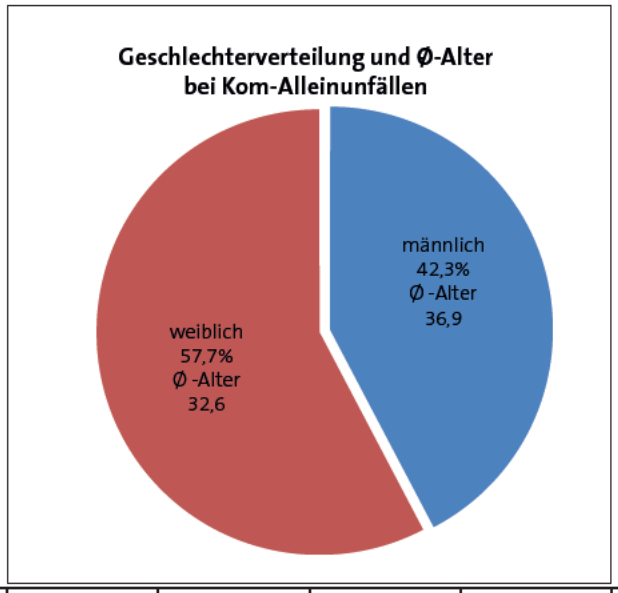
jeweils mit einem AIS 3, ein weiterer Insasse erlitt eine schwere Verletzung des Großhirns mit einem AIS 4. Obwohl bei den Heckkollisionen, die immerhin einen Anteil von ca. 30% der gesamten Kraftomnibus-Lkw-Unfälle ausmachten, deutlich weniger Businsassen verletzt wurden, entstammte einer der Getöteten aus dieser Unfallkategorie. Der zweite tödlich verletzte Businsasse war bei einer Seiten- Front-Kollision zu verzeichnen.

6.1.5.3 Kraftomnibusalleinunfälle

Kraftomnibusalleinunfälle stellten im Datenpool mit 10 Fällen nur einen geringen Anteil am Gesamtunfallgeschehen. Insgesamt waren 164 Businsassen beteiligt. Im Vergleich zu den Kraftomnibus-Pkw-Unfällen waren allerdings mit einer Gesamtanzahl von 94 Verletzten mehr als doppelt so viele Insassen betroffen. Für die Berechnung des Durchschnittsalters nach Art des Geschlechts und die Auswertungen bezüglich des ISS konnten aufgrund fehlender Daten nur 78 Businsassen einbezogen werden (Abbildung 6-14).

Wie auch bei den zuvor beschriebenen Kollisionsarten (Kom-Pkw und Kom-Lkw) wurden auch hier mit einem Gesamtanteil von ca. 58% mehr weibliche als männliche Businsassen verletzt. Frauen wiesen wiederholt eine niedrigere Gesamtverletzungsschwere als Männer auf. Im Mittel lag der ISS bei den Männern bei 2,7, bei den Frauen betrug der Mittelwert des ISS 2,1. Die Standardabweichung errechnete sich zu ±1,8 bzw. ±1,3.

Bei der Auswertung der Verletzungsschwere wurde zwischen Verletzungen, die aus Frontal- (60%) bzw. Seitenanstößen (40%) resultierten, unterschieden. Überschlagunfälle waren im Datenpool nicht vorhanden. In 6 Fällen, die den Seitenanstößen zugerechnet werden, kam es zu einer seitlichen Neigung um die Längsachse des Kraftomnibusses. Jedoch kam es bei keinem der Fälle



Businsassen bei Kom-Alleinunfällen	Anzahl	Anteil	ISS Mittelwert	ISS Median	ISS Standardabweichung
männlich	33	42,3 %	2,7	2	± 1,8
weiblich	45	57,7 %	2,1	2	± 1,9

Abbildung 6-14:
Durchschnittsalter und Gesamtverletzungsschwere nach Geschlecht bei Kom-Alleinfällen

zu einer Drehung >45°. Aus dem Kraftomnibus herausgeschleuderte Insassen waren im gesamten Datenpool nicht zu beklagen.

In Abbildung 6-15 sind die Einzelverletzungsschweren der 94 Businsassen aus Kraftomnibusalleinunfällen zusammengefasst. Wie auch bei den anderen Unfallarten zeigten sich die Verletzungsschwerpunkte an den Weichteilen und den Extremitäten. Am häufigsten waren nicht weiter zu spezifizierende Abschürfungen bzw. Kontusionen der Weichteile, der oberen und unteren Extremitäten (bei beiden Anstoßarten) sowie leichte Knieverletzungen bei den Frontanstößen vertreten. Schwerere Verletzungen mit einem AIS 3+ lagen bei den Frontalanstößen gar nicht, bei der seitlichen Kollision nur einmal vor. Neben den Verletzungen der Extremitäten und der Weichteile sind vermehrt AIS 1 Verletzungen im Kopf-/Halsbereich aber auch im Gesichtsbereich, sowohl bei den Frontalkollisionen als auch bei den seitlichen Anstößen, aufgetreten.

Auch hier handelte es sich zum Großteil um leichte Verspannungen der Halswirbelsäule oder Frakturen des Nasenbeins. Verletzungen der Brust/Brustwirbelsäule, wie z.B. Distorsionen (AIS 1), sowie des Abdomens und der Lendenwirbelsäule, wie z.B. Frakturen einzelner Lendenwirbel (AIS 2), traten trotz der großen Anzahl der Verletzten sehr selten auf.

6.1.5.4 Sonstige Kraftomnibusunfälle

Da nur bei 12 Insassen der übrigen Kraftomnibusunfälle die Bestimmung des AIS-Codes möglich war, wurde auf die statistische Auswertung der Verletzungsschwere der verletzten Insassen aus den Kollisionen zwischen Kraftomnibus und Kraftomnibus sowie der Verletzten aus der Kollision mit der Regionalbahn verzichtet. Es soll nur soviel gesagt werden, dass ca. 60% der Insassen leichte Verletzungen an den Weichteilen, insbesondere Abschürfungen und ca. 1/3 leichte Kopfverletzungen erlitten.

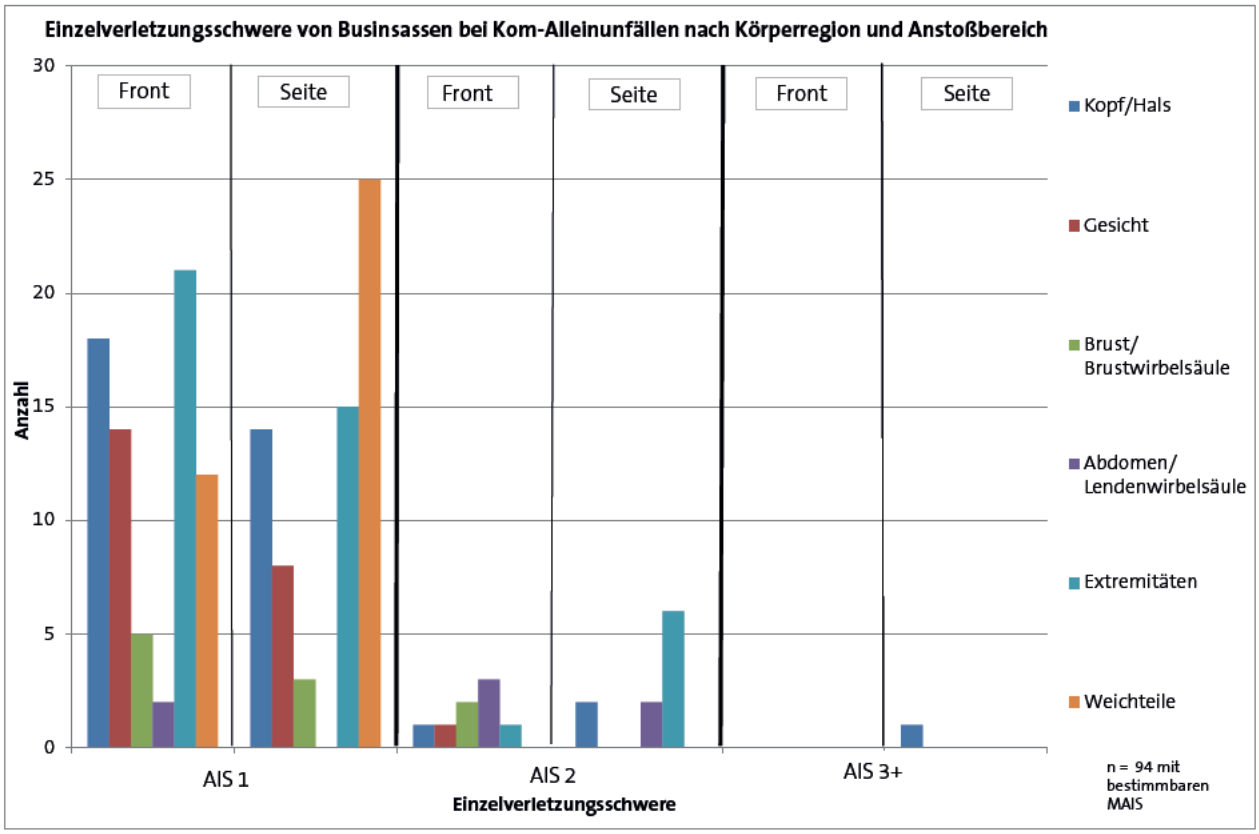


Abbildung 6-15:
Verletzungsschwere der einzelnen Körperregionen verletzter Businsassen unterteilt nach Aufprallart bei Kom-Alleinunfällen

6.1.5.5 Verletzungen der Kraftomnibusfahrer

Im Folgenden sollen die Verletzungen der Kraftomnibuslenker aufgrund ihrer exponierten Sitzposition gesondert betrachtet werden. Gemäß der Definitionen der amtlichen Unfallstatistik verunglückten insgesamt „nur" 25 Kraftomnibusfahrer.

Für die tiefergehende Auswertung der Verletzungsschwere standen von insgesamt 111 Unfällen mit einer Kollision Informationen von 17 verletzten Kom-Fahrern zur Verfügung. Auf Untersuchungen im Hinblick auf den Mittelwert, den Median sowie die Standardabweichung der Gesamtverletzungsschwere (ISS) wird wegen der geringen Fallzahl verzichtet. Weiterhin wird nur auf die Anstoßlage am Kraftomnibus Bezug genommen. Differenzierungen zwischen Alleinunfällen und Unfällen mit anderen Verkehrsteilnehmern (Pkw, Lkw, Kom usw.) werden wegen der geringen Fallzahl nicht vorgenommen.

Die Häufigkeitsverteilung der Einzelverletzungsschwere bei Kraftomnibusfahrern im Hinblick auf die Anstoßlage am Fahrzeug zeigt Abbildung 6-16. Gleich den anderen Kraftomnibusunfallarten waren bei den Frontalzusammenstößen die meisten Verletzungen zu verzeichnen. Überwiegend betraf dies mit einem Anteil von jeweils ca. 24 % nicht weiter zu spezifizierende Prellungen und Abschürfungen an den Weichteilen sowie Abschürfungen und Hämatome an den Händen mit einem AIS 1. Mit einem Gesamtanteil von ca. 17 % kam es bei Frontalkollisionen zu Verletzungen des Kopfes, so z.B. leichte Gehirnerschütterungen. In etwas größerem Umfang als bei den Frontalkollisionen lagen bei den Seitenkollisionen mit einem Anteil von etwa 24 % AIS 1 Verletzungen im Kopf/Halsbereich vor. Vor allem handelte es sich dabei um Stauchungen oder Distorsionen der Halswirbelsäule. Bei allen Anstoßrichtungen waren sowohl AIS 2 als auch AIS 3+ Verletzungen nicht bzw. nur einmalig vertreten.

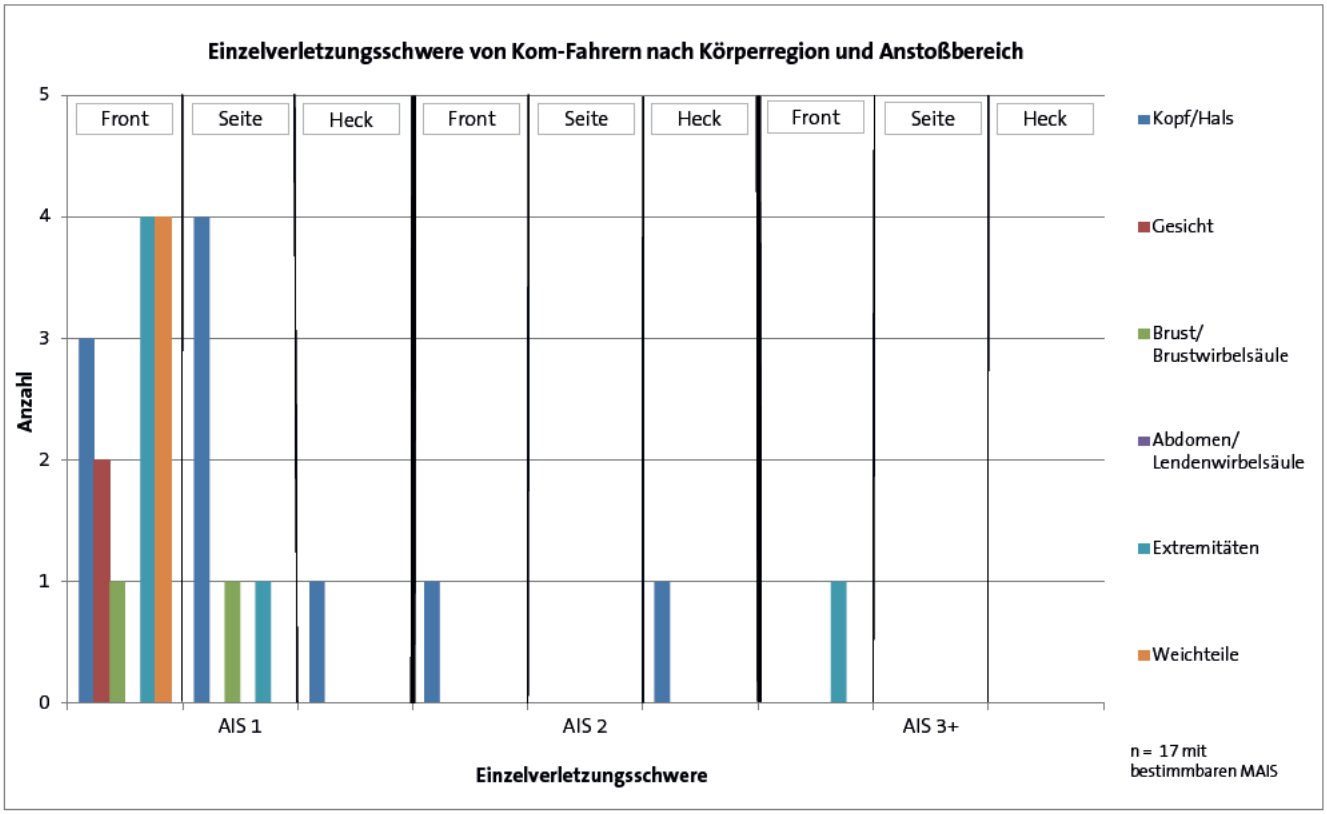


Abbildung 6-16:
Verletzungsschwere der einzelnen Körperregionen verletzter Fahrer unterteilt nach Aufprallart

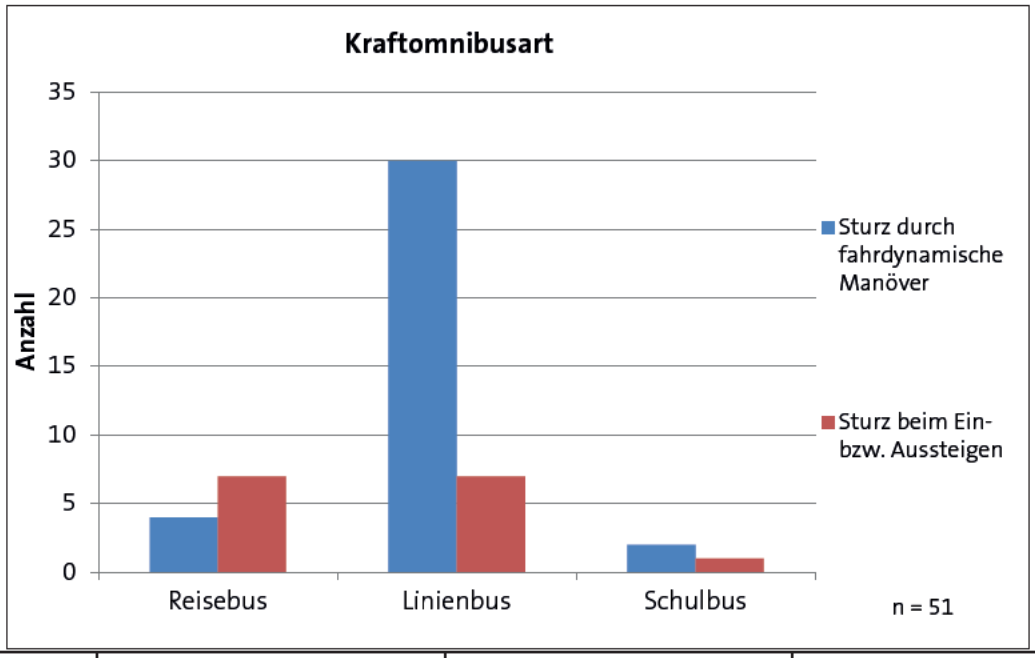
6.2 Non-crash-events

Neben dem Risiko, in einem Kraftomnibus durch eine Kollision mit einem anderen Verkehrsteilnehmer bzw. bei einem Kraftomnibusalleinunfall verletzt zu werden, bildeten die so genannten „Non-crash-events" eine weitere, nicht zu vernachlässigende Gefahrenquelle. Diese Unfälle geschahen zum einen meist im normalen Fahrbetrieb und resultierten entweder aus fahrdynamischen Manövern, wie z.B. Anfahren oder Bremsen des Kraftomnibusses, oder es handelte sich um Stürze der Passagiere beim Ein- bzw. Aussteigen aus dem Kraftomnibus. Die folgenden Auswertungen betreffen diese beiden Gefahrenquellen. Gleich den „Crash-events" wurden auch hier die Auswertungen der Verletzungsschwere nach Körperregionen unterteilt.

Das Datenmaterial umfasste insgesamt 51 Insassen, davon verunglückten 36 bei fahrdynamischen Manövern, weitere 15 Insassen stürzten beim Ein- oder Aussteigen.

Wie die Abbildung 6-17 erkennen lässt, war der überwiegende Teil der Verletzten in Linienbussen zu verzeichnen. Nur ca. 27% der Verletzten waren den Reise- und Schulbussen zuzuordnen. Ausgehend von der Art des vorausgegangenen fahrdynamischen Manövers ereigneten sich 47 % beim Bremsen, 33% beim Beschleunigen und 20 % bei Kurvenfahrten bzw. beim Überfahren von Bodenwellen. In der Gruppe der Verunglückten aus fahrdynamischen Manövern waren sowohl stehende (80%) als auch sitzende Passagiere (20%) inbegriffen. Hinsichtlich des „Unfallgeschehens" stellte sich der Weg von der Fahrzeugtür zum Sitzplatz bzw. vom Sitzplatz zur Fahrzeugtür als besonders kritisch heraus, da sich ältere Businsassen oft frühzeitig von ihren Plätzen erhoben, um rechtzeitig aussteigen zu können.

Bei der weiterführenden Auswertung der Ein- bzw. Aussteigeunfälle, die zu gleichen Anteilen Reise- und Linienbusse betrafen, fiel mit 60 % der hohe Anteil an Verun-



Kraftomnibusart	Sturz durch fahrdynamische Manöver		Sturz beim Ein- bzw. Aussteigen		Gesamt	
	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil
Reisebus	4	7,8 %	7	13,7 %	11	21,6 %
Linienbus	30	58,8 %	7	13,7 %	37	72,5 %
Schulbus	2	3,9 %	1	2,0 %	3	5,9 %
Gesamt	36	70,6 %	15	29,4 %	51	100,0 %

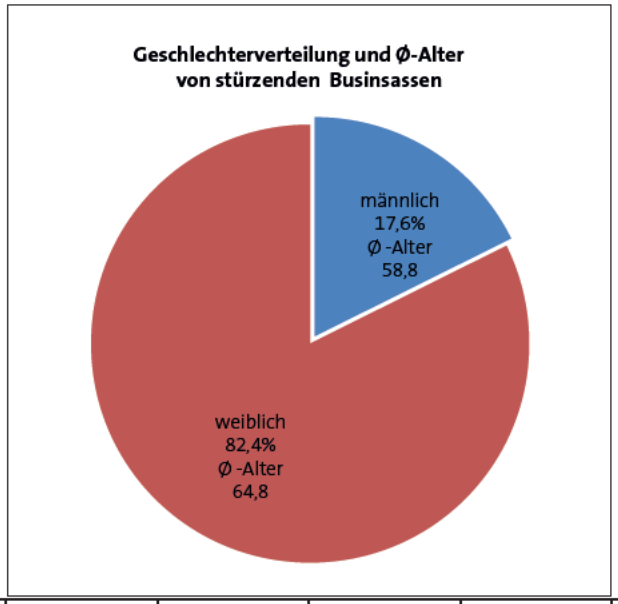
Abbildung 6-17:
Verteilung des Einsatzzwecks bei „Non-crash-events“

glückten durch sich schließende Türen (n = 15 → 100 %) auf, davon 66 % durch schließende Linienbustüren. Sechs der insgesamt 15 Verletzten beim Ein- /Aussteigen (40 %) verletzten sich selbstverschuldet beim Verlassen des Kraftomnibusses, die Hälfte davon erstaunlicherweise beim Verlassen von Niederflurlinienbussen.

6.2.1 Verletzungsschwere und Verletzungsmuster

Abbildung 6-18 gibt die Geschlechterverteilung der verunglückten Insassen wieder. Mehr noch als bei den „Crash-events“ waren bei den „Non-crash-events“ Frauen bedeutend zahlreicher, hier sogar mit einem Anteil von über 80%, als Männer im Datenbestand vorhanden. Auch das Durchschnittsalter mit 64,8 Jahren bei den Frauen und 58,8 Jahren bei den Männern lag bei beiden Geschlechtern deutlich über denen bei Kollisionsunfällen. Erstmals in dieser Studie wiesen Frauen eine höhere Gesamtverletzungsschwere als Männer auf. Im Mittel lag der ISS bei den Männern bei 5,1, bei den Frauen betrug das arithmetische Mittel des ISS 5,8. Die Standardabweichung errechnete sich zu ±2,7 bzw. ±3,6. Anhand der Tabelle in Abbildung 6-18 ist ferner festzustellen, dass stürzende Businsassen im Vergleich zu Kraftomnibusunfällen mit vorangehenden Kollisionen insgesamt schwerer verletzt wurden.

Die Häufigkeitsverteilung der Einzelverletzungsschwere bei „Non-crash-events“ zeigt Abbildung 6-19. Gleich den „Crash-events“ zeigte sich ein überproportionales Auftreten der AIS 1 Verletzungen an den Weichteilen. Mehrheitlich betraf dies nicht weiter spezifizierbare Prel-



Sturz beim Ein-/Aussteigen bzw. bei Fahrmanövern	Anzahl	Anteil	ISS Mittelwert	ISS Median	ISS Standardabweichung
männlich	9	17,6 %	5,1	4	± 2,7
weiblich	42	82,4 %	5,8	5	± 3,6

Abbildung 6-18:
Durchschnittsalter und Gesamtverletzungsschwere nach Geschlecht bei „Non-crash-events“

lungen und Abschürfungen der Weichteile. Im Vergleich zu den anderen Unfallarten sind in auffällig größerer Anzahl AIS 2 (35%) und AIS 3 (15%) Verletzungen der Extremitäten vorgekommen. Dies lässt sich sowohl für die Ein- und Aussteigeunfälle als auch für die umstürzenden Insassen durch Fahrmanöver festhalten. Frakturen der unteren Extremitäten, insbesondere des Oberschenkels (Oberschenkelhalsbruch – AIS 3), zählten zu den häufigsten Verletzungen. Hinzu kamen Kontusionen (AIS 1) bzw. Frakturen der Beckenknochen, Frakturen des Schien-, des Wadenbeins und der Kniescheibe, die einen AIS 2 jedoch nicht überschritten. Entgegen den anderen Unfallarten waren bei den „Non-crash-events“ vermehrt Frakturen einzelner Lenden- und Brustwirbel sowie Rippenbrüche zu finden.

Die insgesamt höhere Gesamtverletzungsschwere der Verletzten aus „Non-crash-events“ lässt sich wie auch schon in [42] durch die größere Anzahl an AIS 3+ Verletzungen, also deutlich schwereren Verletzungen, bedingt durch das höhere Durchschnittsalter und der damit einhergehenden Verringerung der körperlichen Belastbarkeit und des verringerten Reaktions- und Festhaltevermögens erklären.

In [15] wurde bereits 1999 ermittelt, dass ein „sicheres Stehen“ von älteren Businsassen mit einer Hand an der Haltestange bis Verzögerungen/Beschleunigungen von 3 m/s², bei jüngeren Insassen bis 5 m/s² möglich ist. Eine weiterführende, bisher noch nicht veröffentlichte Untersuchung zum Festhaltevermögen hat gezeigt, dass sich auch Geübte (Probanden) nicht immer ausreichend festhalten konnten, obwohl sie auf eine bevorstehende Bremsung vorbereitet waren.

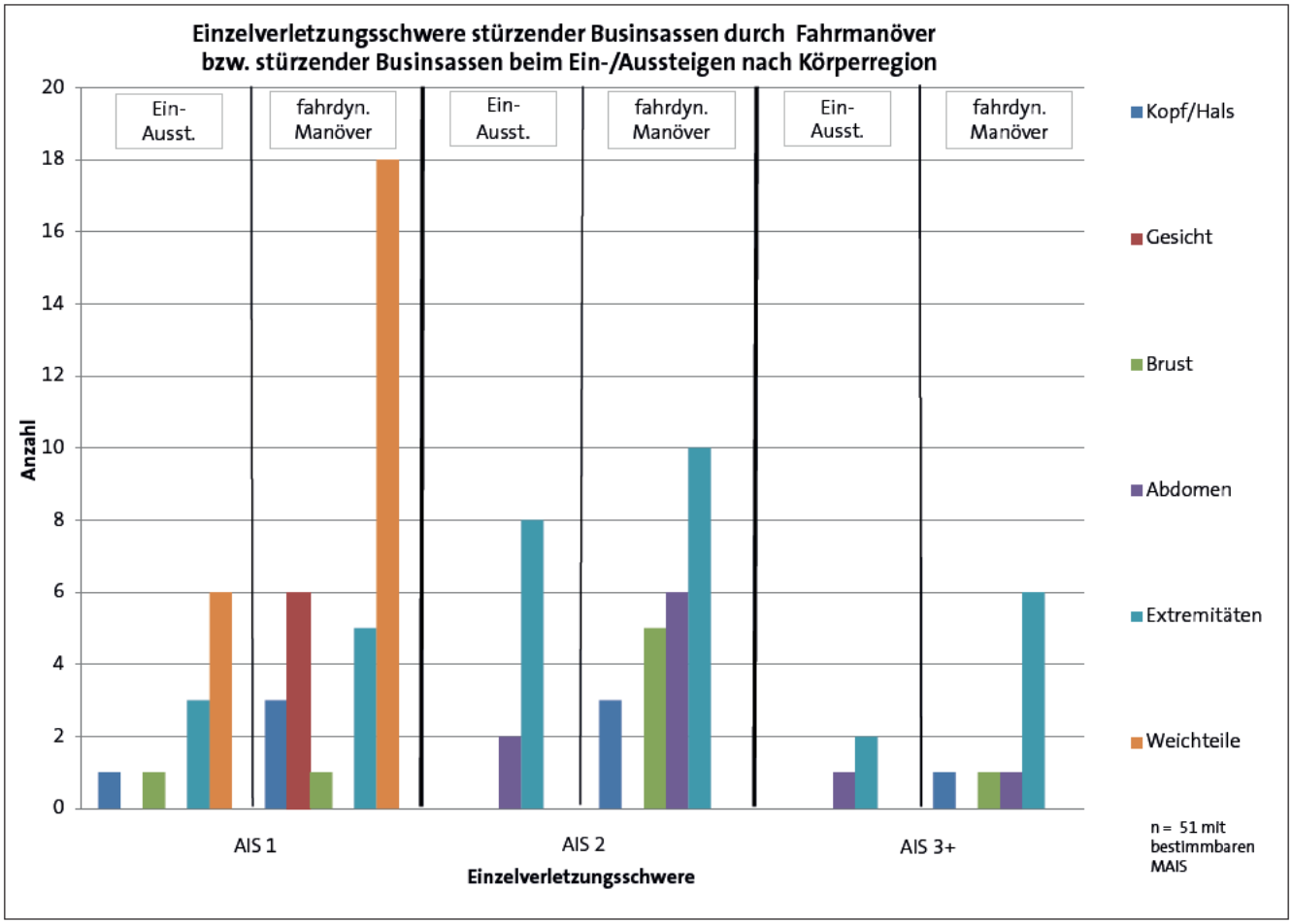


Abbildung 6-19:
Verletzungsschwere der einzelnen Körperregionen verletzter Businsassen bei „Non-crash-events“

7 Aktive Sicherheit

7.1 Methodisches Vorgehen

Eine retrospektive Analyse des Sicherheitspotenzials von Fahrerassistenzsystemen kann auf zwei verschiedene Art und Weisen erfolgen. So kann beispielsweise ein Vergleich zwischen zwei Unfallgruppen durchgeführt werden: „Fahrzeuge mit FAS“ und „Fahrzeuge ohne FAS“. Dieser Ansatz wurde hier jedoch nicht verfolgt, da zum einen noch zu wenig Fahrzeuge mit modernen Fahrerassistenzsystemen im Gesamtbestand (und im Unfallgeschehen) zu finden sind und zum anderen ein Vergleich spezieller Produkte nicht erfolgen sollte. Eine weitere Möglichkeit bietet die Methode “Was wäre wenn“. Hier wird der Unfallablauf betrachtet, so wie er in der Realität stattfand und ihm der errechnete Unfallablauf mit dem Fahrerassistenzsystem gegenübergestellt. So kann ermittelt werden, welchen Einfluss ein Fahrerassistenzsystem auf das Unfallgeschehen hätte, wenn alle Fahrzeuge mit dem betrachteten System ausgestattet wären.

Für die Umsetzung der Methode „Was wäre wenn“ müssen die Unfallumstände (Unfallablauf) und die Eigenschaften des zu untersuchenden Systems bekannt sein. Das zur Verfügung stehende Fallmaterial mit dem Selektionskriterium „Unfälle mit mindestens 15.000€ Schadenaufwand“ bieten aufgrund der hohen Informationsdichte in den Akten eine gute Datenbasis. Darüber hinaus wurden notwendige, generische Eigenschaften für die Fahrerassistenzsysteme abgeleitet. Somit waren alle Voraussetzungen für eine Auswertung des Datenmaterials nach dieser Methode erfüllt.

Die Unfallforschung der Versicherer hat theoretisch Zugriff auf alle dem GDV gemeldeten Kraftfahrzeug-Haftpflicht-Schadenfälle. Für das Jahr 2010 waren dies 3,6 Mio. Schadenfälle, davon ca. 14.000 Schadenfälle von Kraftomnibussen. Für die Zwecke der Unfallforschung existiert bei der UDV eine Unfall-Datenbank (UDB), die einen repräsentativen Ausschnitt aus diesem großen Datenbestand aller dem GDV angeschlossenen Versicherungsunternehmen abbildet. Basis der UDB sind die Inhalte der Schadenakten der Versicherer. Dabei übersteigt die Informationstiefe der UDB die der Bundesstatistik deutlich. Sie ist vergleichbar mit GIDAS, allerdings ist die Aussagefähigkeit einiger UDB-Merkmale eingeschränkt, da keine Analyse des Unfalls vor Ort durchgeführt wird.

Für die UDB werden ausschließlich Kraftfahrzeug-Haftpflicht-Schadenfälle mit Personenschaden und mindestens 15.000€ Schadenaufwand berücksichtigt. Fälle mit nur Sachschaden sowie Unfälle mit Personenschaden und einem Schadenaufwand <15.000€ sind in der UDB nicht enthalten. Mit Hilfe eines Stichprobenverfahrens werden jährlich geschichtete Stichproben gezogen, die die Art der Verkehrsteilnahme, die Schadenhöhenklasse und die Jahreszeit als Schichtungsvariablen berücksichtigen. Mittels fallbezogener Hochrechnungsfaktoren ist es möglich, die in der UDB enthaltene Stichprobe („n“) auf die Grundgesamtheit aller Versicherungsschäden in Deutschland („N“) hochzurechnen. Damit ist sichergestellt, dass sich die Aussagen zum Sicherheitspotential von Fahrerassistenzsystemen auf einen repräsentativen Ausschnitt des Schadengeschehens der Deutschen Versicherer beziehen.

Die Analyse des Sicherheitspotentials erfolgte mit Hilfe eines Mehrstufen-Verfahrens. Ausgehend von den in der UDB abgelegten Unfalldaten wurden im ersten Schritt alle Unfälle für jeweils eine Fahrzeugart (hier Kraftomnibus) selektiert. Diese Gruppe von Unfällen bildete den so genannten „Datenpool“ für diese Fahrzeugart. Auf diese Grundgesamtheit von Fällen sollten sich später die ermittelten FAS- Sicherheitspotenziale beziehen.

Im zweiten Schritt wurden die Schwerpunkte im Unfallgeschehen ermittelt. Hierzu eignen sich der „Unfalltyp“ oder die „Unfallart“. Der vom GDV entwickelte dreistellige „Unfalltyp“ beschreibt den ersten Konflikt zwischen zwei Verkehrsteilnehmern, der den Unfall ausgelöst hat. Die „Unfallart“ [37] hingegen gibt die Stellung der eigentlichen Kollisionskontrahenten zueinander unmittelbar vor ihrem Zusammenstoss an. Diese Merkmale sind von der Definition her voneinander unabhängig, bieten aber beide eine gute Möglichkeit, die Unfälle in Gruppen zusammenzufassen, um daraus Tendenzen im Hinblick auf mögliche Unfallschwerpunkte zu erkennen.

Bei der hier vorliegenden Fragestellung zur Unfallvermeidung war jedoch eine kombinierte Abfrage der beiden Merkmale erforderlich, um wirklich alle Szenarien (z.B. alle Auffahrunfälle) erfassen zu können.

Die Zusammenstellung der typischen Unfallszenarien kann nun für eine erste Vorauswahl sinnvoller FAS- Gruppen benutzt werden. Diese Aufstellung gibt jedoch noch nicht das theoretische Sicherheitspotenzial der generischen FAS wieder, vielmehr können mögliche vielversprechende FAS-Gruppen entsprechend der Methodik identifiziert werden. Die festgelegten Unfallszenarien ergeben innerhalb des Datenpools wiederum Teilmengen, die für jedes der zu untersuchenden FAS getrennt betrachtet werden können („Relevanzpool 1“). Dieser Relevanzpool1 (z.B. alle Auffahrunfälle) zeigt für das jeweilige FAS eine erste Relevanz im Unfallgeschehen, ohne dabei konkrete Systemauslegungen zu berücksichtigen (z.B. System kann keine stehenden Hindernisse erkennen).

In einem dritten Schritt wurden für die festgelegten FAS generische Systemeigenschaften (Funktionalitäten) abgeleitet. Je nach System erfolgte dies unter der Annahme mehrerer Entwicklungsstufen (z.B. Notbremsassistent 1, Notbremsassistent 2), so dass die höchste Entwicklungsstufe die fortschrittlichsten Systemeigenschaften aufweist und somit das höchste Potenzial erwarten lässt. Dabei spielte es für die Analyse keine Rolle, ob die technischen Systemeigenschaften heute bereits realisiert werden können und ob die betrachteten Systeme bereits auf dem Markt verfügbar sind. Es war auch nicht beabsichtigt, Produktvergleiche anzustellen. Mit genauer Kenntnis darüber, was die Systeme tatsächlich können müssen, wurde der Relevanzpool 1 weiter eingegrenzt. Aus diesem Pool 1 wurden nur noch diejenigen Unfälle gefiltert, die ausschließlich über die definierten Systemeigenschaften adressiert werden konnten (z.B. nur Auffahrunfälle auf bewegte Fahrzeuge). Dieser Relevanzpool 2 berücksichtigt also auch die Systemgrenzen und ist eine Teilmenge von Relevanzpool 1. Im vierten Schritt der „Was wäre wenn-Methode“ wurde der Relevanzpool 2 einer Einzelfallanalyse unterzogen. Für jeden Fall aus diesem Pool wurde detailliert der Frage nachgegangen, ob ein positiver Einfluss durch das FAS zu erwarten gewesen wäre. Dabei wurde nach zwei Aspekten unterschieden, und zwar ob der Unfall
a) vermeidbar, oder
b) nur positiv beeinflussbar
gewesen wäre.

Für die vorliegende Untersuchung wurde festgelegt, dass ein Unfall als theoretisch vermeidbar gilt, wenn dieser durch den Einfluss eines FAS nicht mehr stattgefunden hätte.

Zeigt die Analyse aber, dass der Unfall auch unter dem Einfluss eines FAS passiert wäre, jedoch möglicherweise mit leichteren Unfallfolgen, so gilt dieser als positiv beeinflussbar (z.B. Senkung der Kollisionsgeschwindigkeit → Verringerung der Fahrzeugbeschädigung → Verringerung der Verletzungsschwere der Insassen).

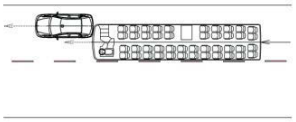
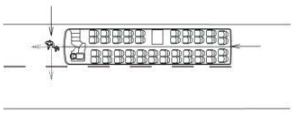
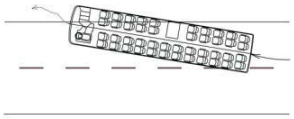
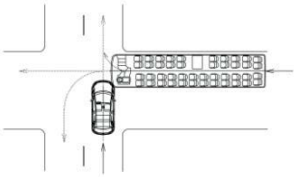
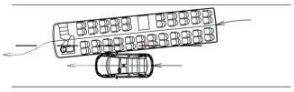
Der vorliegenden Untersuchung standen insgesamt n = 213 Kraftomnibusunfälle mit 218 beteiligten Kraftomnibussen aus der UDV-Datenbank zur Verfügung. Mittels fallbezogener Hochrechnungsfaktoren konnten diese 213 Fälle auf eine Gesamtheit von N = 3.596 Unfälle unter Kraftomnibusbeteiligung hochgerechnet werden. Die im Folgenden ermittelten Nutzenpotenziale von FAS beziehen sich auf diese Grundgesamtheit von N = 3.596 Fällen. Das einbezogene Fallmaterial stammte zu 92,5% aus den Jahren 2005 – 2007. Weitere 7,5% der Unfälle ereigneten sich bereits in den Jahren 2001 bis 2004.

Neben den einbezogenen Unfällen mit anderen Verkehrsteilnehmern (Fußgänger, Radfahrer, Lastkraftwagen, Personenkraftwagen und Kraftomnibusse) fanden ferner auch Alleinunfälle, die jedoch nur einen Anteil von ca. 5% des gesamten Datenpools bilden, Eingang in die Betrachtungen.

7.2 Kom-Fahrerassistenzsysteme

Anhand des Merkmals „Unfallart“ wurden die zur Verfügung stehenden Kraftomnibusunfälle klassifiziert und nach der Häufigkeit ihres Auftretens sortiert, Tabelle 7-1.

Tabelle 7-1:
Übersicht der häufigsten Unfallszenarien mit Kraftomnibussen

Die häufigsten Unfallszenarien ($n_{Datepool}$=213)		Anteil	Die häufigsten Unfallszenarien ($n_{Datepool}$=213)		Anteil
(1) Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das - vorausfährt oder wartet - anfährt, anhält oder im ruhenden Verkehr steht		24,9%	(5) Zusammenstoß zwischen Fahrzeug und Fußgänger		11,7%
(2) Unfall anderer Art	Ausschließlich Insassenunfälle	24,4%	(6) Abkommen von der Fahrbahn nach rechts/links		7,0%
(3) Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das einbiegt oder kreuzt		14,6%	(7) Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das seitlich in gleicher Richtung fährt		4,2%
(4) Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das entgegenkommt		13,2%			

In Hinblick auf die Ermittlung der Leistungsfähigkeit zur Vermeidung von Kraftomnibusunfällen mit Personenschaden wurden die folgenden Fahrerassistenzsysteme, die teils für Neufahrzeuge ab 11/2014 bzw. ab 07/ 2015 (EG 661/2009) gesetzlich vorgeschrieben sind [50], analysiert:

- Notbremsassistent
- Abbiegeassistent (für Fußgänger und für Radfahrer)
- Lane Departure Warning-System – LDW (Spurverlassenswarner)
- Totwinkelwarner
- ESP.

Den größten Anteil des Kom-Unfallgeschehens bildeten mit ca. 25 % Auffahrunfälle auf vorausfahrendende oder stehende Kraftfahrzeuge. Diese könnten beispielsweise durch intelligente Notbremssysteme adressiert werden. Daneben waren in gleicher Anzahl „Unfälle anderer Art" vertreten. Bei diesem Unfallszenario handelte es sich stets um stürzende Businsassen aufgrund eingeleiteter fahrdynamischer Vorgänge (Brems-, Beschleunigungsvorgänge sowie Kurvenfahrten) bzw. um zu Fall kommende Insassen beim Ein- und Aussteigen aus dem Bus. Für die Analysen der Fahrerassistenzsysteme spielte dieses Unfallszenario keine Rolle.

Des Weiteren könnten die Unfallszenarien (4), (6) und (7), die zusammen einen Anteil von ca. 24 % am gesamten Kraftomnibusunfallgeschehen bildeten, durch ESP, Lane Departure Warning-System bzw. Totwinkelwarner beeinflusst werden.

7.2.1 Notbremsassistent (NBA)

Bei dieser Analyse wurden nur Notbremsassistenten untersucht, die ausschließlich Auffahrunfälle adressieren und sich damit stark an den heute bereits auf dem Markt verfügbaren Notbremssystemen orientieren. Es wurden zwei Auslegungsstufen definiert: Der Notbremsassistent 1 (NBA 1) reagiert nur auf vorausfahrende, zweispurige Fahrzeuge, während der Notbremsassistent 2 (NBA 2) in seiner zweiten Auslegungsstufe auch stehende Fahrzeuge detektieren kann.

Das hier zu betrachtende System NBA 1 stellt einen Notbremsassistenten der heutigen Generation dar und entspricht in etwa dem Active Brake Assist (ABA), wie er auch schon im Reiseomnibus Mercedes Benz Travego verfügbar ist. Es handelt sich dabei um ein vollautomatisches System, das bei akuter Gefahr warnt, eine Teilbremsung einleitet und schließlich bei ausbleibender Fahrerreaktion eine Vollbremsung bis zum Stillstand durchführt. Der NBA 1 reagiert ausschließlich auf vorausfahrende Fahrzeuge. Die Systemeigenschaften sind noch einmal in Tabelle 7-2 zusammenfassend beschrieben. Das Fahrerassistenzsystem NBA 2 beruht, wie bereits erwähnt, auf den Systemeigenschaften des NBA 1, erweitert um die Funktionalität des Erkennens stehender Fahrzeuge.

Ausgehend von einem Datenpool von N = 3.596 wurden zunächst alle Fälle ausgewählt, bei denen keine Kollision vorausgegangen und der Kraftomnibus das auffahrende Fahrzeug war (Relevanzpool 1). Anschließend erfolgte die Selektierung bezüglich zweispuriger, vorausfahrender Kraftfahrzeuge (Relevanzpool 2).

Wie Tabelle 7-3 zeigt, errechnet sich die positive Beeinflussbarkeit durch den heutigen Notbremsassistenten bezogen auf alle Unfälle zu 9%, bezogen auf alle Auffahrunfälle sogar zu etwa 54% (Relevanzpool 1 N = 591). Für die Gruppe Reisebusse ergibt sich eine positive Beeinflussbarkeit von etwa 4,5 %, für die Gruppe der Linienbusse von ca. 12 %. Bezüglich der tödlich Verletzten könnten mit dem heutigen Notbremsassistenten ca. 17% adressiert werden, Tabelle 7-4.

Durch die Erweiterung des NBA 1 um die Erkennung stehender Fahrzeuge (NBA 2) erhöhte sich das Potenzial adressierbarer Unfälle von ca. 9% auf etwa 15%, Tabelle 7-5. Bei den Leichtverletzten ist eine Erhöhung des Potenzials um 5,8%, bei den Schwerverletzten ist eine Steigerung um etwa das sechsfache im Vergleich zum Notbremsassistenten der heutigen Generation zu erwarten, Tabelle 7-6. Dies zeigt deutlich den hohen Nutzen eines solchen Fahrerassistenzsystems.

Differenziert man in einem weiteren Schritt nach der Kraftomnibusart, so errechnet sich für alle beteiligten Linienbusse eine positive Beeinflussbarkeit durch den morgigen Notbremsassistenten (NBA 2) von ca. 17 %,

Tabelle 7-2:
Systemeigenschaften und abgeleitete Datenbankmerkmale für den Kom- Notbremsassistenten der heutigen (NBA 1) und zukünftigen Generation (NBA 2)

Systemeigenschaften	Datenbankmerkmale
NBA 1	
▪ Umfelderkennung nach vorn (Nutzung der Radarsensoren des Abstandsregeltempomats) ▪ Detektion von 2spurigen, vorausfahrenden Fahrzeugen (nicht stehend)	▪ Auffahrunfälle auf 2spurige, vorausfahrende Fahrzeuge
NBA 2	
▪ wie NBA 1 ▪ Detektion von 2spurigen, vorausfahrenden und stehenden Fahrzeugen	▪ Auffahrunfälle auf 2spurige, vorausfahrende und stehende Fahrzeuge

Tabelle 7-3:
Positiv beeinflussbare Unfälle durch durch NBA 1

pos. beeinflussbare Kom-Unfälle durch	**Datenpool [100 %]**	**Relevanzpool 1**	**Relevanzpool 2**	**SP_{theor}**
NBA 1 alle Busse	3.596	591	319	319 **8,9 %**
NBA 1 Linienbusse	2.349	---	279	279 **11,9 %**
NBA 1 Reisebusse	883	---	40	40 **4,5 %**
NBA 1 Schulbusse	278	---	0	0 **0 %**
NBA 1 Kom-Art n.e.	278	---	0	0 **0 %**

Tabelle 7-4:
Adressierbare Verunglückte durch NBA 1

adressierbare Verunglückte durch **NBA 1**	Anzahl Verunglückte im Datenpool (alle Kom-Unfälle)	adressierbare Verunglückte	
		Anzahl	SP_{theor}%
Getötete	151	25	**16,6**
Schwerverletzte	2.111	14	**0,7**
Leichtverletzte	5.942	571	**9,6**

Tabelle 7-5:
Positiv beeinflussbare Unfälle durch NBA 1 sowie NBA 2

pos. beeinflussbare Kom-Unfälle durch	**Datenpool [100 %]**	**Relevanzpool 1**	**Relevanzpool 2**	**SP_{theor}**
NBA 1 alle Busse	3.596	591	319	319 **8,9 %**
NBA 2 alle Busse	3.596	591	543	224 (6,2 %) **15,1 %**

Tabelle 7-6:
Positiv beeinflussbare Verunglückte durch NBA 2

adressierbare Verunglückte durch **NBA 2**	Anzahl Verunglückte im Datenpool (alle Kom-Unfälle)	adressierbare Verunglückte	
		Anzahl	SP_{theor}%
Getötete	151	25	**16,6**
Schwerverletzte	2.111	90	**4,3**
Leichtverletzte	5.942	914	**15,4**

Tabelle 7-7:
Positiv beeinflussbare Unfälle durch NBA 2 nach Kraftomnibusart

pos. beeinflussbare Kom-Unfälle durch	**Datenpool [100 %]**	**Relevanzpool 1**	**Relevanzpool 2**	**SP_{theor}**
NBA 1 Linienbusse	2.349	---	391	391 **16,6 %**
NBA 2 Reisebusse	883	---	153	153 **17,3 %**
NBA 2 Schulbusse	86	---	0	0 **0 %**
NBA 2 Kom-Art n.e.	278	---	0	0 **0 %**

für die Gruppe Reisebusse ergibt sich ebenfalls eine positive Beeinflussbarkeit von etwa 17 %, Tabelle 7-7. Auf eine weiterführende Betrachtung zwischen verletzten Businsassen und verletzten Insassen des jeweiligen Unfallgegners, so z.B. Pkw-Insassen, wird an dieser Stelle verzichtet. Es soll nur so viel gesagt werden, dass im Hinblick auf die Einführung des Notbremsassistenten vor allem in Linienbussen ein Zielkonflikt zwischen dem Vermeidungspotenzial von Kollisionen und dem hohen Verletzungsrisiko von stürzenden Businsassen durch eine abrupt eingeleitete Verzögerung des Linienbusses gegeben ist.

7.2.2 Abbiegeassistent

Da ein derartiges Fahrerassistenzsystem gegenwärtig bei keinem Kraftomnibushersteller verfügbar ist, entsprechen die generischen Systemeigenschaften des Abbiegeassistenten für Kraftomnibusse denen, die bereits heute in modernen Lkw in Erprobung sind. Die grundlegenden Systemeigenschaften des Kom-Abbiegeassistenten und die abgeleiteten Datenbankmerkmale zeigt Tabelle 7-8.

Bei diesem System wird der Kom-Fahrer beim Abbiegemanöver nach rechts unterstützt. Mittels Sensoren werden die Bereiche vor und neben dem Fahrzeug überwacht, die Warnung erfolgt, sobald sich ein Fußgänger bzw. Radfahrer nähert. Ferner erhält der Fahrer eine Warnung, sofern sich beim Anfahrvorgang ein Fußgänger unmittelbar vor dem Fahrzeug befindet, Abbildung 7-1. Eine weiterführende mögliche Systemeigenschaft besteht darin, dass eine Warnung des Kraftomnibusfahrers beim Heranfahren an bzw. beim Abfahren von Haltestellen erfolgt, sofern sich Fußgänger in der direkten Umgebung zum Bus aufhalten.

Die weiterführenden Analysen des zur Verfügung stehenden Fallmaterials (N = 3.596) ergaben, dass ca. 15 % der Kom- Unfälle sich beim Abbiegen ereigneten. 12 % dieser Fälle waren auf eine Kollision des Kraftomnibusses mit einem Radfahrer oder einem Fußgänger zurückzuführen. Für die Analyse eines geeigneten Fahrerassistenzsystems wurden in einem ersten Schritt alle Kom- Abbiegeunfälle sowie Fälle, bei denen sich Fußgänger beim Heranfahren an bzw. beim Abfahren von Haltestellen in unmittelbarer Nähe des Kraftomnibusses aufhielten, zusammengefasst (Relevanzpool 1; N = 690). Aus diesem Pool wurden alle Kollisionen mit Radfahrern und Fußgängern selektiert und zum Relevanzpool 2 mit N = 86 Fällen zusammengefasst.

Für die Einzelfallanalyse wurde ein idealer Fahrer angenommen, der rechtzeitig auf die Warnung reagiert und entsprechend bremst. Jeder Fall wurde in seinem Ablauf neu betrachtet und dabei beurteilt, ob unter den getroffenen Annahmen eine Vermeidbarkeit gegeben wäre. Um den Fall hinsichtlich der Vermeidbarkeit eindeutig zu beurteilen, wurden die Analysen ausschließlich unter dem Aspekt durchgeführt, dass im Realunfall ein Fehlverhalten des Fahrers vorlag. Unfälle die sich

Tabelle 7-8:
Systemeigenschaften und abgeleitete Datenbankmerkmale für den Abbiegeassistenten für Kraftomnibusse bezüglich Radfahrer und Fußgänger

Systemeigenschaften		Datenbankmerkmale
Abbiegeassistent (Rf - Fg)		
Umfelderkennung nach vorne (sensorenabhängig)		Abbiegeunfälle mit Radfahrern und Fußgängern
Detektion von:	langsam, sich rechts neben derm Fahrzeug bewegenden Radfahren, die vom Kom mit geringem Seitenabstand überholt werden	Alle Kom-Abbiegeunfälle mit Fußgängern und Radfahrern, Unfälle mit Fußgängern, die den stehenden bzw. anfahrenden Kom kreuzen sowie Unfälle mit Überholen des Radfahrers durch den Kom
	Radfahrern, die sich beim Rechtsabbiegen des Kom von hinten auf diesen zu bewegen	
	Radfahrern, die sich rechts neben dem stehenden Kom einordnen	
	Fußgängern, die sich dem stehenden oder abbiegenden Kom seitlich nähern	
	Fußgängern, die sich beim Anfahrne des Kom vor dem Fahrzeug befinden	
	kein Potenzial beim Linksabbiegen, wenn sich der Fußgänger oder Radfahrer von rechts nähert	

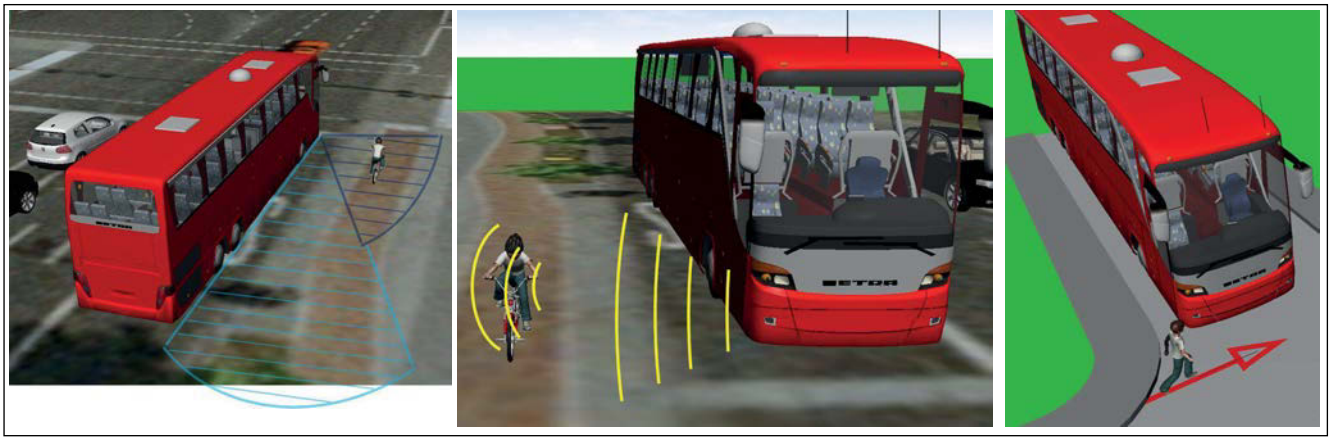


Abbildung 7-1:
Schematische Darstellung des Abbiegeassistenten für Kraftomnibusse bezüglich Radfahrer und Fußgänger

durch ein eindeutiges Fehlverhalten eines überholten Fahrradfahrers ereigneten, wurden als nicht vermeidbar betrachtet und fanden somit keinen Eingang in die Vermeidbarkeitsbetrachtungen. Auf eine differenzierte Unterscheidung zwischen Fußgängern und Radfahrern wurde verzichtet.

Bezogen auf den gesamten Datenpool ergab sich für den Abbiegeassistenten ein theoretisches Vermeidungspotenzial von etwa 2 %, Tabelle 7-9. Für die Gruppe der Linienbusse ergab sich eine Vermeidbarkeit von 3,4 %. Darüber hinaus wären 4 % der Schwerverletzten bei diesen Unfällen vermeidbar, Tabelle 7-10. Da im vorliegenden

Relevanzpool 2 keine getöteten bzw. leichtverletzten Radfahrer und Fußgänger vorhanden waren, war eine Analyse des Vermeidungspotenzials bei diesen beiden Gruppen der Verunglückten nicht möglich. Weiterführende Analysen ergaben, dass etwa 19 % aller Fußgänger- und Radfahrer-Kom-Unfälle durch einen Abbiegeassistenten theoretisch vermeidbar wären, Tabelle 7-11. Sowohl Reise- als auch Schulbusse waren bei Unfällen, die durch einen Abbiegeassistenten adressiert werden könnten, nicht vorhanden.

Tabelle 7-9:
Vermeidbare Kom- Unfälle durch den Abbiegeassistenten

Vermeidbare Kom-Unfälle durch	**Datenpool [100 %]**	**Relevanzpool 1**	**Relevanzpool 2**	**SP_{theor}**
Abbiegeassistent alle Busse	3.596	690	86	86 **2,4 %**
Abbiegeassistent Linienbusse	2.349	---	81	81 **3,4 %**
Abbiegeassistent Reisebusse	883	---	0	0 **0 %**
Abbiegeassistent Schulbusse	86	---	0	0 **0 %**
Abbiegeassistent Kom-Art n.e.	278	---	5	5 **1,8 %**

Tabelle 7-10:
Vermeidbare Verunglückte durch den Kom- Abbiegeassistenten bei Unfällen zwischen Kraftomnibussen und Fußgänger/ Radfahrern

adressierbare Verunglückte durch **Abbiegeassistenten**	Anzahl Verunglückte im Datenpool (alle Kom- vs. Fußgänger/ Radfahrer-Unfälle)	adressierbare Verunglückte	
		Anzahl	SP_{theor} %
Getötete	151	0	**0,0**
Schwerverletzte	2.111	86	**4,1**
Leichtverletzte	5.942	0	**0,0**

Tabelle 7-11:
Vermeidbare Kom- vs. Fußgänger/ Radfahrer-Unfälle durch den Abbiegeassistenten

vermeidbare Kom vs. Fußgänger/Radfahrer-Unfälle durch	**Datenpool**	**Relevanzpool 1 [100 %]**	**Relevanzpool 2**	**SP_{theor}**
Abbiegeassistent	3.596	462	86	86 **18,6 %**

7.2.3 Lane Depature Warning-Systems (LDW) – Spurverlassenwarner

Unfälle durch unbeabsichtigtes Verlassen der Fahrbahn (Unfallszenario 6) und der seitliche Zusammenstoß mit Fahrzeugen, die in gleicher Richtung fahren (Unfallszenario 7), bilden zusammen etwa 11 % des gesamten Fallmaterials und könnten durch einen Spurwechselassistenten und durch das Lane Departure Warning-System positiv beeinflusst werden.

Das betrachtete LDW-System basiert in seiner Funktionalität auf dem heute bereits bei einigen Herstellern (Mercedes Benz, Evobus, MAN) erhältlichen Spurverlassenwarner. Über die Hell-Dunkel-Kontraste der Mittellinien bzw. die hellen Markierungen der Fahrbahnbegrenzungen ermittelt eine Videokamera hinter der Frontscheibe den Verlauf der Fahrbahn vor dem Fahrzeug, Abbildung 7-2. Die Warnung des Fahrers vor einem unbeabsichtigtem Verlassen des Fahrstreifens erfolgt durch akustische, visuelle oder haptische Signale [38, 39]. Das System unterstützt den Fahrer damit auf Autobahnen und auf gut ausgebauten Landstraßen, die Spur zu halten, auch wenn er unaufmerksam ist.

Die erste Gruppe innerhalb des Unfallschwerpunkts „Unfälle durch Wechseln der eigenen Fahrspur“ (Relevanzpool 1; N = 371) wurde zunächst aus Unfällen, die durch ein ungewolltes Abkommen von der Fahrspur verursacht worden sind (Relevanzpool 2; N = 19 Fälle), gebildet. Für die Einzelfallanalysen wurde ein idealer Fahrer vorausgesetzt, der unmittelbar auf die Warnungen des Fahrerassistenzsystems reagiert und dem Verlassen der Fahrspur entgegenwirkt. Waren ausreichend Anknüpfungstatsachen vorhanden, um anzunehmen, dass unter dem Einfluss des Systems der Bus seine Fahrspur nicht verlassen hätte, galt der Unfall als vermeidbar.

Bei den durchgeführten Analysen errechnete sich - bezogen auf den gesamten Datenpool - eine Vermeidbarkeit von etwa einem halben Prozent. Bezogen auf „Unfälle durch Wechseln der eigenen Fahrspur“ um etwa 5 %, Tabelle 7-12. Für die Gruppe der Linienbusse ergab sich eine Vermeidbarkeit von 0,3 %. Darüber hinaus wären 1,5 % der Unfälle unter Reisebusbeteiligung vermeidbar. Die Verunglückten (Schwer- und Leichtverletzte) würden sich etwa um jeweils 2 % reduzieren lassen, Tabelle 7-13. Da im vorliegenden Relevanzpool 2 keine getöteten Unfallbeteiligten bzw. Insassen vorhanden waren, war eine

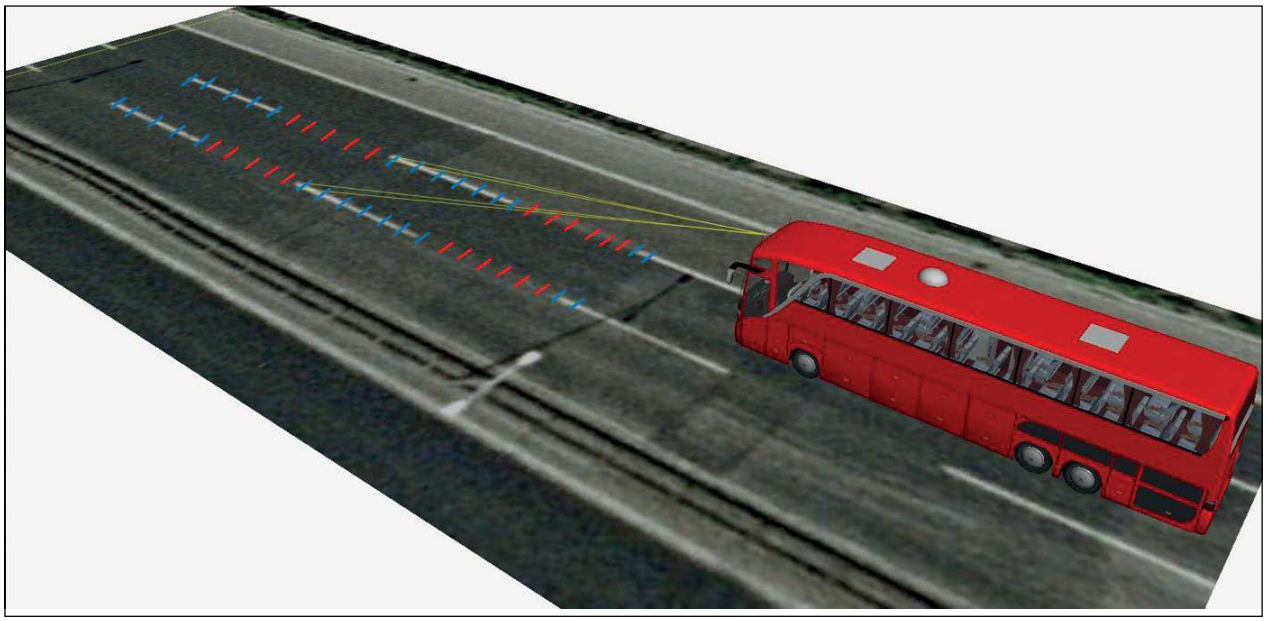


Abbildung 7-2:
Schematische Darstellung der Funktionsweise des LDW für Kraftomnibusse

Analyse des Vermeidungspotenzials bei dieser Gruppen der Verunglückten nicht möglich. Auf weiterführende Differenzierungen hinsichtlich der Art des Kraftomnibusses wurde aufgrund des „geringen" Vermeidungspotenzials verzichtet.

7.2.4 Spurwechselassistent – Totwinkelwarner

Bei dem Spurwechselassistenten (Totwinkelwarner) handelt es sich um ein rein generisches System, das bei den Kraftomnibusherstellern gegenwärtig noch nicht verfügbar ist. Das System überwacht die benachbarten Fahrspuren und informiert den Fahrer mittels akustischer oder visueller Signale über Fahrzeuge, die sich im toten Winkel aufhalten. Dabei werden sowohl zwei- als auch einspurige motorisierte Verkehrsteilnehmer detektiert, Abbildung 7-3.

Die zweite Gruppe des Unfallschwerpunkts „Unfälle durch Wechseln der eigenen Fahrspur" (Relevanzpool 1; N = 371) wurde aus Unfällen gebildet, die durch einen gewollten Wechsel der eigenen Fahrspur verursacht worden sind (Relevanzpool 2; N = 137). Aufgrund oft fehlender Anknüpfungstatsachen, wie z.B. die genaue Kenntnis der Unfallstelle bzw. die exakte Anstoßkonstellation zwischen den Beteiligten, konnten keine Berechnung hinsichtlich des Vermeidbarkeitspotenzials durchgeführt werden. Um dennoch das Potenzial solcher Fahrerassistenzsysteme zu untersuchen, wurde jeder in Frage kommende Fall zumindest auf seine positive Beeinflussbarkeit durch das System hin untersucht.

Die Analyse des Relevanzpools 2 ergab, dass etwa 37 % der „Unfälle durch Wechseln der eigenen Fahrspur" bzw. 4 % aller Unfälle durch einen Totwinkelwarner positiv be-

Tabelle 7-12:
Vermeidbare Unfälle durch den Spurverlassenswarner für Kraftomnibusse

Vermeidbare Kom-Unfälle durch	**Datenpool [100 %]**	**Relevanzpool 1**	**Relevanzpool 2**	**SP_{theor}**
LDW alle Busse	3.596	371	19	19 **0,5 %**
LDW Linienbusse	2.349	---	6	6 **0,3 %**
LDW Reisebusse	883	---	13	13 **1,5 %**
LDW Schulbusse	86	---	0	0 **0 %**
LDW Kom-Art n.e.	278	---	0	0 **0 %**

Tabelle 7-13:
Vermeidbare Verunglückte durch den Spurverlassenswarner für Kraftomnibusse

vermeidbare Verunglückte durch den **LDW**	Anzahl Verunglückte im Datenpool (alle Kom-Unfälle)	vermeidbare Verunglückte	
		Anzahl	SP_{theor} %
Getötete	151	0	**0,0**
Schwerverletzte	2.111	40	**1,9**
Leichtverletzte	5.942	100	**1,7**

Abbildung 7-3:
Schematische Darstellung der Funktionsweise eines Totwinkelwarners für Kraftomnibusse

Tabelle 7-14:
Positiv beeinflussbare Unfälle durch den Totwinkelwarner für Kraftomnibusse

pos. beeinflussbare Kom-Unfälle durch	**Datenpool [100 %]**	**Relevanzpool 1**	**Relevanzpool 2**	**SP_{theor}**
Totwinkelwarner (TWW) alle Busse	3.596	371	137	137 **3,8 %**
Totwinkelwarner (TWW) Linienbusse	2.349	---	4	4 **0,2 %**
Totwinkelwarner (TWW) Reisebusse	883	---	129	129 **14,6 %**
Totwinkelwarner (TWW) Schulbusse	86	---	0	0 **0 %**
Totwinkelwarner (TWW) Kom-Art n.e.	278	---	4	4 **1,4 %**

Tabelle 7-15:
Positiv beeinflussbare Verunglückte durch den Totwinkelwarner für Kraftomnibusse

pos. beeinflusbare Verunglückte durch den **Totwinkelwarner**	Anzahl Verunglückte im Datenpool (alle Kom-Unfälle)	vermeidbare Verunglückte	
		Anzahl	SP_{theor} %
Getötete	151	0	**0,0**
Schwerverletzte	2.111	92	**4,4**
Leichtverletzte	5.942	265	**4,5**

einflussbar wären, Tabelle 7-14. Für Unfälle mit Reisebussen ergab sich eine positive Beeinflussbarkeit von etwa 15 %, für Linienbusse von 0,2 %. Sowohl bei den Leicht- als auch bei den Schwerverletzten liegt das theoretische Sicherheitspotenzial ebenfalls bei etwa 4 %, Tabelle 7-15, das damit etwa doppelt so hoch ist, wie das des Lane Departure Warning-Systems.

Gleich dem LDW war die Berechnung des theoretischen Sicherheitspotenzials bei den Getöteten nicht möglich.

7.2.5 ESP

Für die nachfolgenden Analysen kam das Elektronische Stabilitätsprogramm (ESP) in Frage, ein System, das heute bereits bei einigen Herstellern von Kraftomnibussen, so z.B. Neoplan, Setra, Mercedes Benz oder MAN, serienmäßig verfügbar ist. Es wurde untersucht, ob ein möglicher positiver Einfluss durch den Eingriff des Systems gegeben wäre. Keiner der Busse im folgenden Fallkollektiv war bereits mit einem ESP ausgerüstet.

Das System überwacht mittels verschiedener Sensoren den fahrdynamischen Zustand des Fahrzeugs. Bei Über- bzw. Untersteuern des Fahrzeugs greift das System durch die gezielte Abbremsung einzelner Räder und, sofern notwendig, in die Motorsteuerung ein und stabilisiert damit das Fahrzeug, Abbildung 7-4.

Unfälle durch Schleudern kamen im vorliegenden Datenpool der Kraftomnibusunfälle mit ca. 6 % selten vor. Die Analyse der UDB ergab, dass in etwa 45 % der betroffenen Fälle mindestens ein Schwerverletzter verzeichnet wurde. Aus dem Datenpool (N = 3.596 Fälle) wurde der Relevanzpool 1 (N = 130 Fälle) gebildet. Dieser Relevanzpool 1 entspricht auch dem Relevanzpool 2 und wurde im Hinblick auf ein Fahrerassistenzsystem untersucht.

Sowohl Pool 1 als auch Pool 2 beinhalteten alle Unfälle, bei denen ein Kraftomnibus aus einem instabilen fahrdynamischen Zustand heraus verunfallte. Dieser instabile Zustand hatte verschiedene Ursachen, wie z.B.:

- Ausweichmanöver (Kom kam durch ein vorangegangenes Ausweichmanöver, wie z.B. Überholen bei Gegenverkehr, ins Schleudern)
- Schleudern/Kippen in der Kurve (durch Abkommen von der Fahrbahn aufgrund zu schlechter Witterungsverhältnisse)
- Schleudern/Kippen in der Kurve (durch unangepasste Geschwindigkeit)

Im Hinblick auf alle Kraftomnibus- Unfälle ergibt sich für ESP ein theoretisches Potenzial von etwa 3,4 % positiv beeinflussbarer Unfälle, für die Gruppe der Reisebusse von etwa 10 %, für die Gruppe der Schulbusse von etwa 20 %, Tabelle 7-16. Mehr als 3 % der Schwer- und etwa 16% der Leichtverletzten wären zudem positiv beeinflussbar, Tabelle 7-17, d.h., dass möglicherweise Verletzungen in diesen Fällen hätten vermieden bzw. die Verletzungsschwere hätte vermindert werden können. Damit zeigt das Fahrerassistenzsystem ESP, neben dem Abbiegeassistent der zukünftigen Generation (NBA 2), den hohen Nutzen solcher Systeme.

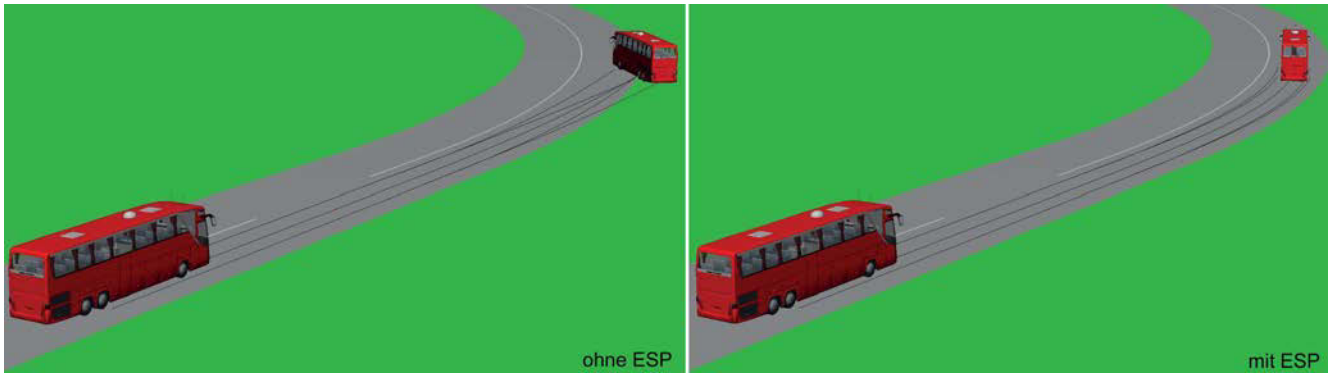


Abbildung: 7-4:
Schematische Darstellung der Funktionsweise eines ESP für Kraftomnibusse

7.2.6 Zusammenstellung der Nutzenpotenziale von Fahrerassistenzsystemen für Kraftomnibusse

Die errechneten Potenziale der einzelnen Fahrerassistenzsysteme sind in Tabelle 7-18 zusammenfassend aufgelistet. Wie in den Kapiteln zuvor beschrieben, können etwa 15 % der Kraftomnibusunfälle durch den Notbremsassistenten der morgigen Generation (NBA 2) adressiert werden. In etwa dem halben Umfang ließen sich Unfälle beim Spurwechsel durch LDW, Totwinkelwarner und Unfälle in Folge von Schleudervorgängen durch ESP vermeiden, bzw. positiv beeinflussen.

Tabelle 7-16:
Adressierbare Unfälle durch ESP für Kraftomnibusse

adressierbare Kom-Unfälle durch	**Datenpool [100 %]**	**Relevanzpool 1**	**Relevanzpool 2**	**SP_{theor}**
ESP alle Busse	3.596	130	123	123 **3,4 %**
ESP Linienbusse	2.349	---	17	17 **0,7 %**
ESP Reisebusse	883	---	89	89 **10,1 %**
ESP Schulbusse	86	---	17	17 **19,8 %**
ESP Kom-Art n.e.	278	---	0	0 **0 %**

Tabelle 7-17:
Adressierbare Verunglückte durch ESP für Kraftomnibusse

adressierbare Verunglückte durch **ESP**	Anzahl Verunglückte im Datenpool (alle Kom-Unfälle)	adressierbare Verunglückte	
		Anzahl	SP_{theor} %
Getötete	151	0	**0,0**
Schwerverletzte	2.111	74	**3,5**
Leichtverletzte	5.942	929	**15,6**

Tabelle 7-18:
Vergleich der Potenziale der verschiedenen Fahrerassistenzsysteme

Vermeidbare bzw. adressierbare Kom-Unfälle durch	SP_{theor}
NBA 1	8,9 % adressierbar
NBA 2	15,1 % adressierbar
Abbiegeassistent	2,4 % vermeidbar
LDW	0,5 % vermeidbar
Totwinkelwarner	3,8 % adressierbar
ESP	3,4 % adressierbar

8 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Auswertung der amtlichen Kraftomnibusunfallstatistik hat gezeigt, dass sich die Zahlen der verunglückten Businsassen in einem längeren Zeitraum nur geringfügig geändert haben. Sowohl bei den leicht- als auch bei den schwerverletzten Businsassen waren keine eindeutigen Trends sinkender Zahlen zu erkennen. Auch die Zahlen der getöteten Businsassen ließen einen eindeutigen Abwärtstrend nicht erkennen, da sich schon ein Einzelfall bei der Betrachtung der Absolutzahlen über einen längeren Zeitraum sehr stark auswirken kann. Im Vergleich zu allen anderen Verkehrsbeteiligten ist der Kraftomnibus neben der Bahn hinsichtlich eines Risikovergleiches eines der sichersten Verkehrsmittel. Der Quotient der Getöteten pro einer Milliarde Personenkilometer lag im Jahr 2008 im Kraftomnibusverkehr bei 0,16 [33].

Die Hauptunfallgegner der Kraftomnibusse im Datenbestand der UDV waren Pkw, gefolgt von den ungeschützten Verkehrsteilnehmern: Fußgängern, Radfahrern sowie motorisierten Zweiradfahrern. Die meisten Unfälle ereigneten sich innerorts. Hauptproblem stellten dabei Kreuzungen und Einmündungen aber auch Kurven dar. Im Hinblick auf das gesamte Kraftomnibusunfallgeschehen waren Unfälle auf winterglatten Fahrbahnen nur wenig vertreten. Allerdings kristallisierte sich eben dieser Straßenzustand mit einem Anteil von 60 % bei den Alleinunfällen als besonders häufig vertreten heraus.

Weiterführende Forderungen nach neuen, geänderten oder modifizierten Sicherheitsregelungen zur Insassensicherheit von Kraftomnibussen als die bereits bestehenden Regulierungen (ECE-R66, ECE-R80 usw.), ließen sich aus der Analyse des vorliegenden Datenmaterials nicht ableiten. Der Datenpool erlaubte keine tiefgehenden Untersuchungen bezüglich der Aufbausteifigkeit der Kraftomnibusstruktur bzw. der Widerstandsfähigkeit der Sitze, die in den vergangenen Jahren Schwerpunkt von Untersuchungen [3, 4, 6, 11] waren. Zum einen waren keine Unfälle im Datenbestand vorhanden, bei denen die Struktur des Kraftomnibusses versagte. Zum anderen fehlte es oft an Informationen zum genauen Kraftomnibustyp. Ein weiteres Problem stellte die Bewertung der Verletzungen hinsichtlich der Gurtbenutzung dar. In nur 10% der Fälle lagen Informationen über das Vorhandensein von Sicherheitsgurten auf den Passagiersitzplätzen vor. Berücksichtigt man weiterführend die Gurtbenutzung, reduziert sich die Fallzahl weiter, da die Information über das Anlegen des Gurtes im Datenbestand fehlte. Das Merkmal zur Gurtbenutzung ist zwar in der Datenbank enthalten, in den Akten fehlten diese Informationen jedoch häufig. Mit der äußerst geringen Kenntnis über die Gurtbenutzung lassen sich keine verlässlichen Rückschlüsse auf den Zusammenhang zwischen Verletzungsschwere und Gurtbenutzung ziehen.

Die Literaturstudie im ersten Teil des Berichtes hat aufgezeigt, dass das Risiko bei Kraftomnibusüberschlagunfällen schwer verletzt bzw. getötet zu werden durch den Kontakt des Insassen mit Strukturteilen des Busses oder intrudierenden Gegenstände besonders hoch ist. In der vorliegenden Studie konnten bezüglich der Überschlagunfälle keine Analysen durchgeführt werden. Zwar waren im Datenbestand auch Kippunfälle vorhanden. Diese Unfälle verliefen aufgrund ihres geringen Kippwinkels für die Insassen weniger folgenschwer und waren in Hinblick auf die Verletzungsschwere mit den sonst schweren Folgen bei Überschlagunfällen nicht vergleichbar.

Der Frontaufprall des Kraftomnibusses, bei dem der Fahrer besonders gefährdet ist, stellte mit 65 % den größten Anteil am Unfallgeschehen dar. Wie zuvor erwähnt, wurde zum besseren Schutz von Fahrer und Beifahrer von Mercedes Benz der „Front-Collison-Guard“ (FCG), bei dem Lenkung, Pedalerie und Sitz auf einem Rahmen angeordnet sind, für den Reisebus Travego eingeführt. Bei diesem Sicherheitssystem wird bei schweren Frontalunfällen die Rahmenkonstruktion nach hinten verschoben und dadurch der zur Verfügung stehende Überlebensraum vergrößert [47]. Allerdings zeigten die Untersuchungen zur Gesamtverletzungsschwere, dass die meisten Verletzungen nicht den Kraftomnibuslenker sondern vielmehr die Kraftomnibuspassagiere betrafen. Daher sollte neben der Steigerung der Fahrer- und Beifahrersicherheit auch der Kraftomnibusgesamtsicherheit auch bei Frontalunfällen große Aufmerksamkeit geschenkt werden. Dies

könnte u.a. durch die Kombination von Sicherheitsgurten und sitzintegrierten Airbags [25], wodurch der Kontakt des Kopfes mit der Rückenlehne des vorderen Sitzes verhindert sowie die Nackenbelastung des Insassen deutlich reduziert wird, erfolgen.

Der bei der Literaturstudie erkennbare Trend, dass Stürze von Businsassen durch Fahrmanöver eine wesentliche Verletzungsursache sind, wird durch das vorliegende Datenmaterial und die Auswertungen im vollen Umfang bestätigt. Wie von Kirk et al.[16] sowie Halpern et al. [19] bereits bei ihren Studien festgestellt wurde, waren auch im vorliegenden Datenbestand überwiegend Frauen von Verletzungen betroffen. Dies ist unter anderem auf die erheblich höhere Nutzungsquote von öffentlichen Verkehrsmitteln durch Frauen zurückzuführen [49].

Mit einem Anteil von ca. 60% waren Sturzunfälle von Kraftomnibusinsassen durch fahrdynamische Manöver als Teil von „Non-crash-events“ im Datenpool zahlreich vertreten. Weiterführende Auswertungen zeigten, dass das Bremsen des Kraftomnibusses in annähernd 47% ursächlich für den Sturz des Insassen gewesen ist. Die zweithäufigste Ursache war bei den Anfahrvorgängen mit ca. 33% zu finden. Diese Ergebnisse unterscheiden sich allerdings von denen, die bei der MAS Fachtagung im Jahr 2001 zu Untersuchungen von gestürzten Businsassen bei Fahrmanövern vorgestellt wurden [22]. Dort wurde das starke Bremsen des Kom bei annähernd 70 % als verletzungsursächlich ermittelt. Worauf die prozentualen Unterschiede zurückzuführen sind, lässt sich nicht ermitteln.

Stehende ältere Businsassen sind beim Anfahren bzw. Abbremsen des Kraftomnibusses besonders gefährdet. Zum einen sinkt mit steigendem Alter die Fähigkeit, auf plötzlich durchgeführte extreme fahrdynamische Manöver entsprechend zu reagieren. Zum anderen ist von einer geringeren Belastbarkeit älter Businsassen beim Sturz/ Aufprall auszugehen. Besondere Aufmerksamkeit sollte daher auf die Optimierung des Betriebsablaufes im Busverkehr gelegt werden. Ein „gedämpftes“ Anfahrverhalten der Kraftomnibuslenker kann zur Vermeidung von Stürzen älterer Businsassen beitragen. Wie in [40] festgestellt wurde, ist der Schaltruck in der ersten Schaltstufe, also beim Wechsel vom ersten in den zweiten Gang, am deutlichsten zu spüren. Bei den Untersuchungen wurden Längsbeschleunigungen von bis zu 2 m/s^2 und daraus resultierende Schaltrucke von bis zu 15 m/s^3 ermittelt. Inwieweit sich diese Ergebnisse auf Linienbusse mit modernen stufenlosen Automatikgetrieben übertragen lassen, kann aufgrund fehlender Vergleichsversuche mit modernen Fahrzeugen nicht gesagt werden. In [15] wurde festgestellt, dass im innerstädtischen Linienverkehr Beschleunigungen in einer Höhe von bis 2,5 m/s^2 und Verzögerungen im Bereich von 3 m/s^2 auftreten können. Damit ist die maximale Beschleunigung/ Verzögerung (etwa 1,3 m/s^2), bei der das Gleichgewicht im „freien Stand“ noch aufrechterhalten werden kann, überschritten.

Der durchschnittliche Schadenaufwand betrug bei den „Non-crash-events“ ca. 60.000 € und war damit genau so hoch wie die durchschnittliche Schadensumme der „Crash-events“ mit zweispurigen motorisierten Fahrzeugen. Dies zeigt, wie auch andere Studien zuvor, so z.B. [19] und [22], dass „Non-crash-events“ nicht nur häufig vorkommen, sondern auch erhebliche Kosten verursachen. Wie schon in [19] und [22] festgestellt wurde, muss der Fokus der Kraftomnibussicherheit auf eine verbesserte Innenraumgestaltung gelegt werden. Energieabsorbierende Fußböden sowie deutlich besser gepolsterte Halteeinrichtungen und Rückenlehnen von Sitzen sollten neben rutschfesten Bodenbelägen zur Verringerung des Verletzungsrisikos stürzender Businsassen beitragen. Es gibt derzeit keine verbindlichen Vorgaben zum Festhalten bzw. „sicheren Halt“ während der Fahrt von Kraftomnibussen. Weiterführend sollte daher besondere Aufmerksamkeit auf eine erhöhte Sensibilisierung der Busfahrer und übrigen Businsassen auf ältere Passagiere gerichtet werden.

Fahrerassistenzsysteme, die den Fahrer in bestimmten Situationen unterstützen, gewinnen in modernen Fahrzeugen zunehmend an Bedeutung. Ein besonderes Augenmerk sollte daher auch auf die aktive Sicherheit von Kraftomnibussen und damit auf die Vermeidbarkeit bzw. positive Beeinflussbarkeit von Unfällen gerichtet wer-

den. Im Rahmen des Projekts erfolgte neben den Untersuchungen zur Insassensicherheit eine retrospektive Analyse des Sicherheitspotenzials verschiedener Fahrerassistenzsysteme. Für die Analysen standen 213 Kraftomnibusunfälle zur Verfügung. Um Unfälle gänzlich zu vermeiden bzw. deren Folgen zu mindern, sind folgende Ansätze zielführend:

- Ausstattung der Fahrzeuge mit Notbremsassistenten. Dem heutigen Notbremsassistenten (NBA 1) ist mit annähernd 10%, dem „morgigen Notbremsassistenten" (NBA 2) mit 15% das größte Sicherheitspotenzial zuzurechnen. Die ab 11/2013 bzw. ab 07/ 2015 für Neufahrzeuge gültige europäische Verordnung EG 661/2009 trägt daher wesentlich zur Verringerung von Unfällen unter Kraftomnibusbeteiligung bei. Allerdings besteht – und das haben die Literaturrecherche sowie die Analysen der „Non-Crash-Events" aus dem Datenbestand gezeigt – im Hinblick auf die Einführung des Notbremsassistenten vor allem in Linienbussen ein Zielkonflikt zwischen dem Vermeidungspotenzial von Kollisionen und dem hohen Verletzungsrisiko von stürzenden Businsassen durch eine abrupt eingeleitete Verzögerung des Linienbusses. Dagegen stellt der NBA bei Reisebussen keinen Zielkonflikt im Hinblick auf die Insassensicherheit vs. Unfallvermeidungspotenzial dar.
- Um die Kraftomnibuslenker beim Rechtsabbiegen im innerstädtischen Verkehr zu unterstützen, könnten die Fahrzeuge mit einem Abbiegeassistenten, so wie bereits in schweren Lkw in Erprobung, ausgestattet werden. So wären etwa 18 % der Unfälle zwischen Fußgängern/ Radfahrern und Kraftomnibussen positiv beeinflussbar.
- Durch die Ausstattung der Fahrzeuge mit Totwinkelwarnern könnten die Kraftomnibusfahrer über sich von hinten annähernde Fahrzeuge gewarnt werden. Dadurch lassen sich etwa 4 % aller KOM-Unfälle adressieren.
- Durch die Ausstattung aller Fahrzeuge mit dem elektronischen Stabilitätsprogramm (ESP), so wie es bereits von mehreren Herstellern angeboten wird und ab 2014 für Neufahrzeuge der Klasse M3 gesetzlich vorgeschrieben ist, wären etwa 3,5 % aller Busunfälle adressierbar. Allein für die Gruppe der Reisebusse ergäbe sich ein Anteil von immerhin 2,5 %.

Literatur

[1] Statistisches Bundesamt (Hrsg.)Statistisches Jahrbuch 2008 Verkehr Fachserie 8, Reihe 7. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2009

[2] Statistisches Bundesamt (Hrsg.) Unfälle von Kraftomnibussen 2007. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2008

[3] European Commission 5th Framework Enhanced Coach and Bus Occupant Safety (ECBOS) – Final Published Report, 2003

[4] Anderson, J., et al.: Influence of Passengers During Coach Rollover, Paper No. 216. 18. ESV Konferenz Nagano (J), 2003

[5] Belingardi, G., et al.: Multibody Analysis of M3 Bus Rollover: Structural Behavior and Passenger Injury Risk, Paper No. 288. 18. ESV Konferenz Nagano (J), 2003

[6] Belingardi, G., et al.: Coach Passenger Injury Risk during Rollover: Influence of the Seat and the Restraint System, Paper No. 05-0439. 19. ESV Konferenz Giugno (USA), 2005

[7] Vincze-Pap, S., et al.: Real and Simulated Crashworthiness Tests on Buses, Paper No. 05-0233. 19. ESV Konferenz Giugno (USA), 2005

[8] Bach, P., et al. Crash tests with coaches. ATZ Worldwide, 107, No. 7/8

[9] Walton, A., et al. Preventing passenger ejection from buses, coaches and minibuses Cranfield Impact Centre, 2006

[10] Matolcsy, M.: The Severity of Bus Rollover Accidents, Paper No. 07-0989. 20. ESV Konferenz Lyon (F), 2007

[11] Vincente Corral, T., et al.: Seats and their Anchorages´ Strength in Coaches under Rollover, Paper No. F2008-08-145. 32. FISITA Kongress München (D), 2008

[12] Blai, S.: New bus optimized structure to improve the roll-over test (ECE R66) using structural Foam with strength steel. 2. EHTC Strasbourg (F), 2008

[13] Bach, P.: Sicherheit insbesondere von Doppeldeckerreisebussen – Struktursteifigkeit des Aufbaus und Gurtanlegeverhalten. 5. DEKRA-Symposium „Sicherheit von Nutzfahrzeugen“ Neumünster (D), 2008

[14] Elitok, K.: An Investigation on Roll-Over Crashworthiness of an Intercity Coach, Influence of Seat Structure and Passenger Weight. 9th International LS-DYNA® Users Conference. Michigan (USA), 2006

[15] Walter, B. : Stand- und Sitzsicherheit im innerstädtischen Linienverkehr – Eine Untersuchung der tolerierbaren Beschleunigungen. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik. Verlag Information Ambs Gmbh. Kippenheim, 12/ 1999

[16] Kirk, A., et al.: Passenger Casualties in Non-Collision Incidents on Buses and Coaches in Great Britain, Paper No. 296. 18. ESV Konferenz Nagano (J), 2003

[17] Albertsson, P., et al.: Is there a pattern in European bus and coach incidents? A literature analysis with special focus on injury causation and injury mechanism. Accident Analysis & Prevention 37, 2005, S. 225-233

[18] Albertsson, P.: Occupant Casualties in Bus and Coach Traffic. Medical Dissertation No. 951. Umeå University, 2005

[19] Halpern, P., et al.: Non-collision injuries in public buses: a national survey of a neglected problem. Emergency Medicine Journal 22, 2005, S. 108-110

[20] Palacio, A., et al.: Non-collision injuries in urban buses- Strategie for prevention. Accident Analysis & Prevention 41, 2009, S. 1-9

[21] National Transportation Safety Board (NHTSA). Highway Special Investigation Report on Bus Crashworthiness Issues. Washington, 1999

[22] Gwehenberger, J., et al.: Der Kraftomnibus im aktuellen Unfallgeschehen. 43. MAS Fachtagung. München, 2001

[23] Nicklisch, F., et al.: Sicherheitsmaßnahmen bei Reisebussen. 4. DEKRA-Symposium „Sicherheit von Nutzfahrzeugen". Neumünster (D), 2004

[24] Griffiths, M., et al.: Three Point Seat Belts on Coaches – The First Decade in Australia, Paper No. 05-0017. 19. ESV Konferenz. Giugno (USA), 2005

[25] Elias, J., et al.: Large School Bus Safety Restraint Evaluation – Phase II, Paper No. 313. 18. ESV Konferenz. Nagano (J), 2003

[26] McCray, L., et al.: Child Safety Research in School Buses, Paper No. 05-325. 19. ESV Konferenz. Giugno (USA), 2005

[27] Bus Industry Conferderation. Information Brief on Bus Vehicle Safety. Australia, 2006

[28] Safety Institute of Australia Inc.. Improving Safety management in Australia´s Bus industry Australia, 2008

[29] ECE-Regelung 66 Revision 1: Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Kraftomnibussen hinsichtlich der Festigkeit ihres Aufbaus. Ergänzung 1, November 2005

[30] DEKRA Unfallforschung. Untersuchungen zur inneren Sicherheit von Kraftomnibussen. FAT Schriftenreihe Nr. 122. Frankfurt am Main, 1995

[31] Niewöhner, W., Berg, A.: Überblick und ausgewählte Unfallszenarien des Unfallgeschehens mit Bussen in Deutschland und Europa. 5. DEKRA-Symposium „Sicherheit von Nutzfahrzeugen". Neumünster, 2006

[32] Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Unfälle von Kraftomnibussen 2008. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2009

[33] Allianz Pro Schiene e.V. (Hrsg.): Mit Sicherheit Bahn. http://www.allianz-pro-schiene.de/publikationen/mit-sicherheit-bahn/mit-sicherheit-bahn.pdf. Berlin

[34] Malczyk, A.: Schwerstverletzungen bei Verkehrsunfällen. Fortschritt-Berichte Reihe 12, Nr. 722. VDI Verlag GmbH. Düsseldorf, 2010

[35] Kramer, F.: „Passive Sicherheit von Kraftfahrzeugen" 2. überarbeitete Auflage. Vieweg & Sohn Verlag. Wiesbaden, 2006

[36] Appel, A., Krabbel, G.: Unfallforschung, Unfallmechanik und Unfallrekonstruktion. Verlag Information Ambs GmbH. Kippenheim, 1994

[37] Kühn, M., Hummel, T., Bende, J.: „Benefit Estimation of Advanced Driver Assistance Systems for Cars Derived from Real-Life Accidents". 21. ESV Konferenz, Paper No. 09-0153

[38] Winner, H., Hakuli, S., Wolf, G. (Hrsg): Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Vieweg + Teubner Verlag. Wiesbaden, 2010

[39] Hoepke, E., Breuer, S. (Hrsg): Nutzfahrzeugtechnik. Vieweg + Teubner Verlag. Wiesbaden, 2010

[40] Kühn, M. Festlegung eines sinnvollen Schwellenwertes für die Auslösung der Speicherung des Unfalldatenspeichers (UDS) bei BVG-Bussen. Studienarbeit TU-Berlin. Berlin, 1998

[42] Langwieder, K., Danner, M., Hummel, T.: Collision Types an characteristics of bus accidents. 10. International Technical Conference on Experimental Safety Vehicles. Oxford, 1985

[43] Langwieder, K., Hummel, T.: Unfälle von Omnibussen – Auftretensformen und die Folgen für die Businsassen. Der Nahverkehr 1/88. Alba Fachverlag. Düsseldorf, 1988

[44] http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Mercedes-Benz_Integro_100_1716.jpg&filetimestamp=20050929091812, download: Februar 2011

[45] http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei: Tourino_100_2649.jpg&filetimestamp=20051126204023, download: Februar 2011

[46] http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:EVAG_ 4651.jpg&filetimestamp=20101021142655. download: Februar 2011

[47] http://media.daimler.com/dcmedia/0-921-1151281-49-1151492-1-0-0-0-0-0-11702-614316-0-1-0-0-0-0-0.html. Februar 2011

[48] Genesis-Online Datenbank, Bevölkerung: Deutschland, Stichtag, Altersjahre März, 2011 https://www.genesis.destatis.de/genesis/online;jsessionid=3FFE1B55AE40276302513618F15C2DC4.tomcat_GO_1_2?operation=statistikAbruftabellen&levelindex=0&levelid=1299140703543&index=2

[49] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Mobilität in Deutschland 2008, Ergebnisbericht. Struktur – Aufkommen – Emissionen – Trends. Bonn, 2010

[50] Verordnung (EG) Nr. 661/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juli 2009 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen, Kraftfahrzeuganhängern und von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge hinsichtlich ihrer allgemeinen Sicherheit

Anhang

Anhang 1: Tabellen zur Unfallstatistik

Tabelle A-1:

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Bestand an KOM	85574	86656	86461	85880	86480	85508	83904	83549
Neuzulassungen	6243	6121	5737	5669	5398	5426	5710	5471

Tabelle A-2:

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
verunglückte Businsassen	4624	4669	4757	4566	5222	5077	5030
getötete Businsassen	18	24	15	2	20	9	11
schwerverletzte Businsassen	498	549	461	421	587	473	382
leichtverletzte Businsassen	4108	4096	4281	4143	4615	4595	4637
Verunglückte unter Beteiligung von KOM	9070	8958	9159	8830	9785	9394	9403
Getötete unter Beteiligung von KOM	152	173	176	141	155	146	149
Schwerverletzte unter Beteiligung von KOM	1649	1639	1582	1455	1611	1452	1370
Leichtverletzte unter Beteiligung von KOM	7269	7146	7401	7234	8019	7796	7884
Getötete in Reisebussen	5	13	9	0	8	5	0
Getötete in Linienbussen	4	4	3	2	2	3	6
Getötete in Schulbussen	1	0	0	0	6	0	0
Getötete in Oberleitungsbussen	0	0	0	0	0	0	0
Getötete in sonstigen Bussen	8	7	3	0	4	1	5

Tabelle A-3:

	2002	2003	2004	2005	2006	2007
verunglückte Businsassen	4829	4927	4994	5241	5367	5252
getötete Businsassen	12	17	16	9	12	26
schwerverletzte Businsassen	383	435	460	400	401	404
leichtverletzte Businsassen	4434	4475	4518	4832	4954	4822
Verunglückte unter Beteiligung von KOM	8979	8749	8783	8987	9012	8953
Getötete unter Beteiligung von KOM	122	114	111	116	92	101
Schwerverletzte unter Beteiligung von KOM	1216	1237	1296	1153	1122	1083
Leichtverletzte unter Beteiligung von KOM	7641	7398	7376	7718	7798	7769
Getötete in Reisebussen	8	10	5	7	0	18
Getötete in Linienbussen	3	7	5	2	6	1
Getötete in Schulbussen	0	0	0	0	0	2
Getötete in Oberleitungsbussen	0	0	0	0	0	0
Getötete in sonstigen Bussen	1	0	6	0	6	5

Tabelle A-4:

getötete Reisebus-insassen	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
< 18 Jahre	0	1	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
18 - 35 Jahre	4	1	1	0	1	0	0	1	2	0	1	0	0
35 - 65 Jahre	1	11	5	0	3	3	0	4	1	4	5	0	6
> 65 Jahre	0	0	2	0	4	2	0	3	5	1	1	0	12
getötete Linienbus-insassen													
< 18 Jahre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
18 - 35 Jahre	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0
35 - 65 Jahre	2	1	2	1	1	2	3	0	3	2	1	1	1
> 65 Jahre	2	3	1	1	1	1	3	2	4	2	1	2	0
getötete Schulbusinsassen													
< 18 Jahre	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
18 - 35 Jahre	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
35 - 65 Jahre	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
> 65 Jahre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sonst. oder unbek.													
< 18 Jahre	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	3	0
18 - 35 Jahre	3	1	1	0	0	0	1	0	0	3	0	0	0
35 - 65 Jahre	3	2	1	0	2	0	3	0	0	3	0	2	4
> 65 Jahre	2	4	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1

Tabelle A-5:

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Getötet													
innerhalb geschlossener Ortschaften	4	6	4	1	8	4	4	3	5	7	1	4	6
außerhalb geschlossener Ortschaften	14	18	11	1	12	5	7	9	12	9	8	8	20
Schwerverletzte													
innerhalb geschlossener Ortschaften	272	286	268	283	329	314	204	250	247	269	280	279	281
außerhalb geschlossener Ortschaften	226	263	193	138	258	159	178	133	188	191	120	122	123
Leichtverletzte													
innerhalb geschlossener Ortschaften	3011	3002	3151	3152	3493	3429	3373	3443	3596	3614	3822	4053	4172
außerhalb geschlossener Ortschaften	1097	1094	1130	991	1122	1166	1264	991	879	904	1010	901	650

Anhang 2: Vergleich FAT, ECBOS und UDB

Gegenüberstellung der Merkmale und Merkmalsausprägungen

Tabelle 1 Unterschiede der Merkmalsausprägungen der ECBOS und FAT Erfassung im Vergleich zu Euska/ZUF

0=nicht vorhanden

	ECBOS	FAT	EUSKA/ZUF
Allgemeines			
Wochentag			0
1 Umfeld			
Merkmal / Merkmalsausprägung			
Lokation innerorts/außerorts			
Straßentyp			
Anzahl der Richtungsfahrbahnen		0	0
Material der Fahrbahn			
wechselnder Belag	0		0
Fahrbahnbeschaffenheit			
Rollsplit	0		0
u-Splitt	0		0
Wetterkonditionen	Textfeld	0	
Nebel			
Wind			
Blendung		0	
Lichtverhältnisse			
Straßenbeleuchtung			0
Steigung / Gefälle in ...%	0		0
Sichtbehinderungen für den Busfahrer	0		0
keine	0		0
parkende Fahrzeuge	0		0
wartende, vorbeifahrende Fahrzeuge	0		0
Strauchwerk, Bäume	0		0
Gebäude	0		0
Sonstige	0		0
2 Unfalldaten			
Merkmal / Merkmalsausprägung			
Anzahl der Businsassen			
Anzahl der leicht Verletzten Businsassen			
Anzahl der schwer verletzten Businsassen			
Anzahl tödliche Verletzter im Bus			
Wer hatte Vorrang?			
Hauptschuldiger			
Mitschuld des Busfahrers?			

3 Fahrzeugdaten - Bus			
Merkmal / Merkmalsausprägung			
Nationalität (Registration)		0	
Fahrzeugart			
Hersteller			
Typ	Textfeld		
Reisebus mit Gelenk			0
Hochdecker			0
Superhochdecker mit Unterflurcockpit			0
Kategorie		0	
Baujahr			
technische Mängel			
Links-/Rechtslenker		0	0
Leergewicht (kg)		0	
Geschätzte Masse des Busses inklusive Insassen und Gepäck			0
Fahrzeuglänge (mm)		0	0
Fahrzeugbreite (mm)		0	0
Fahrzeughöhe (mm)		0	0
Türpositionen	0		0
vorne	0		0
mittig	0		0
hinten	0		0
Fahrertür	0		0
sonstige	0		0
Anzahl der Stehplätze			0
Anzahl der Sitzplätze			
Art der Sitze		0	0
Aufpolsterung		0	0
Sicherheitsgurte			
Art der Sicherheitsgurte	Textfeld	0	
Kopfstützen Fahrer-, Beifahrer, Fahrgastsitze	0		0
Alter der Fahrerlaubnis zur Personenbeförderung			
Alkohol (‰)			
Drogen / Medikamente			
Geschwindigkeitsbeschränkung für Busse (km/h)			
Fahrgeschwindigkeit (km/h)			
Kollisionsgeschwindigkeit (km/h)	0		
Nachkollisionäre Geschwindigkeit (km/h)		0	0
Geschwindigkeitsänderung (km/h)		0	0
EES (km/h)		0	
Richtung des Impulses	(°)		
prinzipielle Richtung der Kraft [°]		0	0
Bus entspricht ECE-R66 Richtlinien		0	0
Bus entspricht ECE-R80 Richtlinien		0	0
Kollisionsart	im Text		
Fahrzeugbrand			
Reifen	0		0
Gepäck	0		0
Innenausstattung	0		0
Überschlag	(°)		
nach links	0		0
nach rechts	0		0
Endlage des Busses			
Busbewegung mit Richtungsänderung		0	0
Busbewegung ohne spezif. Richtungsänderung		0	0
Schleudern vor dem Unfall		0	
Anfahren		0	0
Anhalten / Bremsung			
Teilbremsung	0		0
Vollbremsung	0		0
Rückwärtsfahrt		0	0/Skizze

Rückwärtsfahrt		0	0/Skizze
Fahrzeugbeschädigungen (Lage)	Textfeld	0	
Beschädigungsgrad	Textfeld	0	
Beschädigungsgrad linke Seite	0		0
Beschädigungsgrad rechte Seite	0		0
max. Deformationstiefe in cm	0		0
Deformationen an Sitzen und Teilen der Inneneinrichtung	Textfeld		0
Beschädigungen im Fahrer/Begleiterbereich	0		0
WSS/Seitenscheiben	0		0
Armaturenbrett	0		0
Lenkrad/Lenksäule	0		0
Fuß-/Beinraum	0		0
Zubehör(Radio, Funkgerät, o.ä.)	0		0
Bedienelemente	0		0
Sitz / Sitzbefestigung	0		0
Rückhaltesystem /-befestigung	0		0
Beschädigungen im Fahrgastbereich	0		0
Sitz / Sitzbefestigung	0		0
Scheiben	0		0
Haltevorrichtungen	0		0
Seitenwände	0		0
Boden	0		0
Dach	0		0
Sonstiges	0		0
Beschädigungsursachen (inkl. Ausprägungen)	0		0

4 Unfallgegner - Fahrzeugdaten

Merkmal / Merkmalsausprägung			
Beteiligtennummer			
Fahrzeugart/-typ			
Links-/Rechtslenker		0	0
Nationalität (Registration)		0	
Hersteller			
Fahrzeugmasse zum Zeitpunkt der Kollision (kg)			0
Art der Kollision mit dem Bus			
Geschwindigkeitsbeschränkung (auf das Fahrzeug bezogen)		0	
Fahrgeschwindigkeit (km/h)			
vorkollisionäre Geschwindigkeit (km/h)			
Differenzgeschwindigkeit		0	0
nachkollisionäre Geschwindigkeit (km/h)		0	0
Geschwindigkeitsänderung (km/h)		0	0
EES (km/h)		0	
Richtung des Impulses (°)		0	0
prinzipielle Richtung der Kraft [°]		0	0
Schleudern vor dem Unfall		0	
Fahrzeugbeschädigungen		Textfeld	

5 Personendaten/Verletzungen (nur für verletzte Businsassen)			
Merkmal / Merkmalsausprägung			
Person Nr.			
Art des Insassen			
Alter			
Geschlecht			
Person mit Behinderung		0	
Aktion der Person zum Unfallzeitpunkt		0	0
Position der stehenden Person im Bus		0	0
Sitzreihe (nur sitzende Personen)			
Ober/Unterdeck		0	
Sitzposition (nur sitzende Personen)			
Sitz - Ausrichtung		0	0
Benutzung / Art des Sicherheitsgurtes		0	
Gegenstand, der die Hauptzverletzung erzeugte			0
MAIS Kopf oder Hals		0	AIS
MAIS Gesicht		0	AIS
MAIS Brustkorb		0	AIS
MAIS Bauch- oder Beckenbereich		0	AIS
MAIS Extremitäten		0	AIS
MAIS äußerlich		0	AIS
ISS (Injury Severity Scale/Gesamtverletzungsschwere)		0	0
Nr. der Kollision, die die Hauptverletzung hervorrief.		0	0
Verletzungsursachen im Fahrer/Begleiterbereich	0		0
WSS/Seitenscheiben	0		0
Armaturenbrett	0		0
Lenkrad/Lenksäule	0		0
Fuß-/Beinraum	0		0
Zubehör(Radio, Funkgerät, o.ä.)	0		0
Bedienelemente	0		0
Sitz / Sitzbefestigung	0		0
Rückhaltesystem /-befestigung	0		0
andere Businsassen	0		0
Sonstiges (Gepäckstücke o.ä.)	0		0
Verletzungsursachen im Fahrgastbereich	0		0
Sitz / Sitzbefestigung	0		0
Scheiben	0		0
Haltevorrichtungen	0		0
Seitenwände	0		0
Boden	0		0
Dach	0		0
andere Businsassen	0		0
Sonstiges (Gepäckstücke o.ä.)	0		0
Verletzungsursache außen	0		0
Überrollen durch eigenes Fahrzeug	0		0
Überrollen durch femdes Fahrzeug	0		0
Straße	0		0

6 Verfügbarkeit von generellen Informationen			
Merkmal / Merkmalsausprägung			
Bilder vom Unfallort vorhanden		0	allgemein `Bilder`
Bilder des Fahrzeuges vorhanden		0	allgemein `Bilder`
Bilder des Fahrzeuginnenraumes vorhanden		0	allgemein `Bilder`
Unfallskizze vorhanden		0	kein Merkmal
Rekonstruktion vorhanden		0	
Insassenbewegung ermittelbar		0	0
Gutachten		0	
Tabellen		0	0
Diagramme		0	0

In der Auswertung enthalten sind:

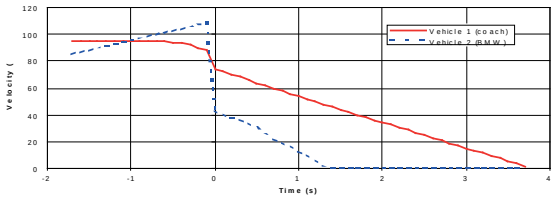
7 Beschreibung des Unfallablaufes - Expertise

8 Ergebnisse PC Crash

9 Tabellen

10 Diagramme

Bsp.: v/t Diagramm



11 Bilder

12 Schlußfolgerung

13 Anlagen

Anhang 2: Seite 5/5

GDV
DIE DEUTSCHEN VERSICHERER

Unfallforschung der Versicherer

Wilhelmstraße 43 / 43 G, 10117 Berlin
E-Mail: unfallforschung@gdv.de
Internet: www.udv.de

Die Unfallforschung der Versicherer veröffentlicht ihre Forschungsergebnisse in den Reihen:

FS - Fahrzeugsicherheit
VI - Verkehrsinfrastruktur
VV - Verkehrsverhalten / Verkehrspsychologie

Impressum:

Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.
Unfallforschung der Versicherer
Wilhelmstraße 43/43G, 10117 Berlin
Postfach 08 02 64, 10002 Berlin
E-Mail: unfallforschung@gdv.de
Internet: www.udv.de

ISBN-Nr.: 978-3-939163-44-2

Redaktion: Dipl.-Ing. Thomas Hummel
Layout: Michaela Gaebel
Erschienen: 02/2012

Inhalt

1	**Auswertung des Unfallgeschehens unter KOM-Beteiligung**	**5**
2	**Gesetzliche Anforderungen**	**13**
3	**Literaturrecherche**	**15**
3.1	Untersuchungen zur Aufbaufestigkeit von Kraftomnibus-strukturen und Ergebnisse aus Unfallversuchen	15
3.2	Studien zu Veletzungsmechanismen in Kraftomnibussen	26
3.3	Studien zur allgemeinen Bussicherheit	31
3.4	Zusammenfassende Bewertung der Unfallstatistik und der Literaturrecherche	37
4	**Definition neuer Merkmale und Merkmalsausprägungen für die Datenbank**	**38**
5	**Auswertung des Fallmaterials aus der UDB**	**43**
5.1	Einleitung	43
5.2	Datengrundlage	44
5.3	Unfallstruktur bei Kraftomnibusunfällen mit Personenschaden	44
5.4	Schadenaufwand	51
6	**Untersuchungen zur Insassensicherheit**	**54**
6.1	Crash-events	55
6.1.1	Verletzungsart	55
6.1.2	Kraftomnibusunfälle nach Ortslage	57
6.1.3	Kraftomnibusunfälle nach Jahreszeit, Licht- und Straßenverhältnissen	58
6.1.4	Kraftomnibusunfälle nach Art des Kraftomnibusses	60
6.1.5	Verletzungsschwere und Verletzungsmuster	60
6.2	Non-crash-events	69
6.2.1	Verletzungsschwere und Verletzungsmuster	70
7	**Aktive Sicherheit**	**73**
7.1	Methodisches Vorgehen	73
7.2	KOM-Fahrerassistenzsysteme	74
7.2.1	Notbremsassistent (NBA)	76
7.2.2	Abbiegeassistent	78
7.2.3	Lane Depature Warning-Systems (LDW) - Spurverlassenswarner	81
7.2.4	Spurwechselassistent - Totwinkelwarner	82
7.2.5	ESP	84
7.2.6	Zusammenstellung der Nutzenpotenziale von Fahrerassistenzsystemen für Kraftomnibusse	85

8 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen 86

Literatur 89

Anhang 93
Anhang 1 - Tabellen zur Unfallstatistik 93
Anhang 2 - Vergleich FAT, ECBOS und UDB 95

2 Gesetzliche Anforderungen

In Deutschland sind die sicherheitsrelevanten Vorschriften für Kraftomnibusse durch die StVZO, EG-Richtlinien und ECE-Regelungen geregelt. Als Kraftomnibusse werden nach der europäischen Richtlinie 70/156/EG Fahrzeuge bezeichnet, die zur Beförderung von mehr als 9 Personen mit einem zulässigen Gesamtgewicht (zGG) ≤ 5 Tonnen (M2) und Fahrzeuge zur Beförderung von mehr als 9 Personen mit einem zGG > 5 Tonnen (M3) dienen. Im Folgenden werden die wichtigsten, in Deutschland gültigen Vorschriften nur kurz erläutert, detailliert sind die busspezifischen Richtlinien und Verordnungen schon im ECBOS-Projekt (2000 – 2003) herausgearbeitet und bewertet worden [3].

EU-Busrichtlinie – 2001/85/EWG bzw. ECE-R 36, 52, 66 und 107

Diese im Jahr 2003 in nationales Recht übernommene Richtlinie gilt für alle Fahrzeuge zur Beförderung von mehr als 9 Personen (inklusive Fahrer). Sie enthält neben den generellen Konstruktionsvorschriften unter anderem Vorschriften über die Festigkeit der Aufbaustruktur, Vorschriften zur Messung der Schließkräfte fremdkraftbetätigter Türen, Vorschriften für technische Einrichtungen für Personen mit eingeschränkter Mobilität und besondere Vorschriften für Fahrzeuge zur Beförderung von mehr als 22 Personen und Doppeldeckerbusse. Die eben genannten Anwendungsbereiche der 2001/85/EWG werden auch von den ECE-Regelungen 36, 52 und 107 abgedeckt. Allerdings stimmen nach [3] die Anforderungen der Regelungen nicht exakt mit der Richtlinie 2001/85/EWG überein und sind auch nicht im nationalen Recht verankert.

Gemäß StVZO ist die Richtlinie ECE-R 66 für die Genehmigung von Kraftomnibussen hinsichtlich der Festigkeit des Aufbaus gleichwertig mit Teilen der 2001/85/EWG Richtlinie. Die Bedingungen und Verfahren zur Prüfung der Festigkeit der Aufbaustruktur werden in Anhang IV der 2001/85/EWG beschrieben. Sowohl in der ECE-R 66 als auch in der Richtlinie 2001/85/EWG wird die Erhaltung eines fest vorgeschriebenen Überlebensraumes nach der Kippprüfung definiert, Abbildung 2-1 links.

Zur Durchführung der Festigkeitsprüfungen können vollständige Fahrzeuge, Aufbauteile oder der rechnerische Nachweis herangezogen werden. Eine mögliche Prüfvariante ist der Kipptest. Das Grundprinzip des Tests ist rechts in Abbildung 2-1 dargestellt. Zusätzlich zum Kippversuch sind eine Pendelschlagprüfung (2001/85/EWG) oder eine quasi-statische Belastungsprüfung (ECE-R 66) als gleichwertige Testverfahren zulässig.

Bisher war es nicht üblich, die Massen der Passagiere als zusätzliches Gewicht zur Gesamtmasse des zu prüfenden Kraftomnibusses einzubeziehen. Durch die Beladung ändert sich neben der Lage des Schwerpunktes auch die von der Fahrzeugstruktur zu absorbierende Energie. Ab 2010 müssen in Folge der 1. Revision der Regelung ECE-R 66 die zusätzlichen Massen berücksichtigt werden.

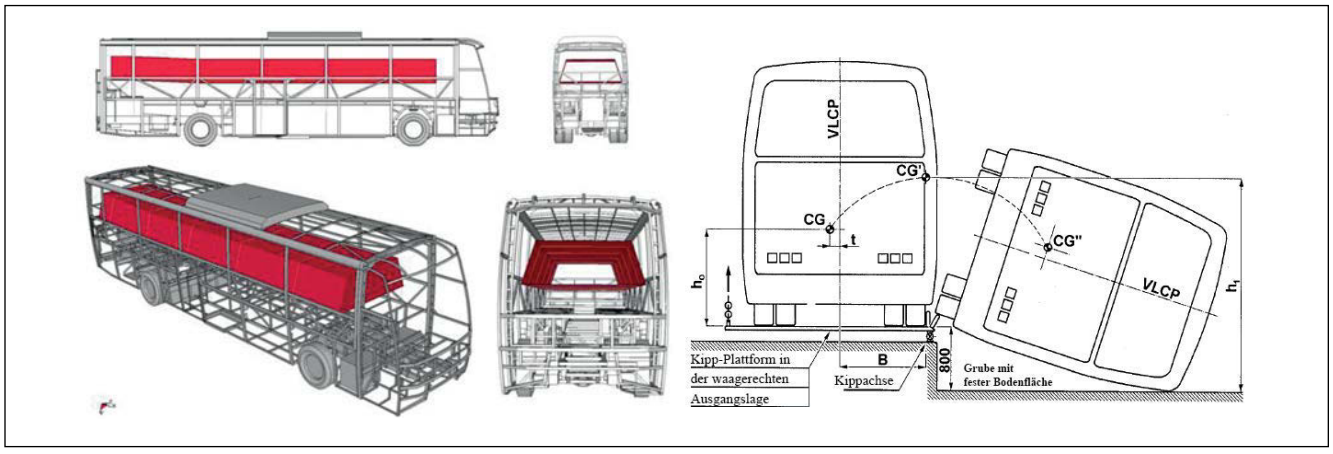


Abbildung 2-1:
Definierter Überlebensraum beim Eindeckerfahrzeug und schematische Darstellung des Kippversuches [14, 29]

77/541/EWG – 2005/40/EWG bzw. ECE-R 16/05

Nach der europäischen Richtlinie 77/541/EWG müssen alle Fahrzeuge der Klassen M und N mit Sicherheitsgurten ausgestattet sein, die den Anforderungen dieser Richtlinie entsprechen müssen. Parallel dazu können die Rückhaltesysteme auch den Regelungen der gleichwertigen ECE-R 16 entsprechen. Laut [13] trat die Ausweitung auf alle Fahrzeugklassen ab dem 20. Oktober 2006 in Kraft. Allerdings müssen in Deutschland nach Paragraph 35a der StVZO schon seit dem 1.Oktober 1999 alle erstmals in den Verkehr kommenden neuen Reisebustypen mit einem zGG > 3,5 t mit Sicherheitsgurten ausgestattet sein, wodurch gleichzeitig auch die Anlegepflicht in Kraft trat. Ab 1.Oktober 2001 galt diese Regelung ebenfalls für alle erstmals in den Verkehr kommenden KOM mit einem zGG ≤ 3,5 t. Ausnahmen bestehen sowohl für Busse des Nahverkehrs als auch für Busse, die für den Transport von stehenden Insassen zugelassen sind. Für alle anderen Kraftomnibusse sind 3-Punkt-Gurte vorgeschrieben. Sofern vorgebaute Sitze oder Fahrzeugteile vorhanden sind, die einen entsprechenden Rückhalteschutz bieten, können auch Beckengurte zum Einsatz kommen. Diese Sitze müssen dann allerdings den Prüfbedingungen der 74/408/EWG bzw. ECE-R 80 standhalten. Zu bemerken ist, dass es keine Nachrüstungspflicht für Fahrzeuge gibt, die vor 1999 zugelassenen wurden.

91/671/EWG – 2003/20/EWG

Parallel zur Änderung der Fahrzeugklassen im Hinblick auf die Ausrüstungspflicht mit Sicherheitsgurten wurde die Richtlinie 91/671/EWG, die das Anlegen von Gurten in Fahrzeugen unter 3,5 t vorschreibt, durch die Richtlinie 2003/20/EWG geändert. Demnach ist seit 2003 das Anlegen von Sicherheitsgurten, sofern diese vorhanden sind, in allen Fahrzeugen der Klassen M und N europaweit vorgeschrieben. Ferner wurden in der Änderung der Richtlinie 91/671/EWG durch die Richtlinie 2003/20/EWG die für Kinder vorgeschriebenen Rückhalteeinrichtungen in fünf Gewichtsklassen eingeteilt.

76/115/EWG – 2005/41/EWG bzw. ECE-R 14

Verankerungen der Rückhaltesysteme von Fahrzeugen der Klassen M und N müssen der Richtlinie 76/115/EWG entsprechen. Ausgeschlossen werden Fahrzeuge, die zum Transport stehender Passagiere zugelassen sind. Da die ECE-R14 ebenfalls in nationales Recht übernommen wurde, kann die Auslegung der Sicherheitsgurtverankerung auch nach den Vorschriften dieser Regelung durchgeführt werden. Die Mindestzahl der Verankerungspunkte ist sowohl vom Fahrzeugtyp als auch von der Ausrichtung des Sitzes abhängig. Neben den Bereichen für die effektive Lage der Verankerung werden auch die Mindestabmessungen der Gewindelöcher vorgeschrieben. Die Prüfung der Sicherheitsgurtverankerung muss an einem fertiggestellten Fahrzeug oder an einem Fahrzeugaufbauteil durchgeführt werden.

74/408/EWG – 2005/39/EWG bzw. ECE-R 80

Die Richtlinie Prüfung der Widerstandsfähigkeit der Sitze und ihrer Verankerungen trat 1974 in Kraft und gilt für Fahrzeuge der Klassen M und N. Dabei können Sitze in Fahrzeugen der Klasse M2 sowohl den Prüfbedingungen der Klassen M1 als auch denen der Klasse M3 unterzogen werden. Die Richtlinie gilt nicht für Fahrzeuge, die für den Einsatz im Nahverkehr und für stehende Passagiere ausgelegt sind. Die Regelung ECE-R 80 betrifft ebenfalls die Widerstandsfähigkeit der Sitze und deren Verankerungen von Kraftomnibussen der Klasse M2 und M3. Dabei sind die Tests der Sitze entweder dynamisch auf einem Prüfwagen oder statisch durchzuführen. Allerdings ist die ECE-R 80 nicht in nationalem Recht verankert.

661/2009/EG

Die Richtlinie 661/2009/EG umfasst die Verordnung über die Typengenehmigung von Kraftfahrzeugen, Kraftfahrzeuganhängern und von Systemen, Bauteilen und selbständigen technischen Einheiten für die Fahrzeuge der Klassen M, N und O hinsichtlich ihrer allgemeinen Sicherheit. Nach dieser Richtlinie müssen unter anderem auch Kraftomnibusse der Klasse M2 und M3 mit Fahrdynamik-Regel- (ESP), Fahrerassistenz- (Notbrems-, Spurhalteassistent) und Reifendruckkontrollsystemen sowie mit Gangwechselanzeigen ausgestattet sein. Für die genannten technischen Systeme gelten unterschiedliche Einführungstermine.

3 Literaturrecherche

Der folgende Abschnitt enthält die Zusammenfassung der Ergebnisse nationaler und internationaler Studien zur Bussicherheit der vergangenen Jahre. Die analysierten Studien werden in diesem Abschnitt der Arbeit nach Thema und innerhalb der Themengruppe nach ihrem Erscheinungsjahr sortiert. Die Quellenangaben befinden sich am Ende dieses Berichts. Darüber hinaus wurde auch ältere Literatur gesichtet („Untersuchung zur inneren Sicherheit von Kraftomnibussen", „Rückhaltesysteme in Reisebussen" usw.), die unter anderem auch schon im ECBOS-Projekt ausgewertet wurden. Im Folgenden wird daher der Schwerpunkt bei der Literaturauswertung auf Veröffentlichungen nach dem Jahr 1999 gelegt.

3.1 Untersuchungen zur Aufbaufestigkeit von Kraftomnibusstrukturen und Ergebnisse aus Unfallversuchen

Enhanced Coach and Bus Occupant Safety (ECBOS) 2003 [3]

Das dreijährige ECBOS-Projekt begann im Januar 2000 unter der Leitung der Technischen Universität in Graz. Weiterhin wirkten an dieser Studie das Cranfield Impact Centre (GB), der Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (D), die Loughborough University (GB), die Politecnico di Torino (I), TNO Automotive (NL) und die Universidad Politecnica de Madrid (E) mit.

Das Ziel war die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen dem realen Unfallgeschehen und den gegenwärtigen gesetzlich geregelten Testvorschriften von Kraftomnibussen. Die Studie wurde in mehrere Arbeitspakete aufgeteilt. Diese Arbeitspakete beinhalteten:

- Statistische Auswertung des Unfallgeschehens der Teilnahmeländer
- Auswahl von 100 schweren Busunfällen für die In-Depth Analyse
- Einarbeitung der Unfalldaten in eine Datenbank
- Rekonstruktion der Busunfälle mit PC-Crash und SINRAT
- Komponententest
- Crashversuche
- Numerische Generierung von Busmodellstrukturen
- Numerische Simulation von Businsassen zur Bewegungsanalyse
- Analyse der Verletzungsursachen der Businsassen
- Numerische Untersuchung des Einflusses verschiedener Parameter, wie z.B. Fahrzeugstruktur, Intrusionen, Polsterungen, Sitzcharakteristik, Fensterdesign und Größe sowie Sitzposition der Insassen
- Entwicklung und Validierung neuer numerischer und experimenteller Testmethoden
- Ausweitung der Testmethode ECE-R 66
- Generierung von Testmethoden für stehende und sich bewegende Insassen in Linienbussen
- Kosten-Nutzen-Analyse der vorgeschlagenen Testmethoden
- Untersuchung des Einflusses der Insassengröße auf die Testmethoden
- Vorschläge für neue und bestehende Testvorschriften.

Während der Studie zeigte sich, dass bei Rolloverunfällen ein Teil der Verletzungen durch den Aufprall auf die Seitenwand bzw. Seitenverkleidung oder gegen die Gepäckablage entstehen. Weiterhin wurde deutlich, dass auch die Wechselwirkungen der Insassen untereinander zu Verletzungen führen können. Aus diesem Grund wurde die Verwendung von 2-Punkt-Gurten bzw. 3-Punkt-Gurten empfohlen, die die Insassen auf ihrem Platz halten. Hinsichtlich eines Rollover konnte jedoch nicht geklärt werden, welches Gurtsystem die bessere Variante ist. Eine weitere Empfehlung betraf die Berücksichtigung der Massen der Insassen, da diese die von der Busstruktur zu absorbierende Energie während eines Überschlags deutlich erhöhen. Deshalb sollten die Massen der Insassen, die mit Beckengurten gesichert werden mit 70% zur Fahrzeugmasse hinzugerechnet werden. Das Gewicht der mit 3-Punkt-Gurten fixierten Insassen sollte mit 90% zur Fahrzeugmasse addiert werden. Die erhöhten Massen sollten dann auch in den Testmethoden der ECE-R 66 und 2001/85/EC berücksichtigt werden. Zusätzlich dazu sollten auch M2-Fahrzeuge sowie Doppeldeckerbusse in die gesetzlichen Regelungen aufgenommen werden. Als weitere Veränderung der Strukturfestigkeitstestmethoden wurde vorgeschlagen, die Pendelschlagprüfung aufgrund der unrealistischen Testbedingungen aus der ECE-R 66 und der 2001/85/EC zu entfernen.

Vorschläge für Frontal- und Heckkollisionen betrafen unter anderem die Veränderung der Testplattform, eine zweite Sitzreihe mit ungegurtetem und gegurtetem Dummy, die Anpassung bestehender Regulierung auf M2-Fahrzeuge sowie die Gurtausstattung, auch im Hinblick auf Kindersicherheit. Zum Abschluss des ECBOS-Projektes wurden Anregungen für neue Verordnungen gegeben. Unter anderem wurden folgende Vorschläge erarbeitet:

- Entwurf von Richtlinien zur Verwendung numerischer Testmethoden
- Harmonisierung der Unfalldatenerfassung innerhalb Europas
- Kompatibilität zwischen Kraftomnibussen und anderen Fahrzeugen
- Analyse der Aufbaufestigkeit aktueller Doppeldeckerbusse, da diese nicht nach den Regelungen getestet werden müssen
- Vermeidung des Herausschleuderns der Insassen
- Verringerung der Verletzungsgefahr durch den Kontakt des Insassen mit der Seitenstruktur
- Entwicklung eines Dummy speziell für Rolloverversuche
- Fahrertraining
- Einführung eines Bewertungssystems für Busse nach dem (Euro) NCAP-System
- Verbesserung der Arbeitssicherheit, speziell für den Fahrer.

Influence of Passengers During Coach Rollover (2003) [4]

Diese Untersuchung ist ein Teilabschnitt des ECBOS-Projektes und wurde 2003 auf der ESV Konferenz in Nagano vorgestellt. Die Wissenschaftler des Cranfiled Impact Centre untersuchten den Einfluss der Passagiere auf das Verformungsverhalten der Busstruktur während eines Überschlags. Zu Beginn der Analyse wurden zwei Kippversuche mit einem Aufbauteil eines Kraftomnibusses durchgeführt. Im ersten Versuch war das Aufbauteil unbeladen, im zweiten Versuch wurden vier Dummies verwendet, die mit Beckengurten am Sitz fixiert waren, Abbildung 3-1. Anschließend wurde mit LS-Dyna ein Finite-Elemente-Model erstellt und validiert.

Mit diesem validierten Model wurden daraufhin vier Simulationen mit unterschiedlichen Konfigurationen durchgeführt:

- unbeladener Zustand
- 4 Dummies mit Beckengurten
- 4 Dummies mit 3-Punkt-Gurten
- 4 ungegurtete Dummies.

Abbildung 3-2 zeigt die Ergebnisse sowohl der Realversuche als auch die der Simulationen. Im Ergebnis dieses Teilprojektes wurde gefordert, die Massen anteilig mit 18% bei nicht gegurteten, mit 71% bei Insassen mit Be-

Abbildung 3-1:
Kippversuche des Aufbauteils mit und ohne Dummies [4]

ckengurt und mit 93% bei Insassen mit 3-Punkt-Gurten bei den Tests zu berücksichtigen.

Multibody Analysis of M3 Bus Rollover: Structural Behavior and Passenger Injury Risk (2003) [5]

Die ebenfalls 2003 bei der ESV Konferenz in Nagano vorgestellte Arbeit des Dipartimento di Meccanico der Politecnico di Torino war, genau wie die Studie „Influence of Passengers During Coach Rollover", ein Teilprojekt der ECBOS- Studie. Untersucht wurden die Effekte auf die Kraftomnibusaufbaustruktur während eines Rollover. Als Vorlage für das numerische Multibody-Finite-Elemente-Modell diente ebenfalls das Aufbauteil eines Kraftomnibusses des Cranfield Impact Centre. Die numerischen Simulationen wurden auf Grundlage der Vorgaben der ECE-R 66 erstellt. Mit diesem Modell wurden Parameterstudien durchgeführt, die die Variation der Strukturseifigkeit des Fahrzeugaufbaus, der Insassengröße und der verschiedenen Rückhaltesysteme beinhalteten.

Auch hier kommen die Autoren zu dem Schluss, dass ein unbeladenes Fahrzeug, welches den Anforderungen der ECE-R 66 gerecht wird, den gleichen Test im beladenen Zustand nicht bestehen würde. Zusammenfassend betonen die Autoren erneut, dass die Massen der Passagiere während des Überschlages zu berücksichtigen sind und dass das Anlegen eines Sicherheitsgurtes vorgeschrieben werden sollte.

Coach Passenger injury risk during rollover: Influence of the seat and the restraint system (2005) [6]

Anknüpfend an die Ergebnisse der ECBOS-Studie wurde durch Wissenschaftler der Politecnico di Torino, die, wie bereits erwähnt, ebenfalls am ECBOS-Projekt beteiligt waren, weiterführend untersucht, wie sich die Erhöhung der Aufbaustruktursteifigkeit, die dem Freigabetest (ECE-R 66) entsprechen würde, unter Beachtung der Insassenmassen, auf das Verletzungsrisiko der Insassen auswirkt. Aufgrund des erheblichen Einflusses des Sitzes auf die Bewegung der Insassen wurde ein detailliertes Multibody-Finite-Elemente-Modell eines handelsüblichen Doppelsitzes entwickelt. Die Originaldaten des verwendeten Sitzes wurden vom Hersteller zur Verfügung gestellt. Mit den numerischen Simulationen wurden zwei Testkonfi-

OCCUPANT CONFIGURATION	TEST RESULTS		SIMULATION RESULTS						
	Roof max. (mm)	Roof perm. (mm)	Roof max. (mm)	Roof perm. (mm)	Impact KE (kJ)	IE max. (kJ)	IE perm. (kJ)	E* Factor [1]	Occ Mass Factor [2]
None	414	340	415	340	21.1	16.0	11.8	76%	---
4 (Lap-belted)	467	380	467	380	25.9	18.8	13.5	73%	**71%**
4 (3-point belted)	---	---	483	395	26.1	19.1	13.7	73%	**93%**
4 (Unrestrained)	---	---	428	276	25.8	17.1	10.4	66%	**18%**

Table notes:-

1. E* factor = IE max. / Impact KE
2. The occupant mass factor is a measure of the effective mass of the occupants that is coupled to the coach during rollover. This is based on the displacement of the structure and uses the following boundary criteria:-
   - 0% is equivalent to bay section with no dummies (ie. 415mm max. displacement)
   - 100% is equivalent to bay section with four dummies rigidly attached in seats (488mm max. displacement, obtained from additional simulation model not reported)

Abbildung 3-2:
Ergebnisse der Aufbauteiltests und der Simulationen [4]

gurationen (Beckengurt, 3-Punkt-Gurt) untersucht und die wichtigsten Verletzungsparameter und Verletzungskriterien ermittelt. Es wurden Vergleiche zwischen dem detaillierten und einem einfacheren Sitzmodell durchgeführt. Anschließend wurden die Auswirkungen auf den Überlebensraum, entsprechend der ECE-R 66, durch die erhöhten Massen analysiert. Die Simulationen zeigten, dass sich die zusätzlichen Massen deutlich auf die Verformung der Fahrzeugstruktur und somit auch auf den definierten Überlebensraum auswirkten, Abbildung 3-3.

In einem dritten Schritt wurde daher der Einfluss auf die Verletzungskriterien durch eine erhöhte Steifigkeit der Fahrzeugstruktur untersucht. Für jede Simulation wurden die Verletzungskriterien ermittelt. Die Ergebnisse zeigt die Abbildung 3-4.

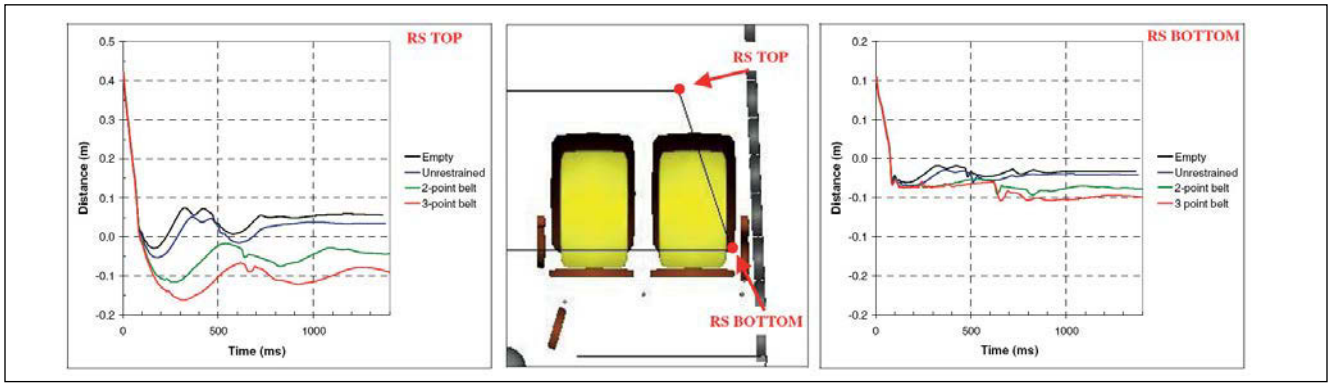


Abbildung 3-3:
Veränderung des Abstand zweier Referenzpunkte des Überlebensraums (RS TOP, RS BOTTOM) zur Fahrzeugstruktur über der Zeit während des Kippversuches [6]

Body loads and injury parameters for a two-point belted passenger

	Reference strength	Increased strength
Head acceleration (m/s^2) (CFC1000)	1841	**2873**
HIC (CFC1000)	1701	**2886**
Force lower neck (N)	4187	**7074**
Moment lower neck (Nm)	142	**175**
Upper rib acceleration (m/s^2) (CFC180)	650	**795**
Middle rib acceleration (m/s^2) (CFC180)	658	**777**
Lower rib acceleration (m/s^2) (CFC180)	676	**773**
TTI (FIR100)	44	43
Force lower lumbar (N)	7285	**8337**
Moment lower lumbar (Nm)	254	276
Force pubic symphysis (N)	7285	**8337**

Body loads and injury parameters for a three-point belted passenger

	Reference strength	Increased strength
Head acceleration (m/s^2) (CFC1000)	339	342
HIC (CFC1000)	78	91
Force lower neck (N)	1776	1745
Moment lower neck (Nm)	113	118
Upper rib acceleration (m/s^2) (CFC180)	417	375
Middle rib acceleration (m/s^2) (CFC180)	315	319
Lower rib acceleration (m/s^2) (CFC180)	294	295
TTI (FIR100)	31	32
Force lower lumbar (N)	4089	3750
Moment lower lumbar (Nm)	216	193
Force pubic symphysis (N)	4089	3750

Abbildung 3-4:
Ergebnisse der Körperbelastungen aus den Simulationen mit und ohne erhöhter Struktursteifigkeit des Fahrzeugaufbaus [6]

Die Autoren dieser Studie heben die Notwendigkeit hervor, dass das Sicherheitsniveau von Kraftomnibussen an das von Pkw angepasst werden muss. Dabei soll nicht nur die Erhaltung des Überlebensraumes bewertet werden. Für eine Fahrzeugfreigabe sollte auch das Einhalten der Insassenbelastungen vorgeschrieben werden.

Real and Simulated Crashworthiness Tests on Buses (2005) [7]

Dieses Paper einer ungarischen Studie wurde 2005 auf der 19. ESV Konferenz vorgestellt und diskutiert den Einfluss der Designaspekte von Kraftomnibussen auf die Crashfestigkeit bei Frontalkollisionen. Dabei wurden die Ergebnisse von Full-Impact-Versuchen mit 3,6 km/h, 6,98 km/h und 29,76 km/h mit den Ergebnissen der FEM-Modelle eines Ikarus 411 verglichen. Für die Geschwindigkeit von 29,76 km/h ergaben sich im Test etwas höhere Verzögerungswerte als in der ECE-R 80 vorgeschrieben. Die gemessenen Werte entsprechen eher den Bestimmungen, wie sie in der ECE-R 14 für den Test der Verankerung der Sicherheitsgurte vorgeschrieben sind. Die berechneten Kräfte des FEM-Modells des Ikarus 411 entsprachen den Ergebnissen des realen Crashversuchs, Abbildung 3-5. Daraus wurde in der Studie geschlossen, dass das FEM-Modell im Designprozess ein effektives Tool zur Analyse des Crashverhaltens darstellt.

Crash Tests with Coaches (2005) [8]

Das Institut für Fahrzeugtechnik der Fachhochschule Trier wollte im Jahr 2005 durch einen Frontal- und einen Überschlagversuch die Effektivität von Rückhaltesystemen in Kraftomnibussen demonstrieren. Dazu wurden zwei KOM der Marke Mercedes Benz (O303) mit Becken- und 3-Punkt-Gurten sowie Hybrid II und III Dummies ausgestattet. Allerdings wurden die Dummies für den Überschlagversuch auf der Aufschlaggegenseite positioniert, um sie vor Intrusionen zu schützen. Während des Überschlags und danach hielten die Sicherheitsgurte, die Sitze sowie ihre Verankerungen den Belastungen stand. Für die Dummies mit einem 3-Punkt-Gurt bestand die Gefahr, aus dem Sicherheitsgurt herauszurutschen, sofern dieser über die rechte Schulter gelegt war und das Fahrzeug auf die linke Seite kippt. Für Kinder, die mit einem Beckengurt gesichert sind, ist die Gefahr des Herausschleuderns ebenfalls vorhanden. Bei allen Dummies blieben die Belastungswerte aber weit unterhalb der maximal zulässigen Werte.

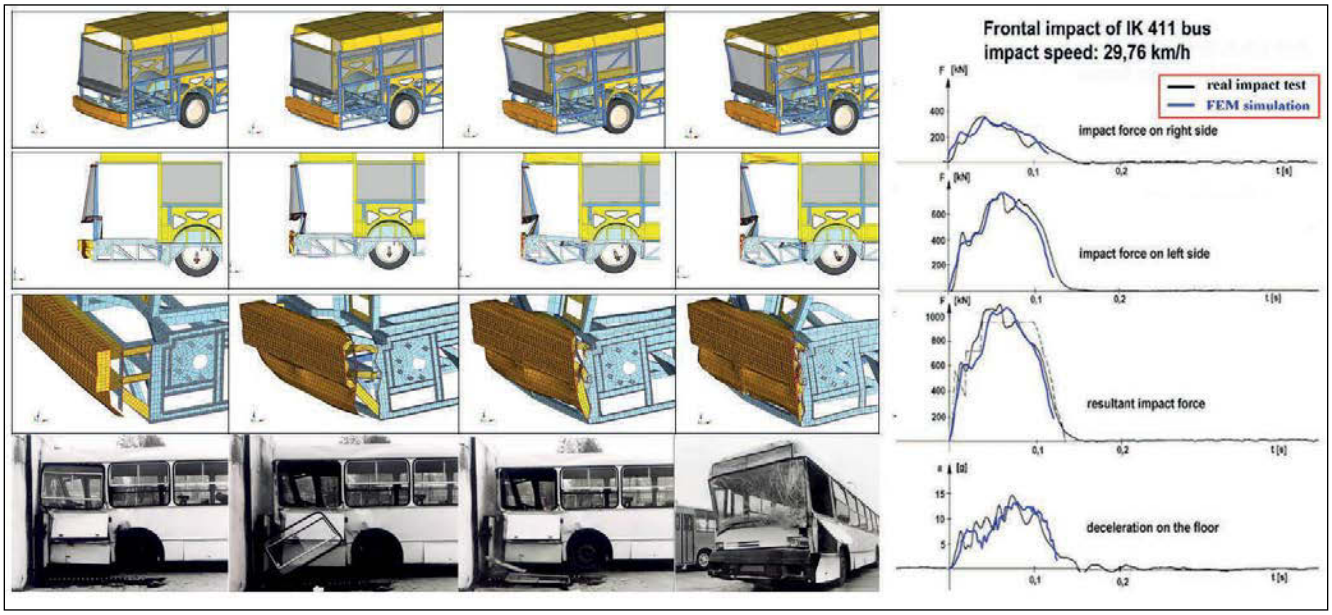


Abbildung 3-5:
Vergleich der Ergebnisse Simulation und Crashversuch bei 29,76 km/h [7]

Für den Frontalcrash wurde eine Geschwindigkeit von 33 km/h gewählt. Dies entspricht der ECE-R 80 zur Überprüfung der Sitzstruktur bei Frontalkollisionen. Bei einer Frontalkollision werden die ungesicherten Dummies durch den vorderen Sitz zurückgehalten. Die Belastungen lagen dabei ebenfalls weit unterhalb der gesetzlichen Limits. Für Insassen mit Beckengurten besteht durch den Klappmessereffekt die Gefahr, dass es zu einem signifikanten Kontakt des Kopfes mit dem vorderen Sitz kommt. Für 3-Punkt-Gurt gesicherte Dummies ergeben sich zwar die besten Ergebnisse, wie die Versuche gezeigt haben, liegen bei einem Frontalcrash aber auch die Belastungen von ungesicherten Dummies unterhalb der Belastungsgrenzen.

Preventing passenger ejection from buses, coaches and minibuses (2006) [9]

Das Ziel des zweijährigen Projektes des Cranfield Impact Centers war die Untersuchung der Häufigkeit und der Ursachen von Kraftomnibusüberschlägen sowie die Frage, welches Ausmaß an Verletzungen dem Herausschleudern der Insassen während eines Überschlages zugerechnet werden muss. Da die ECE-R 66 nur das Thema der Crashfestigkeit anspricht, bleiben Fragen und Probleme bezüglich eines möglichen Herausschleuderns der Insassen durch die Seitenscheiben und das anschließende Überfahren durch das Fahrzeug weiterhin offen. Für die Untersuchung wurden bereits die für andere Studien, geleitet vom Department of Transport (UK), entwickelten Finite-Elemente-Modelle von Bussen und Minibussen mit Sitzen, Sicherheitsgurten, Innenraumoberflächen sowie Einscheibensicherheitsglas und Verbundglasscheiben erweitert. Die Testbedingungen wurden auf Grundlage der Vorgaben der ECE-R 66 mit einer zusätzlichen Längsgeschwindigkeitskomponente durchgeführt, um so ein Rutschen des Fahrzeuges auf der Fahrbahn zu simulieren. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass Verbundglasscheiben zwar von Vorteil sind, die Verwendung eines 3-Punkt-Gurtes, der am Besten vor dem Herausschleudern schützt, aber außerordentlich wichtig ist. Den Vorschlag zur verpflichtenden Ausrüstung von Verbundglasscheiben geben die Autoren allerdings nicht. Vielmehr geben auch diese Autoren wiederholt den Hinweis, dass die ECE-R 66 hinsichtlich der Berücksichtigung der höheren zu absorbierenden Energie durch die gegurteten Insassen erweitert werden sollte.

The Severity of Bus Rollover Accidents (2007) [10]

In dieser ungarischen Studie wurden auf Grundlage 338 gesammelter Kraftomnibusüberschläge aus europaweiten Medienberichten statistische Auswertungen durchgeführt und eine Kategorisierung unterschiedlicher Überschlagunfälle vorgestellt:

- Kippen um 45° - Der KOM kippt dabei auf die Seite und rutscht noch eine gewisse Strecke. Der Höhenunterschied beträgt 0 m,
- Kippen in einen Graben – der KOM kippt in einem Winkel von 45° bis 90°. Die Tiefe des Grabens beträgt nicht mehr als 1,5 m. Die Drehung des Busses kann unterbrochen werden,
- Überschlag von der Straße – Der KOM kippt um mehr als 90° aber nicht mehr als 720°. Der Höhenunterschied zwischen der Straße und der Stelle, an der der KOM zum Liegen kommt, beträgt nicht mehr als 10 m,
- Schwerer Überschlag – Der KOM dreht sich um mehr als 720°. Die Höhendifferenz beträgt mehr als 10 m,
- Kombinierter Rollover – Nach dem Überschlag bricht ein Feuer aus, der Überschlag folgte einer schweren Kollision oder der KOM fällt in einen See oder Fluss.

Eine weitere Differenzierung führt der Autor hinsichtlich der Aufbaustrukturfestigkeit von Kraftomnibussen durch. Auf der einen Seite betrachtet er die allgemeine Steifigkeit des Aufbaus. Dabei differenziert er zwischen Strukturen, die der Standardvorschrift (ECE-R 66) standhalten und Strukturen, die während des Überschlags versagen, Abbildung 3-6 links. Zum anderen betrachtet der Autor die Stabilität der seitlichen Dachkante, die nach seiner Auffassung die weitere Bewegung des Kraftomnibusses während seiner Drehung beeinflusst, rechte Seite Abbildung 3-6.

Durch eine Testserie der ungarischen Forscher unter Verwendung mehrerer Kraftomnibusse gleichen Bautyps, konnten Vergleiche zwischen unveränderten und

verstärkten Aufbaustrukturen durchgeführt werden. Durch die variierenden Testkonfigurationen konnte festgestellt werden, dass eine verstärkte Busstruktur, die in einem Test ausreichend war und den Test bestand, unter anderen Testbedingungen durchaus versagen kann, Abbildung 3-7. Wie auf der rechten Seite der Abbildung 3-7 erkennbar wird, versagte im Kippversuch der hintere Teil der verstärkten Aufbaustruktur, wohingegen sie beim Überschlagversuch stand hielt, linke Seite Abbildung 3-7.

Nach den Vergleichen und der zusätzlichen Analyse zweier Realunfälle kommt der Autor zu dem Schluss,

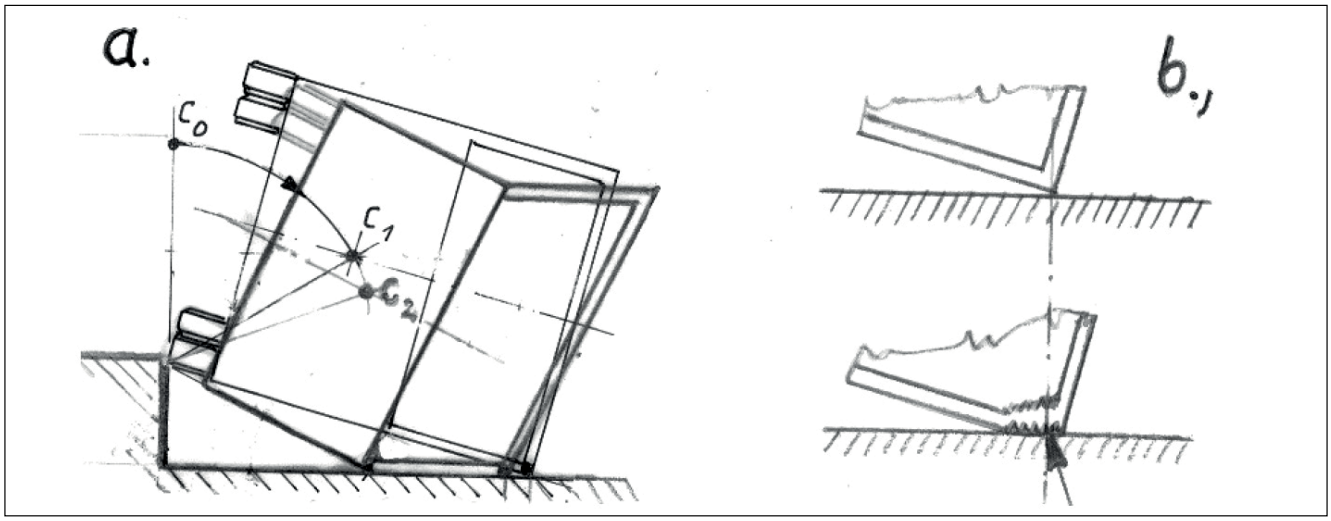


Abbildung 3-6:
Versagen der gesamten Fahrzeugstruktur und des seitlichen Dachrahmens [10]

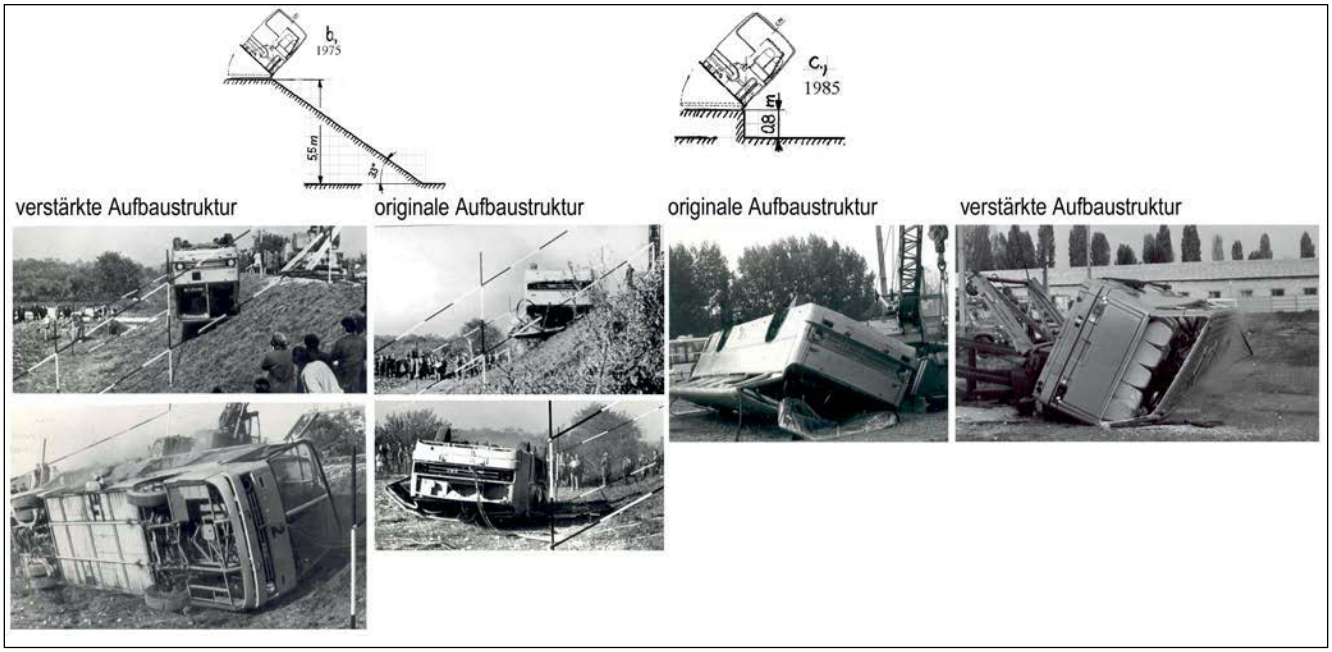


Abbildung 3-7:
Vergleich der Verformung der Aufbaustrukturen (verstärkt, nicht verstärkt) zweier unterschiedlicher Kipp- und Überschlagversuche [10]

dass jeder Überschlag stark durch die äußeren Umstände beeinflusst wird. Die Beurteilung der Unfallschwere sollte nicht anhand der Verletzten, sondern vielmehr am Überschlag selber durchgeführt werden. Der Autor gibt abschließend an, dass Intrusionen, die durch große Strukturverformungen entstehen, die Insassen am meisten gefährden.

Seats and their Anchorages Strength in Coaches under Rollover (2008) [11]

Während für Frontalkollisionen verbindliche Vorschriften für Sitze und deren Sicherheitsgurte gelten (ECE-R 14 und ECE-R 80), gibt es keine Regelungen, die Sitze und Sicherheitsgurte sowie deren Befestigung während eines Überschlags betreffen. Allerdings muss auch bei einem Überschlag sichergestellt sein, dass die Sitze fest mit dem Fahrzeug verbunden bleiben und die Verankerungen der Sicherheitsgurte nicht versagen. Zur Überprüfung der korrekten Rückhaltewirkung wurden vom „University Institute for Automobile Research" der Technischen Universität in Madrid, die ebenfalls am ECBOS-Projekte beteiligt war, ein entsprechender Test sowie die dazugehörigen Testgeräte entwickelt. Zu Beginn der Studie wurden Highspeedfilme, die im Rahmen des ECBOS-Projekts aufgenommen wurden, ausgewertet, um die Mechanismen der Verformung der Sitzstruktur bei gegurteten und ungegurteten Dummies zu analysieren und zu vergleichen. Die Autoren fanden heraus, dass die Sitze und deren Befestigungen bei einem Überschlag durch zwei verschiedene Situationen beansprucht werden. Zum einen werden sie durch die Deformation der Fahrzeugstruktur zum anderen durch den Fahrzeuginsassen selbst belastet.

Bei den Tests wurden folglich Sitze mit unterschiedlichen Befestigungsvarianten unter zwei verschiedenen Testbedingungen geprüft, Abbildung 3-8. Die geplanten Tests hatten zum einen das Ziel, Aussagen über die Verformung der Sitze während eines Rollovers treffen zu und können zum anderen Aussagen darüber zu machen, inwiefern die Sitze und deren Verankerungen als Strukturelement zur Absorbierung höherer Energien beitragen.

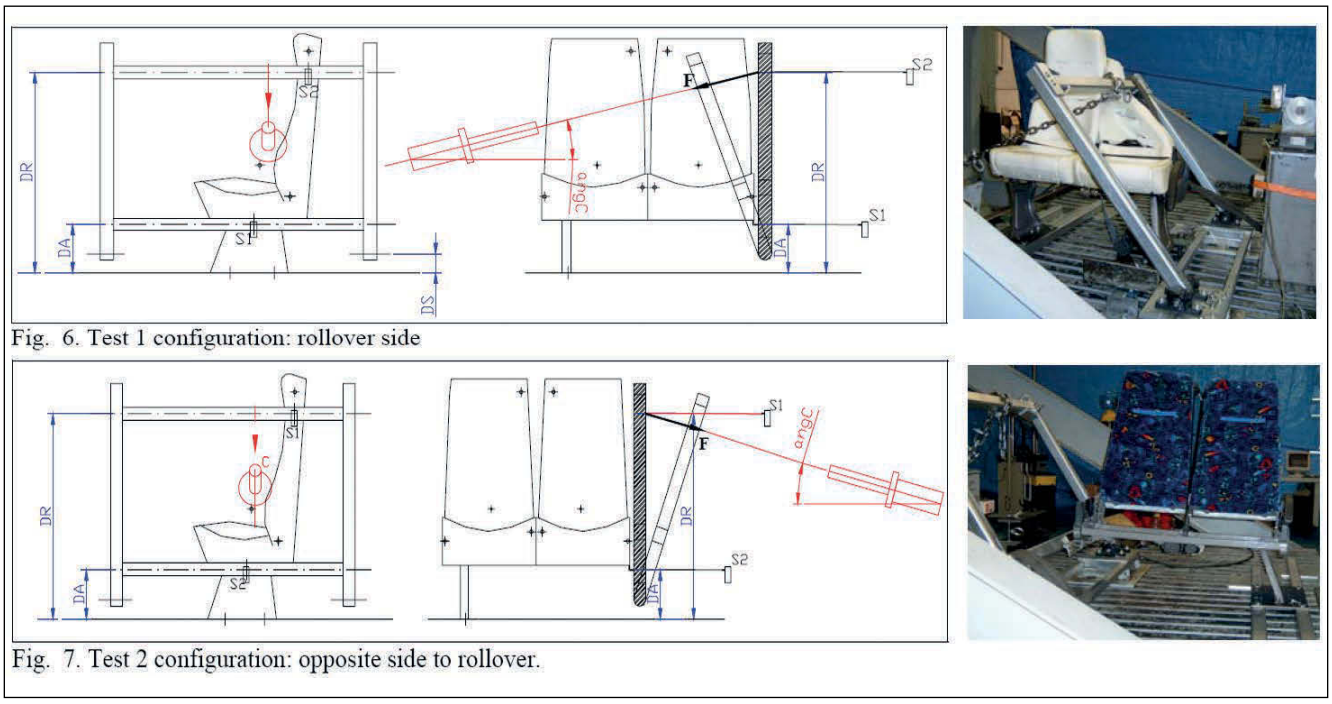


Abbildung 3-8:
Übersicht der zwei Testkonfigurationen und die Ergebnisse der Verformungen auf (oben) und gegenüber (unten) der Rolloverseite [11]

Zusammenfassend stellt die Studie heraus, dass alle getesteten Sitze den Belastungen im Falle des Rollovers stand hielten, obgleich sie bei manchen Konfigurationen kurz vor dem Versagen standen. Die Weiterentwicklung der verwendeten Testmethode könnte zur Verbesserung der Befestigungsgestaltung führen. Zusätzlich könnte eine technische Weiterentwicklung der Befestigungselemente des Sitzes an der Fahrzeugstruktur nach Auffassung der Autoren zur einer Veränderung der Verformungsmechanismen während eines Rollovers beitragen.

New bus optimized structure to improve the roll-over test (ECE-R 66) using structural foam with strength steel (2008) [12]

Auf Grundlage einer Experimentenreihe wurden in einer Kooperation von Henkel Technologies und dem Entwicklungsdienstleister Applus+ IDIADA Prototypen aus, mit Strukturschaum gefüllten, hochfesten Hohlprofilstählen entwickelt und validiert. Dabei wurden zu Beginn herkömmliche Materialien durch einen Biegetest überprüft, um anschließend Vergleiche von mit Terocore®[3] gefüllten und dicker ausgeführten Profilen durchzuführen. Für die mit Terocore® gefüllten Profile ergaben sich während der Standardtests durchweg positive Werte. Es ist durch die Füllung mit Terocore®, trotz geringerer Stahldicke möglich, gleiche Energien wie mit deutlich dickwandigeren Stählen zu absorbieren. Mit den Ergebnissen von Belastungsproben des Strukturschaumes wurde anschließend ein mathematisches Modell erstellt, Abbildung 3-9. Zusätzlich wurden auch hochfeste und heißgewalzte Stähle mit Terocore® gefüllt und den gleichen Belastungstests unterzogen. Als Ergebnis konnte ein um 76 kg reduziertes Aufbauteil unter Verwendung von Terocore® entwickelt werden, welches den gestiegenen Beanspruchungen der ECE-R 66 trotzdem standhält.

Sicherheit insbesondere von Doppeldeckerreisebussen – Struktursteifigkeit des Aufbaus und Gurtanlegeverhalten (2008) [13]

Gegenstand dieser Arbeit des Instituts für Fahrzeugtechnik der Fachhochschule Trier war die Analyse der Gurtanlegequoten in modernen Reisebussen und die Untersuchung der Aufbaufestigkeit von Doppeldeckerbussen im Hinblick auf die Anpassung an gesetzliche Vorschriften. Da es bisher keine Untersuchungen bezüglich der Gurtnutzung in Reisebussen gab, wurde durch die Autoren eine Pilotstudie bezüglich dieser Frage initiiert. Dabei wurde ein Reisebus mit Gurt- und Sitzsensoren ausgestattet. Über einen Zeitraum von einem Jahr konnten somit 2.100 Betriebsstunden hinsichtlich der Anlegequoten untersucht werden. Es zeigte sich, dass trotz der Anlegepflicht die Gurte nur in 25% aller Fälle benutzt wurden. Nach der Anbringung von Bordinformationen in Form von einfachen Aufklebern an jedem einzelnen Sitz konnte diese Rate bis auf 36% gesteigert werden.

Ab 2010 gelten laut ECE-R 66 für den Aufbau von Omnibusstrukturen erweiterte Prüfvorschriften. Zur Er-

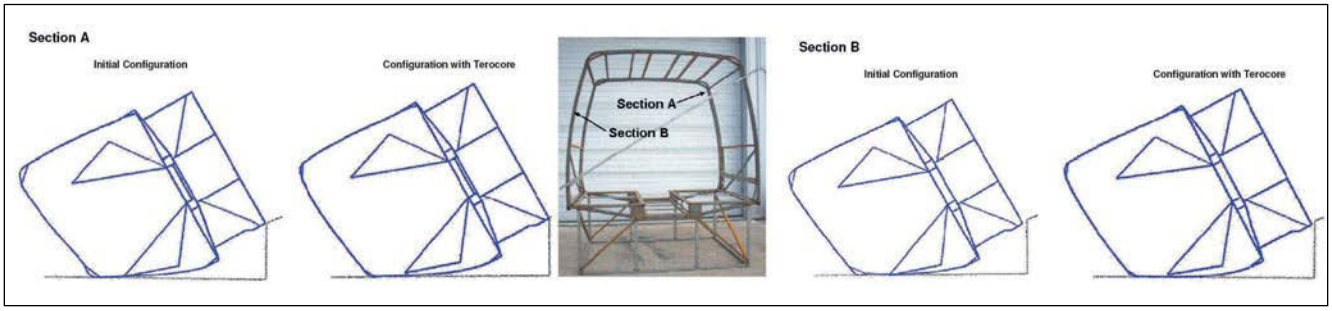


Abbildung 3-9:
Prototyp des Aufbauteils und Vergleich der Simulationsergebnisse zwischen dem ursprünglichem und dem mit Terocore® gefüllten Modell [12]

3 Terocore®: Strukturschaum auf Basis von Epoxidharzen

langung der Freigabe müssen neue Omnibusse mehr Energie absorbieren können, um den vorgeschriebenen Überlebensraum zu erhalten. Allerdings sind Doppeldeckeromnibusse auch in die neue ECE-R 66 nicht eingeschlossen. Zur Beantwortung der Frage, wie sich Doppeldeckerbusse bei einem Kippvorgang verhalten, wurde ein Finite-Elemente-Modell erstellt und den Testkriterien der ECE-R 66, Abbildung 3-10 oben, und den bekannten Werten eines Realunfalls unterzogen. Berechnet wurden drei Lastfälle, die sich in ihren kinetischen Energien während des Zustands des Erstaufschlages unterschieden. Schon frühzeitig zeigte sich, dass der Überlebensraum im Oberdeck während aller Versuche durch eindringende Strukturteile verringert wurde. Aus diesem Grund wurden in weiteren Simulationen veränderte Materialkennwerte und Profilgeometrien verwendet, wodurch ein positives Ergebnis im Verformungsverhalten der Busstruktur erlangt werden konnte, Abbildung 3-10 unten.

An Investigation on Roll-Over Crashworthiness of an Intercity Coach, Influence of Seat Structure and Passenger Weight (2009) [14]

In dieser Studie wurde durch die Zusammenarbeit von CADFEM, LS-DYNA und dem Bushersteller TEMSA das Überschlagverhalten des Finite-Elemente-Modells eines Reisebusses und das Verhalten der Sitzstruktur unter vier verschiedenen Versuchsbedingungen getestet. Dazu wurden Simulationen mit einem leeren Bus, einem leeren Bus inklusive Sitze, einem Bus mit zusätzlichen Passagieren und einem Bus mit weiteren 1.000 kg Beladung im Gepäckraum durchgeführt. Die Ergebnisse dieser vier Simulationen zeigt Abbildung 3-11. Es wird erkennbar, dass die vom Bus zu absorbierende Energie mit Insassen im Vergleich zum leeren Fahrzeug um fast 30 kJ ansteigt. Daher kommen die Autoren, wie in früheren Studien auch andere Autoren schon, zu dem Schluss, dass es notwendig erscheint, die Masse der Passagiere in der ECE-R 66 zu berücksichtigen.

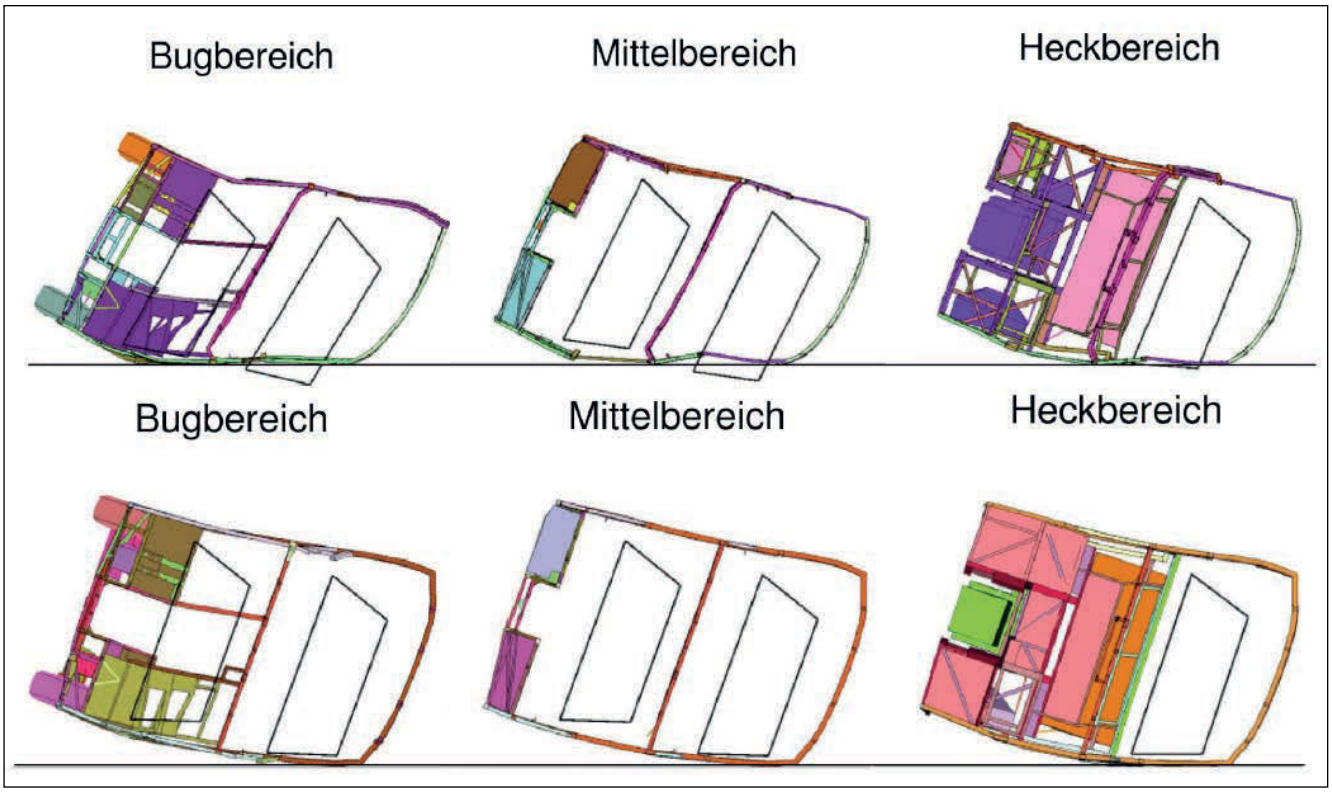


Abbildung 3-10:
Fahrzeug zum Zeitpunkt der maximalen Verformung unter den Testbedingungen der ECE-R 66 mit (unten) und ohne (oben) überarbeiteter Fahrzeugstruktur [13]

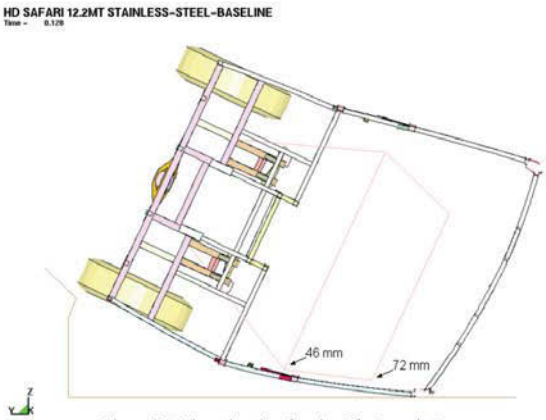


Figure. 10 Deformation plot of section 2 for Scenario 1

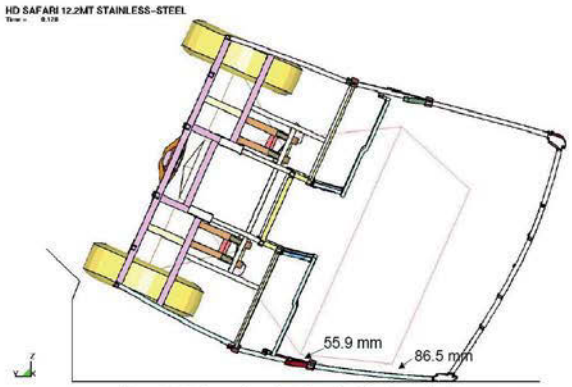


Figure. 11 Deformation plot of section 2 for Scenario 2

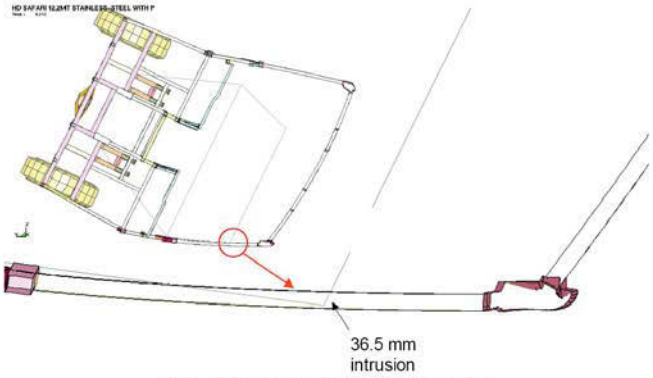


Figure. 12 Deformation plot of section 2 for Scenario 3

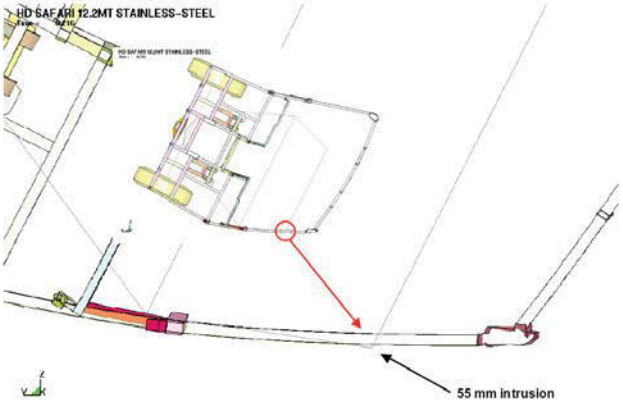


Figure. 13 Deformation plot of section 2 for Scenario 4

Table 1 – Mass CoG and Imposed Energy for Each Scenario

	Mass kg	CoG mm	Energy Joules
Baseline	13100	1225,4	78500
With Seats	13100	1220,7	78700
With Passenger weight	15956	1325,4	107700
With Passenger + Luggage	16913	1300,8	111000

Abbildung 3-11:
Ergebnisse der vier verschiedenen Testszenarien [14]

3.2 Studien zu Verletzungsmechanismen in Kraftomnibussen

Stand- und Sitzsicherheit im innerstädtischen Linienverkehr – Eine Untersuchung der tolerierbaren Beschleunigungen (1999) [15]

In dieser Arbeit wurden durch das Ingenieurbüro Schimmelpfennig und Becke verschiedene Aspekte zur Sitz- und Stehsicherheit in Linienverkehrkraftomnibussen untersucht. Es stellte sich wieder einmal heraus, dass ältere weibliche Businsassen am häufigsten betroffen sind. Nach der Untersuchung von realen Beschleunigungsvorgängen in Linienbussen wurden Fahrversuche durchgeführt, die Aufschluss über die maximal tolerierbaren Beschleunigungen gaben. Es wurden drei verschiedene Versuchsreihen zum Stehen und Gehen sowie zum Festhalten durchgeführt.

Als Ergebnis zeigte sich, dass ab einer Beschleunigung von 1,3 m/s² kein sicheres Stehen im Bus mehr möglich ist, sofern dem Passagier kein ausreichender Raum zur Verfügung steht. Darüber hinaus wurde eine Abhängigkeit der auf die Versuchspersonen aufgebrachten Haltekräfte von deren Körpergewicht und den aufgebrachten Beschleunigungen ermittelt. Wie zu erwarten war, unterschieden sich die tolerierbaren Verzögerungen zwischen älteren und jüngeren Probanden erheblich. Diese lagen bei den jüngeren Versuchspersonen um das 1,5fache höher. Die Versuche bezüglich des Verhaltens beim Sitzen während der Beschleunigungsvorgänge zeigten, dass erst Beschleunigungen von mehr als 4 m/s² zum seitlichen Kippen vom Sitz führten, sofern sich die Probanden nicht festhielten. Ab einer Beschleunigung von 6 m/s² traten diese Erscheinungen auch bei Personen auf, die in Fahrtrichtung blickten. Allerdings sollte dem Umstand Beachtung geschenkt werden, dass alle Probanden auf die bevorstehende Beschleunigung vorbereitet waren, so dass die gewonnen Ergebnisse im realen Fahrbetrieb in gewisser Weise nach unten zu korrigieren sind. Als Konsequenz aus den Versuchen entwickelte das Ingenieurbüro den Prototypen eines „Stehsitzes“, der die Vorteile des geringen Platzbedarfes und der Sicherheit während des Sitzens vereint, Abbildung 3-12.

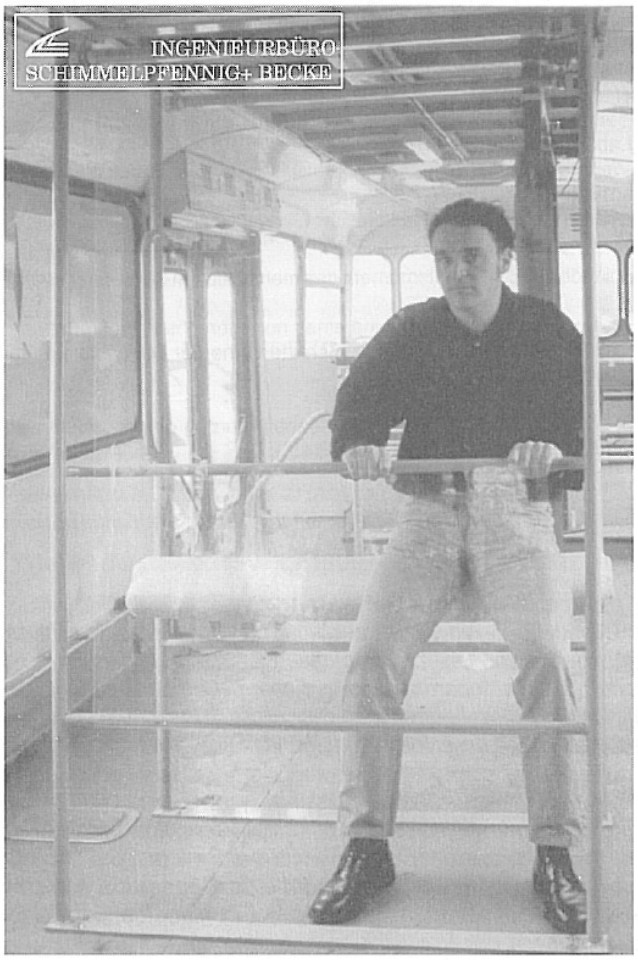


Abbildung 3-12:
In einem Linienbus installierter Prototyp eines Stehsitzes [15]

Passenger Casualties in Non-Collision Incidents on Buses and Coaches in Great Britain (2003) [16]

Die Autoren dieser britischen Studie, die ebenfalls am ECBOS-Projekt beteiligt waren, kommen nach der Auswertung der britischen Unfallstatistik und dem Vergleich mit anderen europäischen Studien zu dem Ergebnis, dass zwar die Unfalldatenerhebung in Europa sehr verschieden ist, sich jedoch die Zahlen der Verletzten aus „non-collision events“ zwischen Großbritannien, Österreich und Deutschland sehr stark ähneln. Sowohl in Österreich und Deutschland als auch in Großbritannien entstehen viele Verletzungen durch Notbremsungen. Hier gilt die Gruppe der älteren weiblichen Insassen als besonders gefährdet. Die Autoren geben die Empfehlung, die Bereiche

um den Fahrer, besonders die Fahrscheinautomaten am Fahrersitz, besser zu gestalten, um Kontaktverletzungen zu minimieren. Sie geben weiterhin den Hinweis, dass während Zeiten hohen Passagieraufkommens der Fahrer durch einen Schaffner unterstützt werden sollte, der den Fahrscheinverkauf abwickelt und beim Ein- und Aussteigen hilft. All dies würde den Fahrer entlasten und dieser könnte sich somit auf das Fahren konzentrieren. Die Autoren begrüßen zwar die neue Regelung für das Innenraumdesign, die vor allem das Ein- und Aussteigen erleichtern und das Interieur sicher machen sollen, erwarten aber kurzfristig keine Besserung der Senkung der Anzahl der Verletzten aufgrund des hohen Anteils an alten Fahrzeugen.

Is there a pattern in European bus and coach incidents? A literature analysis with special focus on injury causation and injury mechanism (2005) [17]

Diese schwedische Studie zielte mit einer Online-Literaturrecherche zur aktuellen Bussicherheit darauf ab, bestimmte Verletzungsmuster, die im Zusammenhang mit Unfällen von M2 bzw. M3 Fahrzeugen stehen, herauszufinden und zu beschreiben. Ein erhebliches Problem stellten dabei die unterschiedlichen Begriffsbestimmungen bei der Datenerhebung der einzelnen Länder dar. Wie auch in anderen Untersuchungen kamen die Autoren in dieser Studie zu dem Ergebnis, dass der Kraftomnibus eines der sichersten Verkehrsmittel ist. Nur 0,3 bis 0,5% aller europäischen Verkehrstoten sind Businsassen. In den Ländern der OECD ist die Wahrscheinlichkeit, in einem Bus getötet zu werden, sieben bis neunmal geringer als in einem Pkw. Überwiegend erleiden Frauen über 60 Jahre Verletzungen, da sie sich im Vergleich zu Männern häufiger in Kraftomnibussen fortbewegen. Obwohl tödliche Busunfälle meist außerhalb geschlossener Ortschaften geschehen, sind die meisten Unfallopfer innerhalb geschlossener Ortschaften zu verzeichnen. Mehr als 1/3 der Unfälle sind durch Ein- bzw. Aussteigen bedingt. Überschläge resultieren fast immer aus schweren Buskollisionen. Dabei stellt die Tatsache, herausgeschleudert zu werden, die größte Gefahr dar, tödliche Verletzungen zu erleiden. Aus diesem Grund sollte energieabsorbierenden Säulen, Handläufen und Glasscheiben mehr Aufmerksamkeit bei der Konstruktion zukommen. Festgestellt wurde weiterhin, dass 3-Punkt-Gurte den Insassen während einer Frontalkollision besser an den Sitz fixieren als Beckengurte. Nachteilig dabei sind die höheren Anschaffungskosten und notwendige Verstärkungen in der Fahrzeugstruktur. Trotz der Gefahr bei einem Überschlag aus dem 3-Punkt-Gurt heraus zu rutschen und dabei andere Insassen oder harte Strukturteile zu treffen, kommen die Autoren zu dem Schluss, dass dieser dem Beckengurt vorzuziehen ist.

Occupant Casualties in Bus and Coach Traffic (2005) [18]

Auf der Grundlage medizinischer Daten von 284 Patienten, gesammelt über einen Zeitraum von 10 Jahren, wurden in dieser schwedischen Studie die Verletzungen von Businsassen untersucht. Die Daten wurden für die Untersuchung herangezogen, da sie nach Auffassung der Autoren verlässlicher und aussagekräftiger sind als die Daten der offiziellen Statistiken bzw. der Polizei. Neben der Erarbeitung von Crash- und Verletzungsmechanismen richtete sich das Ziel auf die Erforschung der Auswirkung von 3-Punkt-Gurten auf die Verletzungen und den Einfluss von Umweltparametern, wie z.B. Seitenwind, auf das Unfallgeschehen. Für die Untersuchung wurden sowohl so genannte „Crash events“ als auch „Non-crash events“ herangezogen.

Nach Angaben des Autors resultiert die Mehrheit der Busunfallopfer aus den „Non-crash events“. 54% der Verletzungen aus „Non-crash events“ stehen 46% der Verletzungen aus Buskollisionen gegenüber, was praktisch einer 50/50-Verteilung gleichkommt. Mit einer Verletzungsschwere von MAIS 2+ stellen weibliche Businsassen mit einem Durchschnittsalter von 57 Jahren den größten Anteil bei den „Non-crash events“. Beim Boarding, speziell beim Aussteigen, treten dabei häufig Verletzungen an den unteren Extremitäten auf. Zur Reduzierung dieser Verletzungen schlägt der Autor die vermehrte Verwendung von Niederflurbussen mit „Kneeling-Funktion“ und verbesserte Haltestellengestaltungen vor, wie sie bereits in Curitiba (Brasilien) umgesetzt sind, Abbildung 3-13.

In der Kategorie der so genannten „crash-events“ wurden vom Autor drei Phasen unterschieden.

Abbildung 3-13:
Beispiel für verbesserte Haltestellengestaltung (Curitiba/ Brasilien) [18]

Precrashphase

Seitenwinde beeinträchtigen die Sicherheit von Kraftomnibussen in der Precrashphase erheblich. Aus diesem Grund vertritt der Autor die Meinung, dass der Aerodynamik von Bussen mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden sollte. Aus den Daten von 10 Busunfällen wurden mathematische Zusammenhänge zwischen der Geschwindigkeit, der Beladung des Fahrzeuges und dem Einfluss der Windgeschwindigkeit analysiert. Der Autor fand durch diese Analyse heraus, dass die Verschiebung des Schwerpunktes um 10% in Richtung der Hinterachse einen 45% höheren Reibungskoeffizient zwischen Straße und Reifen erfordert, Abbildung 3-14.

Crashphase

In der Crashphase werden die meisten schweren und tödlichen Verletzungen durch Überschläge und Herausschleudern verursacht. Durch den Einsatz von 3-Punkt-Gurten an Stelle von Beckengurten kann die Reduzierung von MAIS 2+ Verletzungen von 50% auf 80% erhöht werden. Weitere Beachtung sollten energieabsorbierenden Trägern und Geländern sowie Glasscheiben, die während eines Überschlags intakt bleiben, geschenkt werden. Im Falle eines schweren Busunfalles sollten die Rettungsmannschaften entsprechend schwere Rettungsgeräte zur Befreiung der Insassen vorrätig haben.

Zur Erhöhung der Gefahrenabwehr innerhalb verunfallter Busse sollten entsprechende Rettungsmethoden entwickelt und von den Hilfskräften trainiert werden. Basierend auf den Ergebnissen dieser Studie schlägt der Autor die Einführung eines Bewertungssystems für Busse gleich dem EuroNCAP vor, da dieses System ein Katalysator für die Verbesserung der Bussicherheit sein könnte. Ein weiterer positiver Effekt wird vom Autor dadurch erwartet, dass der „EuroNBAP“ den Reiseagenturen und Busunternehmen die Entscheidung zur richtigen Fahrzeugwahl erleichtern soll.

Table 9. Results from calculations with necessary coefficients of friction distributed over different loads.

Crash no.	Wind gusts (m/s)	Speed at the crash (km/h)	Calculations done in the mathematical model: (i) Necessary coefficient of friction with a laden case (μ)	Calculations done in the mathematical model: (ii) Necessary coefficient of friction with rear laden 10% case (μ)	Increase between laden and rear laden cases (%)
1	16	90[b]	0.47	0.74	57
2	15	93[a]	0.31	0.46	48
3	9	60[a]	0.11	0.16	45
4	21	90[b]	0.45	0.64	42
5	16	90[b]	0.32	0.45	41
6	10	75[a]	0.15	0.20	33
7	15	100[a]	0.36	0.54	50
8	21	75[a]	0.56	0.91	63
9	14	65[a]	0.13	0.16	23
10	17	90[a]	0.38	0.57	50
					Average 45

[a]Tachograph [b]Driver interviews

Abbildung 3-14:
Ergebnisse der Berechnungen der erforderlichen Reibungskoeffizienten aus der Analyse von 10 Busunfällen [18]

Non-collision injuries in public buses: a national survey of a neglected problem (2005) [19]

In dieser im Jahr 2005 veröffentlichten israelischen Studie wurden die Verletzungsmuster von 120 verletzten Insassen öffentlicher Kraftomnibusse untersucht. Der Erhebungszeitraum dieser prospektiven Studie umfasste acht Monate. Die Daten wurden von sechs Notaufnahmen gesammelt und durch die Autoren ausgewertet. Die Studie schloss alle Patienten ein, die in einem Bus des ÖPNV in städtischem oder ländlichem Gebiet verunfallten. Über die Hälfte der Verunglückten war älter als 55 Jahre. Die meisten Verletzungen erlitten Insassen die im Bus standen oder sich bewegten, während das Fahrzeug plötzlich bremste oder beschleunigte. Die zweit häufigste Verletzungsursache war das Ein- oder Aussteigen aus dem Fahrzeug. Am Häufigsten traten Verletzungen an den Extremitäten auf, gefolgt von Kopf- und Wirbelsäulenverletzungen. Die Ergebnisse dieser Studie zeigt Abbildung 3-15. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass die Verletzungen durch ein verbessertes Design des Businneren und durch Optimierung des Betriebsablaufes teilweise vermeidbar wären.

Non-collision injuries in urban buses- Strategie for prevention (2009) [20]

In diesem irischen Paper werden erstmals Ergebnisse von rechnergestützten Analysen der Verletzungen älterer Menschen veröffentlicht, die durch Brems- oder Beschleunigungsvorgänge in Kraftomnibussen verursacht wurden. Nachdem das reale Beschleunigungs- und Bremsverhalten analysiert wurde, wurden die Ergebnisse in eine Madymo-Simulation übertragen. Untersucht wurden zwei verschiedene Varianten von Insassenpositionen, Abbildung 3-16.

In der ersten Simulation wurde aus konstanter Fahrt plötzlich stark abgebremst. In der zweiten Simulation wurden lediglich Veränderungen im Reibwert zwischen Schuhen und dem Oberflächenbelag durchgeführt. In einer dritten Variante wurde eine zügige Beschleunigung,

Table 1 Age distribution of the injured bus passengers

Age (y)	Number	%
⩽18	8	6.7
19–34	22	18.3
35–54	23	19.2
55–74	43	35.8
75+	24	20.0

Table 2 Distribution of the 120 injuries according to the time of day*

Hour	Number	%
0500–1200	53	44.2
1200–1900	55	45.8
1900–2300	12	10.0

*Regular bus service stops around midnight and begins around 0500.

Table 3 Passenger location at the time of injury (total number = 120)

Position	Number	%
Standing	67	55.8
Moving	30	25.0
Sitting	23	19.2

Table 4 Mechanism of the 120 injuries

Mechanism	Number	%
Acceleration/deceleration	63	51.2
Boarding/alighting	35	28.5
Closing of doors	6	4.9
Bus swerving during a turn	9	7.3

Table 5 Sites of the 120 injuries

Site	Number	%
Limb	62	33.3
Head	54	29.0
Spine	41	22.0
Chest	11	5.9
Pelvis	12	6.5
Abdomen	4	2.2
Skin	2	1.1

Abbildung 3-15:
Ergebnisse der Analyse der Verletzungen der 120 Businsassen [19]

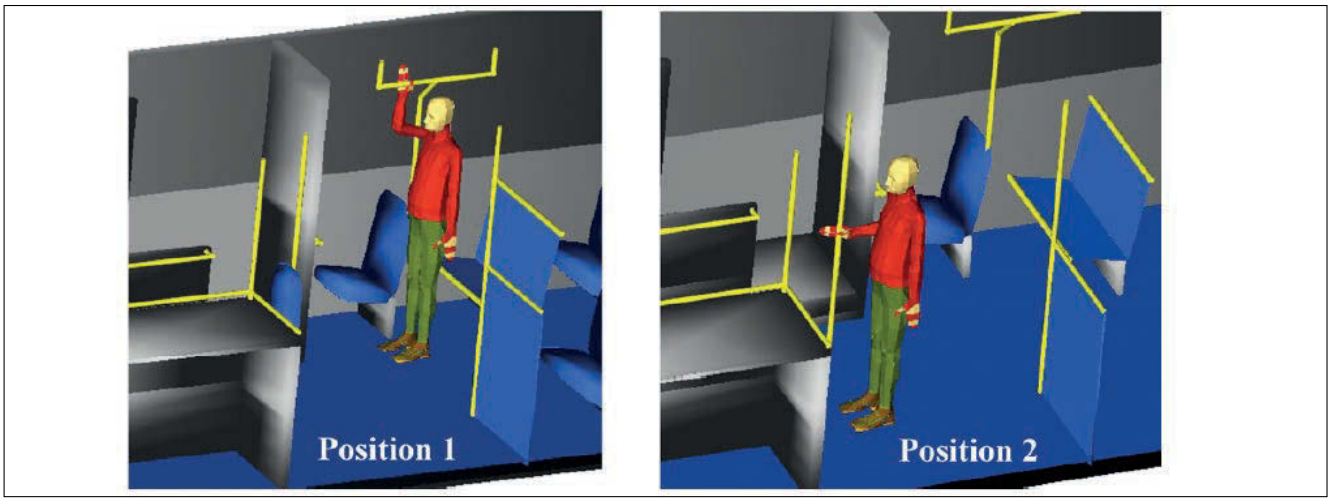


Abbildung 3-16:
Madymo-Modelle des Busses und verschiedener Insassenpositionen [20]

wie sie an Ampeln vorkommt, mit einer plötzlichen abrupten Bremsung kombiniert. Die Ergebnisse der berechneten Belastungen aller Simulationsvarianten zeigt die Abbildung 3-17.

Die aus den Simulationen abgeleiteten Verletzungsschweren entsprachen denen aus publizierten medizinischen Berichten. Die Autoren kommen zu dem Ergebnis, dass Passagiere sich nicht im Gang aufhalten sollten, um Beinverletzungen durch den Kontakt mit dem harten Sitzgestell zu verhindern. Weiterhin sollten sich Passagiere nicht im Eingangsbereich aufhalten, da es bei einem Gleichgewichtsverlust zu einem Kontakt zwischen dem Kopf und der Seitenwand des Busses kommen kann. Horizontale Handläufe sollten durch von der Decke hängende vertikale ersetzt werden. Zusätzlich sollte der Bodenbelag weicher werden. Zudem führen starke Beschleunigungen gefolgt von abrupten Bremsungen sehr wahrscheinlich zum Gleichgewichtsverlust älterer Menschen. Eine weitere wichtige Forderung der Autoren war, dass die Fahrer der Busse hinsichtlich des Bewegungsverhaltens der Insassen während bestimmter Fahrvorgänge

Matrix of computer simulations performed.

Position	Identifier	Input pulse	Friction coefficient
Position 1	1A	MEASURE 1.1	0.85
Position 1	2A	MEASURE 2.1	0.49
Position 1	2B	MEASURE 2.1	0.85
Position 1	3A	MEASURE 2.4	0.49
Position 1	3B	MEASURE 2.4	0.85
Position 2	4A	MEASURE 2.4	0.49
Position 2	4B	MEASURE 2.4	0.85

Principal injury predictions obtained in the Madymo simulations.

Simulation identifier	HIC36	Threshold	Injury risk (AIS ≥ 2)	Right leg (Nm)	Left leg (Nm)	Threshold (Nm)	Injury risk (AIS ≥ 2)	Left Tibia Index	Right Tibia Index	Threshold
1A	20.78	1000	0%	109.02	42.00	110–180[a]	19%	0.29	0.28	1.3
2A	758.18		35%	–	–		–	0.27	1.2	
2B	2.02		0%	126.03	82.50		39%	0.28	0.12	
3A	38.30		0%	51.75	128.80		43%	0.27	0.30	
3B	17.43		0%	137.03	89.35		55%	0.18	0.26	
4A	35.41		0%	98.35	75.00		11%	0.19	0.35	
4B	23.29		0%	66.70	122.98		35%	–	–	

–: No data available.

[a] Minimum and maximum threshold values in the literature.

Abbildung 3-17:
Ergebnisse der berechneten Belastungen aller Simulationen für unterschiedliche Beschleunigungswerte und Reibkoeffizienten zwischen den Schuhen und dem Oberflächenbelag im Gangbereich des Busses [20]

(Bremsen, Beschleunigen) sensibilisiert werden sollten. Dies könnte nach Meinung der Autoren in gesetzlich vorgeschriebenen Schulungen geschehen.

3.3 Studien zur allgemeinen Bussicherheit

Highway Special Investigation Report on Bus Crashworthiness Issues (1999) [21]

Innerhalb dieser amerikanischen Studie wurden durch das US National Transportation Safety Board 40 Kraftomnibus- sowie weitere sechs Schulbusunfälle analysiert. Die Untersuchungen dieser Studie zielten darauf ab, herauszufinden, welche zusätzlichen Maßnahmen zur Verbesserung der Businsassensicherheit getroffen werden müssen. Die Autoren untersuchten unter anderem die Effektivität von Insassenschutzsystemen in Schulbussen, die Effektivität von bundesstaatlichen Standards zur Crashfestigkeit und Diskrepanzen zwischen den unterschiedlichen Kraftomnibusdefinitionen. Die Autoren empfehlen der NHTSA die Entwicklung von nicht weiter im Paper erläuterten Leistungsstandards, die die Sicherheit von Businsassen gewährleisten. Diese Standards sollen für Reise- und Schulbusse bei Frontal-, Seiten- und Heckkollisionen sowie Überschläge gelten. Die NHTSA sollte die laufende Forschung hinsichtlich der Seitenverglasung ausbauen, da diese ein Herausschleudern verhindern können. Die Forschungsergebnisse sollen ferner auf die Anwendbarkeit neu hergestellter Busse hin überprüft werden. Es sollten weiterhin Leistungsstandards für die Festigkeit der Busdächer entwickelt werden, um somit den Überlebensraum auf allen Sitzplätzen zu sichern.

Der Kraftomnibus im aktuellen Unfallgeschehen (2001) [22]

Das Institut für Fahrzeugsicherheit (IFM) führte eine In-depth Analyse von Busunfällen in Bayern (1998) durch. Bei der ersten Auswertung der Unfallzahlen zweier bayerischer Städte zeigte sich, dass Verletzungen von Businsassen ohne Kollision doppelt so häufig auftreten wie Verletzungen nach Kollisionen. Starkes Bremsen und Anfahren erwiesen sich als häufigste Verletzungsursache. Weibliche Personen bilden dabei die dominierende Gruppe der Verletzten. Obwohl leichte Verletzungen an den oberen, unteren Extremitäten und im Kopfbereich überwogen, traten in diesen Körperregionen vereinzelt auch schwere Verletzungen auf. Durch die Untersuchungen des IFM ergaben sich folgende technische und personelle Maßnahmen:

- elektronisch gesteuerte Bremsen
- energieabsorbierende Fußböden und Halteeinrichtungen
- adäquate Polsterung der Sitze
- mehr Sitzplätze für ältere Insassen
- Sensibilisierung der Fahrer in Hinblick auf ältere weibliche Passagiere
- Sensibilisierung der Fahrgäste auf mehr Rücksicht gegenüber älteren Passagieren.

Hinsichtlich der passiven Sicherheit formulieren die Autoren folgende Empfehlungen:

- Einführung von Fahrdynamikregelungen mit Kippstabilisation
- Einführung von Reifendruck-Überwachungssystemen
- EU-weite obligatorische Einführung von Regelungen zur Kippsicherheit gemäß ECE-R 66
- EU-weite obligatorische Einführung von Regelungen zum Rückhaltevermögen der Sitze und deren Verankerung gemäß ECE-R 80
- Obligatorische Einführung von UDS in Reisebussen
- Automatische Unfallmelder mit Panikknopf
- Seitenscheiben aus bruchsicherem Glas.

Evaluation of Occupant Protection in Buses (2002)

In dieser Studie werden die Ergebnisse einer Literaturstudie über die Sicherheit von Businsassen und die Regulierungsverfahren in Kanada, Australien, der USA und Europa beschrieben. Wie auch schon zuvor sind die Autoren zu dem Schluss gekommen, dass Busfahren eine der sichersten Transportarten ist. Dennoch sollten Anstrengungen unternommen werden, die die Bussicherheit weiter verbessern. Die Kernaussagen dieser Studie sind:

- es gibt keine einheitliche Klassifizierung der Kraftomnibustypen
- Überschläge und das Herausschleudern sind die Hauptgründe für schwere und tödliche Verletzungen
- der Beckengurt ist das bevorzugte Rückhaltesystem
- 3-Punkt-Gurte sind bei der Reduzierung von Verletzungen und dem Herausschleudern sehr effektiv
- bruchsicheres Glas wirkt ebenfalls dem Herausschleudern entgegen
- die Nachrüstung von Sicherheitsgurten ist schwierig und kostenintensiv, wenn die Bodenstruktur die Kräfte nicht aufnehmen kann
- Bussitze mit integrierten Sicherheitsgurten sind ohne höheres Gewicht realisierbar
- die Regulierungen hinsichtlich der Struktursteifigkeit der Fahrzeuge, der Sitzbefestigung und der Sicherheitsgurte in Australien und Europa spiegeln das reale Unfallgeschehen wider.

Sicherheitsmaßnahmen bei Reisebussen (2004) [23]

Auf dem DEKRA/VDI Symposium 2004 wurde über zwei Projekte berichtet, die zum einen das Brandverhalten von Reisebussen und zum anderen eine Schwachstellenanalyse zur Optimierung des Notausstieges von Reisebussen thematisierten. Die erstgenannte Studie zielte darauf ab, das reale Brandgeschehen im Hinblick auf die Regulierung 95/28/EG, die eine Prüfung des Brennverhaltens von Werkstoffen der Kraftfahrzeuginnenausstattung mit drei verschiedenen Methoden vorschreibt, zu untersuchen und gegebenenfalls Verbesserungsmöglichkeiten herauszuarbeiten.Über einen längeren Zeitraum, von 1999 bis 2003, wurden daher von der DEKRA 55 Busbrandfälle untersucht. Die Autoren dieser Studie sind der Ansicht, dass die geltende Richtlinie das reale Brandverhalten nur unzureichend wiedergibt, da weder die Rauchgasmenge noch die Rauchgastoxizität bewertet wird. Zur Verbesserung der Beurteilung des Brandverhaltens

schlagen die Autoren eine Orientierung an den Richtlinien für Straßen- und Eisenbahnen vor, da das nicht die Entwicklung komplett neuer Verfahren erfordern würde. Die Autoren sind der Auffassung, dass Brände in Reisebussen nicht völlig auszuschließen sind. Sie regen daher Folgendes an:

- Brandmeldeanlagen im Motorraum, in der Bordtoilette und in Treppenaufgängen zum Oberdeck vorzuschreiben,
- automatische Löschanlagen im Motorraum zu installieren (nicht gesetzlich vorzuschreiben),
- eine Anpassung der Regelung zur Mitführung der Feuerlöscher vorzunehmen,
- die Insassen durch Informationssysteme (bspw. Piktogramme) über die Sicherheitseinrichtungen vor Fahrtantritt zu informieren,
- ein generelles Rauchverbot zu veranlassen (Entscheidung soll allerdings beim Busbetreiber liegen),
- automatische Notrufsysteme mit gleichzeitiger Ermittlung der Fahrzeugposition zu installieren sowie die Prüfung der Toxizität aller verwendeten Materialien vorzuschreiben.

In der zweitgenannten Studie wurden neben einer Schwachstellenanalyse nationaler, internationaler und europäischer Richtlinien bezüglich der Notausstiege auch Evakuierungsversuche aus einem Reisebus in Seitenlage durchgeführt. Die gewonnenen Erkenntnisse wurden zur Erarbeitung von Anforderungen, Leistungen und Prüfbedingungen eines optimierten Notausstiegssystems benutzt. Unter anderem beinhaltete das erstellte „Lastenheft“:

- die Betätigung des Ausstieges muss für Kinder und Erwachsenen ohne Kraftaufwand und auch von außen möglich sein
- die Ausstiege sollten kinder- und seniorengerecht sein
- in jeder Lage des Busses sind zwei Hauptfluchtrichtungen sicherzustellen
- automatisierte Notöffnung
- die maximale Notöffnungszeit sollte nur 5 sec betragen
- Notöffnungsmöglichkeiten von Verbundsicherheitsglas.

Three Point Seat Belts on Coaches – The First Decade in Australia (2005) [24]

Seit der zweiten Jahreshälfte 1994 müssen in Australien alle Kraftomnibusse mit 3-Punkt-Sicherheitsgurten ausgestattet sein. In dieser Untersuchung wurden technische Probleme sowie betriebliche Verhaltensaufälligkeiten von 3-Punkt-Sicherheitsgurten betrachtet. Ein weiterer Punkt betraf die Ermittlung der Gurtanlegequoten in Australien. Die Autoren schlussfolgerten, dass die Anlegeraten mit 20% sehr gering sind. Daher sollten, wie es schon in den 90er Jahren erfolgte, Programme erarbeitet werden, die die Businsassen dazu ermutigen, die Sicherheitsgurte anzulegen. Die anfänglichen Bedenken hinsichtlich der Kosten und des Gewichtes der mit Sicherheitsgurten ausgestatteten Sitze erwiesen sich als unbegründet. Im Vergleich wiegen moderne Doppelsitze 15 bis 30% weniger als ältere Sitze. Schlussendlich ergaben sich auch keine Nachteile für die Transportkosten in Australien. Aus diesem Grund sind die Autoren darüber erstaunt, dass die bewiesenen positiven Ergebnisse nicht weltweit angenommen werden.

Large School Bus Safety Restraint Evaluation – Phase II (2003) [25]

In der zweiten Phase des NHTSA-Projekts zur Kindersicherheit in Schulbussen wurden Schlittentests vor dem Hintergrund der Untersuchung der Effektivität verschiedener Rückhaltesysteme bei Frontalkollisionen durchgeführt. Innerhalb der Testreihen wurden die Belastungswerte HIC_{15}[4], Nij[5] und die 3 ms Brustbeschleunigung gemessen. Sowohl für Dummies, die mit Becken-, 3-Punkt-Gurt, einer Kombination aus 3-Punkt-Gurt und Airbag gesichert waren, als auch für ungesicherte Insassen ergaben sich Werte, wie sie zusammenfassend Abbildung 3-18 zeigt. Neben den korrekt gegurteten Dummies wurden gleichzeitig auch Misuse-Tests durchgeführt. Das obere linke Bild der Abbildung 3-18 zeigt die Übersichtsgrafik der Ergebnisse des HIC_{15}. Die Werte wurden dabei auf den Erhalt/Nichterhalt-Wert von 700 normiert. Ein Wert von 1.0 bedeutet demnach ein HIC_{15} von 700, damit

4 HIC: Head injury criterion
5 Nij: Normalized Neck injury criterion

besteht ein 30%iges Risiko, schwer verletzt zu werden. Im oberen rechten Bild der Abbildung 3-18 liegt das Erhalt/Nichterhalt-Kriterium für das Nij bei 1.0. Bei einem Wert von 2.0 besteht dagegen schon ein 67%iges Risiko, schwer verletzt zu werden. Im unteren Diagramm wurde der Durchschnittswert der 3 ms Brustkorbbeschleunigung normiert. Auch hier entspricht ein Wert von 1.00 dem Erhalt/Nichterhalt-Kriterium.

Child Safety Research in School Buses (2005) [26]

Dieses Paper entstand in Zusammenarbeit der National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) und dem Volpe National Transportation Systems Center und wurde in ähnlicher Form im Jahr 1998 auf der 17. ESV Konferenz unter dem Titel „Large School Bus Safety Restraint Evaluation" vorgestellt. In dieser Studie wurde der Stand der Forschung zur Kindersicherheit in Schulbussen untersucht. Durch eine Analyse verschiedener amerikanischer Unfalldatenbanken fand die NHTSA heraus, dass die meisten tödlichen Schulbusunfälle mit anderen Fahrzeugen auf Straßen mit ausgewiesenen Geschwindigkeiten von 55-60 mph (88-97 km/h) geschehen. Die häufigsten Unfallgegner sind schwere Lastkraftwagen. Auf Grundlage dieser Erkenntnisse wurden ein Frontalcrash mit einer Geschwindigkeit von 30 mph gegen eine ortsfeste undeformierbare Barriere (OUB) und ein Aufprall eines Lastkraftwagen mit 45 mph in die Seite eines stehenden Schulbusses durchgeführt, bei dem ein Lkw mit einer Geschwindigkeit von 45 mph unter einem 90° Winkel in die Seite eines Schulbusses gefahren wurde, Abbildung 3-19. In beiden Versuchen wurden die Busse mit verschieden großen Dummies ausgestattet. Bemerkenswert war, dass außerhalb der direkten Anstoßzone des Lkw die Belastungen weit unterhalb der gesetzlich geforderten Grenzwerte lagen.

Für alle Dummies ergaben sich auch bei der Frontalkollision Belastungen weit unterhalb der gesetzlich zulässigen Werte. Bezüglich der Frontalkollisionen kommen die Autoren zu dem Ergebnis, dass standardisierte Tests für freiwillig eingebaute Sicherheitsgurte benötigt werden und dass Sicherheitsgurte für Busse unter 10.000 Pfund (4536 kg) erforderlich sind.

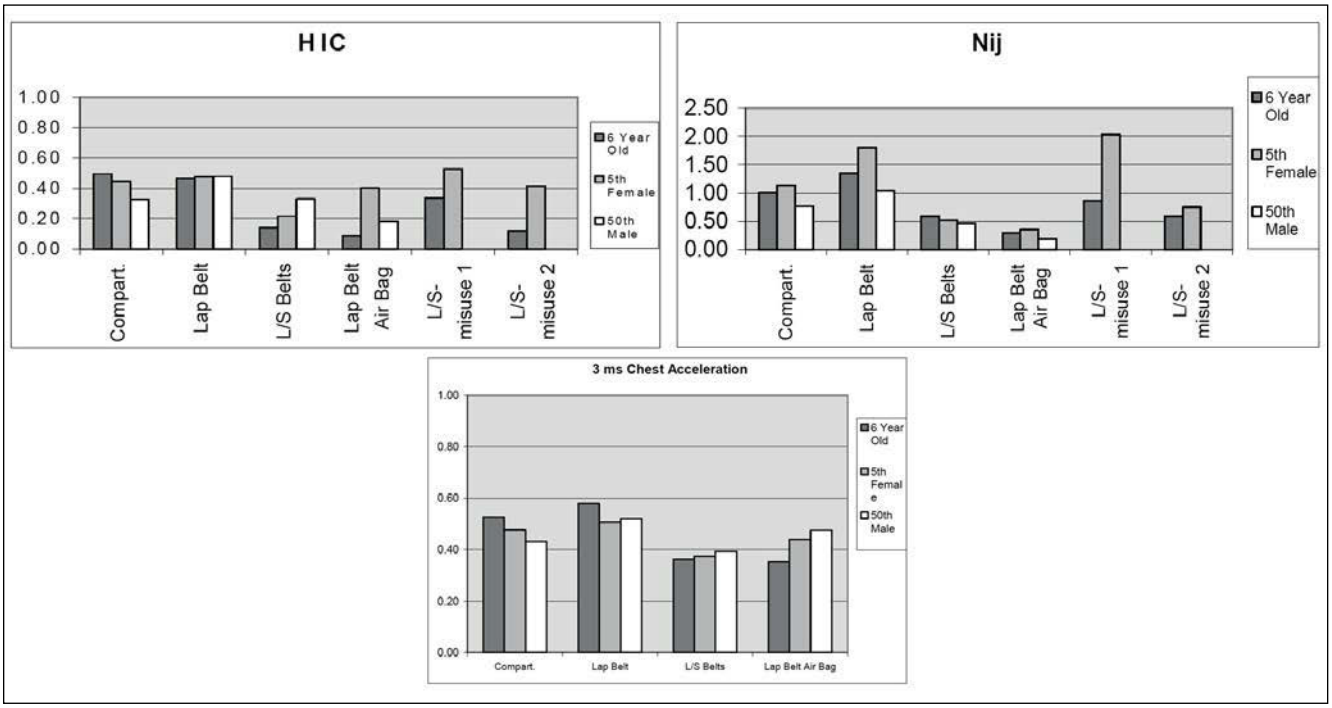


Abbildung 3-18:
Ergebnisse der Schlittenversuche mit verschiedenen Rückhaltesystemen [25]

Information Brief on Bus Vehicle Safety (2006) [27]

Neben einer kurzen statistischen Zusammenfassung australischer Busunfälle kommt die Australian Bus Industry Confederation (BIC) zu dem Ergebnis, dass auch in Australien Kraftomnibusse die sichersten Transportmittel sind. Zur weiteren Reduzierung der Verletzten und Getöteten kann jedoch nur eine kombinierte Verbesserung der Überschlagfestigkeit, der Sitzbefestigung sowie die Ausstattung der Fahrzeuge mit Sicherheitsgurten führen. Es zeigte sich, dass das Vorhandensein von Sicherheitsgurten allein nicht ausreiche, wenn das Fahrgestell oder die Sitzbefestigungen bei einem Rollover oder Frontalaufprall nicht Stand halten. Allerdings kommt die BIC zu dem Ergebnis, dass ein Kollabieren älterer Fahrzeug- oder Sitzstrukturen ein größeres Risiko birgt als das Fehlen von Sicherheitsgurten. Die Autoren geben den Hinweis, dass die Rücklehnen stärker gepolstert werden sollten, da damit die Verletzungsquote um 20% verringert werden könnte.

Im Gegensatz zu anderen Untersuchungen kommt die BIC durch eine Analyse anderer Forschungsergebnisse zu dem Schluss, dass das Risiko stehender Passagiere in Stadtbussen relativ gering ist. Allerdings sollten die maximalen Geschwindigkeiten für Busse, die stehende Passagiere transportieren, gesetzlich auf 80 km/h beschränkt werden. In dieser Studie werden Fragen bezüglich der Verantwortlichkeit zur Überprüfung der Gurtbenutzung und des Umgangs mit Passagieren, die das Anlegen von Sicherheitsgurten verweigern, aufgeworfen, die jedoch unbeantwortet bleiben.

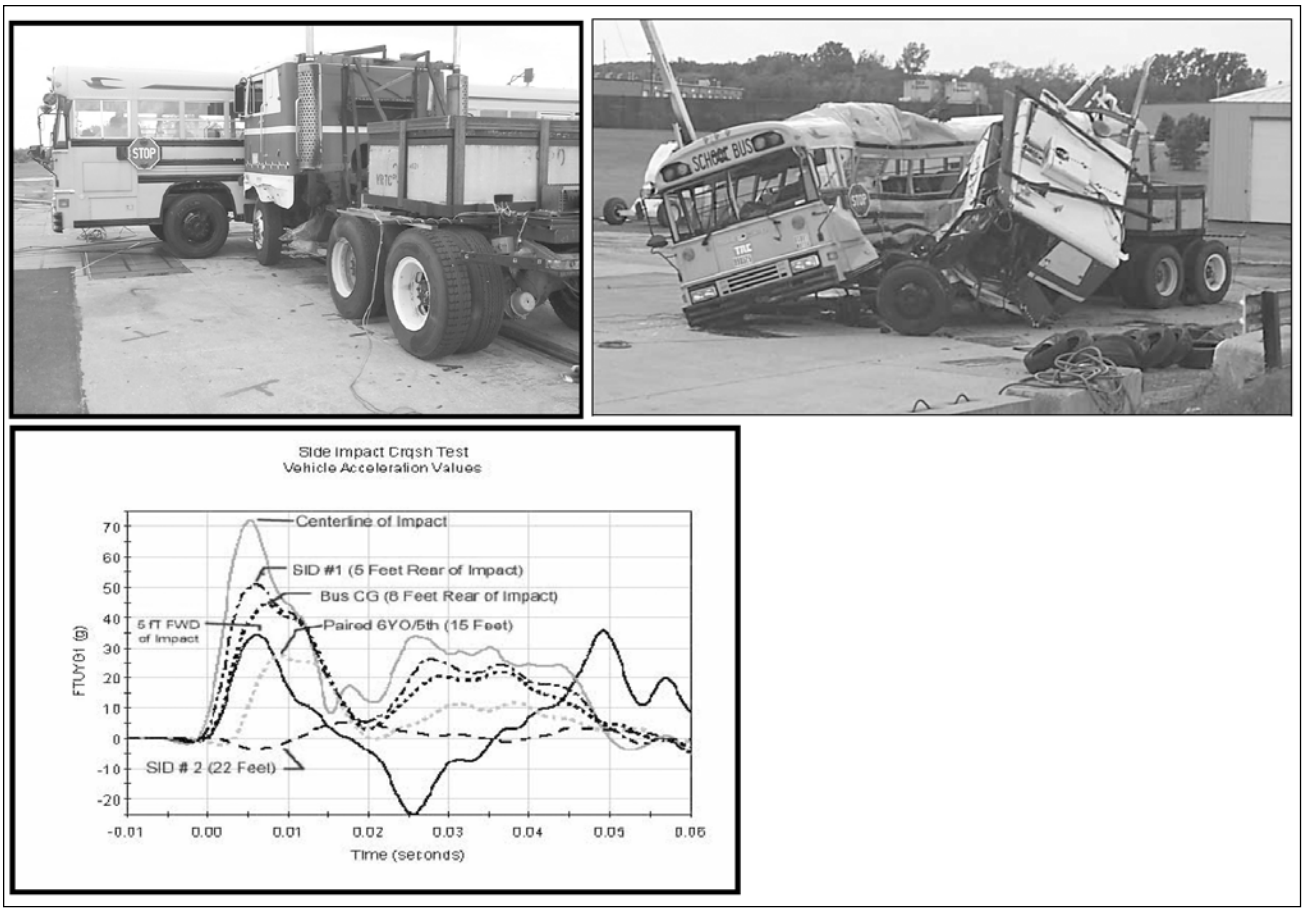


Abbildung 3-19:
Stellung der Fahrzeuge vor und nach dem Crashversuch sowie die gemessenen Beschleunigungswerte unterschiedlicher Dummies [26]

Improving Safety management in Australia´s Bus industry (2008) [28]

Neben der Auflistung und Zusammenfassung jüngster Studien zur Bussicherheit, die zum Teil auch in dieser Arbeit ausgewertet wurden, beinhaltet dieses Paper unter anderem folgende Verbesserungsvorschläge der SIA[6], die durch die NTC[7] realisiert werden sollen:

- Anwendung der ADR 59[8] (ECE-R 66) auf alle Omnibustypen
- Anwendung der ADR 66[9] und ADR 68[10] für alle Sitzpositionen
- Verbundsicherheitsglas für alle Fensterscheiben
- Crashfestigkeits- und Aufprallkompatibilitätsbestimmungen für Kollisionen mit anderen Verkehrsteilnehmern
- Gewährleistung der Sicherheit ein- und aussteigender Passagiere
- Überwachung kontinuierlicher Verbesserung der Sicherheitsgurttechnologien
- Einführung eines Wartungskontrollsystems
- Tragepflicht von Sicherheitsgurten für Schulkinder bei Exkursionen
- Einführung der Kontrolle des Anlegens von Sicherheitsgurten durch Lehrer oder einen anderen Verantwortlichen.

Untersuchungen zur inneren Sicherheit von Kraftomnibussen (1995) [30]

In dieser Arbeit wurde anhand von 65 Unfallgutachten der Dekra die innere passive Sicherheit von Kraftomnibussen untersucht. Es wurden nur schwere Unfälle, bei denen Insassen verletzt wurden, bzw. solche Unfälle, bei denen es aufgrund der Beschädigungen des Kraftomnibusses zu Verletzungen hätte kommen können, herangezogen. Es stellte sich heraus, dass Kollision mit einem entgegenkommenden Pkw einen Unfallschwerpunkt darstellen. Aber auch Kollisionen mit dem Heck eines Lkw Insassen enden für Businsassen häufig mit schweren Verletzungen. Sehr kritisch zu bewerten sind Alleinunfälle mit umkippenden Kom, aus denen etwa 70 % der Getöteten des gesamten Datenmaterials hervorgingen. Sofern es nicht zum Kippen des Kraftomnibusses kam, waren Deformationen im Fahrgastbereich selten aufgetreten. Als häufige Unfallursachen stellten sich technische Mängel, überhöhte Geschwindigkeit oder Unaufmerksamkeit des Fahrers heraus.

Überblick und ausgewählte Szenarien des Unfallgeschehens mit Bussen in Deutschland und Europa (2006) [31]

Neben der statistischen Analyse des europäischen Unfallgeschehens und der Beschreibung typischer Unfallszenarien wurden in dieser Studie von EVOBUS und Dekra Kraftomnibusunfälle aus der Dekra-Datenbank nach dem Schema der eSafety HDV-Gruppe untersucht. Das Schema der eSafey HDV-Gruppe lässt sich in die Gruppen mit

- verletzten/getöteten Insassen der betrachteten Fahrzeugkategorie (Gruppe A),
- verletzten/getöteten Insassen der Unfallgegner der betrachteten Fahrzeugkategorie (Gruppe B)
- und verletzten/getöteten ungeschützten Verkehrsteilnehmern und der betrachteten Fahrzeugkategorie (Gruppe C)

einteilen. Für die Gruppe der verletzten/ getöteten Businsassen stellten sich Unfälle mit Nutzfahrzeugen (41 %) und der Umkippen/ Überschlagunfall (18 %) als besonders kritisch heraus. Den dominierenden Anteil der Unfälle der Gruppe B stellte der PKW-Frontalunfall (54 %), gefolgt von Unfällen, bei denen es zur Kollision der Kraftomnibusfront und der Pkw-Seite (17 %) kommt.

Als weiteres Ergebnis zeigte sich, dass ungeschützte Verkehrsteilnehmer häufig bei Kreuzungskollisionen (27 %) oder Gegenverkehrskollisionen (25 %) schwer verletzt oder getötet werden.

6 SIA: Safety Institute of Australia Inc.
7 NTC: National Transport Commission
8 ADR 59: Australische Regulierung zur Überrollfestigkeit von Kraftomnibussen
9 ADR 66: Australische Regulierung zur Sitzfestigkeit, deren Verankerungen und Polsterung
10 ADR 68: Australische Regulierung zur Insassensicherheit von Kraftomnibussen

3.4 Zusammenfassende Bewertung der Unfallstatistik und der Literaturrecherche

In einem Aspekt sind sich alle Autoren der verschiedenen Forschungsprojekte einig:
Der Kraftomnibus stellt trotz einiger Probleme und vorhandenen Forschungsbedarfs eines der sichersten Transportmittel dar.

Gleichwohl war es für die Autoren der Publikationen offenbar problematisch, eine eindeutige Definition für „schwere Kraftomnibusunfälle" festzulegen. Ein Kriterium für die Einteilung war die Anzahl der Verletzten bzw. Getöteten. Ein anderes Kriterium waren z.B. die Fahrzeugdeformationen.

Die Literaturrecherche zeigt, dass der Schwerpunkt der Untersuchungen, auch der die zeitlich nach dem ECBOS-Projekt durchgeführt wurden, hauptsächlich auf die Analyse und die Verbesserung der Crashfestigkeit der Kraftomnibusstrukturen im Zusammenhang mit Fahrzeugüberschlägen gelegt wird. Die seit Jahren und in den jüngsten Studien von vielen Autoren immer wieder geforderte Berücksichtigung der Beladung durch die Businsassen wird ab 2010 eingeführt. Ab diesem Zeitpunkt müssen alle neu zugelassene Kraftomnibusse den gestiegenen Anforderungen der ECE-R 66, die auch in Deutschland gesetzlich verankert ist, entsprechen. Dies ist als Teilerfolg der doch häufig sehr aufwändigen Forschung zu Busunfällen anzusehen. Allerdings sind Doppeldeckerbusse, entgegen den deutlichen Empfehlungen einiger Autoren, von der neuen Regulierung weiterhin ausgenommen.

Obwohl Fahrzeugüberschläge stets mit schweren bzw. tödlichen Verletzungen der Insassen einhergehen, zeigen jüngere Studien eine weitere, nicht zu vernachlässigende Gefahrenquelle: die sogenannten „Non-Collision-Events", also Unfälle mit Businsassen, die nicht durch Zusammenstöße mit anderen Fahrzeugen sondern die im normalen Betrieb durch Anfahren und Bremsen oder beim Ein-und Aussteigen verursacht werden. Die Studien von Kirk et al.[16], Albertsson et al. [17], Halpern et al. [19] sowie Palacio et al.[20] weisen in diesem Zusammenhang nach, dass die Sicherheit von Kraftomnibusinsassen auch durch die Verbesserung der Innenraumgestaltung gesteigert werden kann.

Die Auswertung der statistischen Daten zeigte, dass ein großer Teil der Leicht- und Schwerverletzten innerhalb geschlossener Ortschaften zu verzeichnen sind. Da in der Statistik bei der Anzahl der Verletzten nicht zwischen Unfällen mit anderen Fahrzeugen und Unfällen im normalen Fahrbetrieb unterschieden wird, ist die große Anzahl möglicherweise auch auf die beschriebenen Nicht-Kollisionen zurückzuführen. Hierzu wird die Auswertung der Fallakten der Versicherer im Teilprojekt II weiteren Aufschluss bringen, da bereits aus den Informationen in der polizeilichen Verkehrsunfallanzeige in jedem Fall zu entnehmen sein wird, ob weitere Fahrzeuge an dem Unfall beteiligt waren.

Schwere Kraftomnibusunfälle mit tödlich Verunglückten sind häufig Auslöser für die Diskussion über die Sicherheit von Bussen. Die Statistik zeigt jedoch, dass die absoluten Zahlen sehr klein sind. Sie unterliegen daher auch keinem eindeutigen Trend, da sich ein Einzelfall bei der Betrachtung eines längeren Zeitraums überproportional auswirken würde. Dagegen ist bei den Leichtverletzten ein klar ansteigender Trend in den letzten Jahren zu beobachten. Der Fokus der Auswertung der Dateneingaben aus dem Teilprojekt II dürfte daher auf dieser Gruppe der Verunglückten liegen. Es wird zu prüfen sein, ob sich in den Fallakten der Versicherer der große Anteil an älteren Personen und Frauen wiederfindet, der vor allem in den Studien herausgearbeitet wurde, die auf medizinischen Daten basieren.

Erwartungsgemäß sind Daten zur Zulassung des Busses (Fahrzeugart, Hersteller, Baujahr) in beiden Projekten erfasst worden und als Merkmal in der UDB bereits vorhanden. Während aber in den Projekten die Busse nach Aufbauart unterschieden werden (Reisebus mit Gelenk, Hochdecker, Superhochdecker), fehlten diese Details in der UDB.

Die erste Auswertung von etwa 30 Akten zeigte ferner, dass es erforderlich ist, die Beschädigungen im Frontbereich (Fahrer und Begleiter) und auch im Innenraum näher zu spezifizieren. Die FAT-Studie konnte auf Grund ihres speziellen Datenmaterials (unfallanalytische und Schadengutachten nach schweren Busunfällen) hier Daten liefern. Auch in den bis dato verfügbaren Akten waren teilweise Informationen zu den Beschädigungen im Bus vorhanden. Die Beschädigungen im Bus sind aber auch in Zusammenhang mit den Verletzungen der Insassen zu sehen. Während in der FAT-Studie Verletzungsursachen benannt werden, sind diese im ECBOS-Projekt nicht aufgeführt und auch in der UDB nicht enthalten gewesen. Dagegen war z.B. die Ausrichtung des Sitzes (in / entgegen Fahrtrichtung) als Merkmal im ECBOS-Projekt aufgeführt, in der FAT-Studie aber nicht erwähnt.

Auf diese Weise wurden mehr als 170 Merkmale miteinander verglichen und bewertet. Zusammen mit der Unfallforschung der Versicherer wurde in mehreren Diskussionen eine Prioritätenliste der Merkmale und Merkmalsausprägungen erarbeitet, jeder Parameter wurde gewichtet und benotet. Es wurde festgelegt, ob Einfach- oder Mehrfachnennungen erforderlich bzw. zulässig sind und welche möglichst eindeutigen Begriffe verwendet werden sollten, um die Merkmale zu beschreiben. Die Eingrenzung auf einige Parameter war erforderlich, da zum einen die Anzahl der gewünschten, in die UDB zu übernehmenden Merkmale zu groß war, zum anderen zeigte die Erfahrung bei der Dateneingabe, dass bestimmte Merkmale praktisch fast nie aus den Schadenakten zu entnehmen sind. Es sollte vermieden werden, durch die Übernahme aller wünschenswerten Merkmale in der UDB eine zu große Anzahl von Leerfeldern bzw. „nicht ermittelbaren“ Ausprägungen zu erhalten.

Im Ergebnis der Diskussionen wurden einige Merkmale als unbedingt erforderlich erachtet, so z.B. die Fragen danach, ob der Bus den ECE-Regelungen R 66 und R 80 entspricht, wie die Sitze ausgerichtet sind und ob eine Person gesessen oder gestanden hat. Für andere Daten (z.B. Lage der Beschädigungen, Deformationstiefe) wurde diskutiert, ob sich diese Merkmalsausprägungen in der für eine Auswertung erforderlichen Genauigkeit und Differenzierung nicht durch bereits vorhandene Ausprägungen (z.B. Beschädigungsgrad) beschreiben lassen. Alle Merkmale wurden im Ergebnis der Diskussionen bewertet und gewichtet.

Schließlich wurde die UDB um etwa 30 Merkmale mit fast 70 Merkmalsausprägungen erweitert.

So wurde z.B. ein neues Feld „Bus“ definiert, in dem u.a. die Lage der Fahrgasttüren, aber auch die Abmessungen (Länge, Breite, Höhe) und die Masse eingegeben werden können.

In der neuen Eingangsmaske „Bus“ wird auch erstmals abgefragt, ob der Bus den Anforderungen nach ECE-R 66 und ECE-R 80 entspricht, Abbildung 4-2.

Der Bus lässt sich im Ergebnis des Datenvergleichs wesentlich detaillierter beschreiben. So ist neben der Anzahl der Sitzreihen in Ober- und Unterdeck und der sitzspezifischen Gurtausstattung auch die Abwahl einzelner Sitze möglich. Darüber hinaus kann jeder Sitz einzeln gedreht werden. Praktisch kann man auf diese Weise den Bus in Bezug auf die Sitzplätze genau modellieren, Abbildung 4-3. Dieses Modell ist insbesondere für die Auswertung von Kollisionen hilfreich, da man die Passagiere auf den einzelnen Sitzen den Beschädigungen, Belastungen und Verletzungsmechanismen gegenüberstellen kann.

Für die „Mitfahrer“ wurde z.B. unter den „medizinischen Daten“ neben den bereits vorhandenen Merkmalen „Allgemeine Angaben“ und „Verletzungsschwere“ ein neues Merkmal „Verletzungsursachen“ eingeführt. Dort kann eingegeben werden, welche Fahrzeugteile (Scheibe, Sitz, Haltevorrichtung) die Verletzung verursacht hat und ob

5 Auswertung des Fallmaterials aus der UDB

5.1 Einleitung

Die Auswertung der amtlichen Kraftomnibusunfallstatistik der vergangenen Jahre im Kapitel 1 hat gezeigt, dass sich die Zahlen der verunglückten Businsassen in einem längeren Zeitraum nur geringfügig änderten. Sowohl bei den leicht- als auch bei den schwerverletzten Businsassen waren keine eindeutigen Trends sinkender Zahlen zu erkennen. Auch die Zahlen der getöteten Businsassen ließen einen eindeutigen Abwärtstrend nicht erkennen. Tabelle 5-1 zeigt noch einmal die Anteile der Kraftomnibusse als Hauptverursacher bei Verkehrsunfällen und Unfälle unter Kraftomnibusbeteiligung im Vergleich zu allen registrierten Verkehrsunfällen aus dem Jahr 2008.

Im Vergleich zu allen anderen Verkehrsbeteiligten ist der Kraftomnibus neben der Bahn hinsichtlich eines Risikovergleiches eines der sichersten Verkehrsmittel. Der Quotient der Getöteten pro einer Milliarde Personenkilometer lag im Jahr 2008 im Kraftomnibusverkehr bei 0,16 [33]. Allerdings stehen schwere Busunfälle, so wie im September 2010 bei Berlin, bei dem 13 Insassen tödlich verletzt wurden, immer wieder im Fokus der Diskussion über die allgemeine Sicherheit von Kraftomnibussen. In Tabelle 5-2 sind die wichtigsten Daten der schwersten Busunfälle des Jahres 2010 zusammengetragen.

Die vorliegende Untersuchung gliedert sich in zwei Teile. Im ersten Teil der Untersuchungen werden Analysen zum allgeneinen Unfallgeschehen unter Kraftomnibusbeteiligung und zur Insassensicherheit durchgeführt. Der zweite Teil widmet sich dem Nutzenpotential aktiver Fahrerassistenzsysteme von Kraftomnibussen.

Tabelle 5-1:
Verteilung der Unfälle mit Kom als Hauptverursacher und unter Kom-Beteiligung 2008 [1, 32]

Unfallfolgen	Kraftomnibus ist				Kom-Unfälle gesamt		Unfälle insgesamt	
	Hauptverursacher		Beteiligter					
	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil
Unfälle mit Personenschaden	2.135	0,7 %	5.216	1,6 %	7.351	2,3 %	**320.614**	**77,1 %**
Unfälle mit Getöteten	19	0,006 %	71	0,022 %	90	0,028 %	**4.117**	**1,0 %**
Unfälle mit Sachschaden	253	0,1 %	824	0,3 %	1.077	0,3 %	**91.144**	**21,9 %**
Gesamt	**2.407**	**0,6 %**	**6.111**	**1,5 %**	**8.518**	**2,0 %**	**415.875**	**100,0 %**

Tabelle 5-2:
Chronik der schwersten Busunfälle 2010

Datum	Bundesland	Unfallort	Getötete Businsassen	Busart
03.02.2010	Sachsen-Anhalt	A 9	3	Reisebus
14.03.2010	Baden-Württemberg	A 8	2	Reisebus
13.06.2010	Nordrhein-Westfalen	bei Lohmar	1	Reisebus
18.07.2010	Nordrhein-Westfalen	bei Moers	1	Reisebus
26.09.2010	Brandenburg	A 10	13	Reisebus
11.11.2010	Niedersachsen	A 28	1	Reisebus
15.12.2010	Bayern	Miltenberg	2	Linienbus

5.2 Datengrundlage

Zum Zwecke der Unfallforschung existiert bei der Unfallforschung der Versicherer (UDV) eine Unfall-Datenbank (UDB), die einen repräsentativen Ausschnitt aus dem Datenbestand aller dem GDV angeschlossenen Versicherungsunternehmen abbildet. Basis der UDB sind die Inhalte der Schadenakten der Versicherer. Dabei übersteigt die Informationstiefe der UDB die der Bundesstatistik [2] deutlich. Sie ist vergleichbar mit GIDAS, allerdings ist die Aussagefähigkeit einiger UDB-Merkmale eingeschränkt, da keine Analyse des Unfalls vor Ort durchgeführt wird. Für die Auswertungen wurden ausschließlich Kraftomnibus-Haftpflicht-Schadenfälle mit Personenschaden und mindestens 15.000€ Schadenaufwand berücksichtigt. Fälle mit nur Sachschaden sowie Unfälle mit Personenschaden und einem Schadenaufwand <15.000€ sind in der UDB nicht enthalten. Im Rahmen des vorliegenden Projekts werden ausschließlich Unfälle mit Personenschaden analysiert. Reine Sachschäden werden bei den Analysen nicht berücksichtigt .

5.3 Unfallstruktur bei Kraftomnibusunfällen mit Personenschaden

Der Datenbestand der UDB umfasste insgesamt 213 Unfälle unter Kraftomnibusbeteiligung. Anders als die amtliche Statistik waren in diesem Datenbestand neben den Verunglückten aus Unfällen mit anderen Verkehrsteilnehmern bzw. aus Kollisionen mit Hindernissen auch Ereignisse enthalten, bei denen Verletzungen von Businsassen verzeichnet wurden, ohne dass es zuvor zu einer Kollision kam. Der Gesamtbestand von 213 Fällen teilte sich zunächst in 153 (72 %) Unfälle mit Kollision und 49 (23%) ohne Kollision („Non-crash-events“) auf. In 11 (5 %) Fällen kam es zwar zu einem Konflikt zwischen einem Kraftomnibus und einem anderen Verkehrsteilnehmer, jedoch nicht zu einer Kollision zwischen den Beteiligten.

Für die allgemeine Betrachtung der Unfallumstände in Anhängigkeit von äußeren Gegebenheiten (Lichtverhältnisse, Ortslage, Unfallhergang bzw. -typ usw.) bleiben die 49 Fälle ohne vorausgehenden Kollisionen mit anderen Verkehrsteilnehmern unberücksichtigt. Zwar weist diese Unfallkategorie eine nicht zu vernachlässigende Gefahrenquelle auf, jedoch sind die „Non-crash-events“ nur in minimalem Maße bzw. gar nicht von äußeren Faktoren abhängig. Ferner sind bei einer Berücksichtigung der „Non-crash-events“ Verzerrungen des Gesamtunfallgeschehens unter Kraftomnibusbeteiligung zu erwarten. So geschahen beispielsweise, ohne es vorwegzunehmen, annähernd 80 % der „Non-Crash-Events“ innerhalb geschlossener Ortschaften bei Tageslicht.

Im Allgemeinen können Kraftomnibusse hinsichtlich ihrer Nutzung in die drei Gruppen Linien-, Reise- und Schulbusse unterteilt werden. Die Unterteilung erfolgte nach der von den Versicherern verwendeten Wagniskennziffer. Es ist anzumerken, dass die drei Gruppen häufig auch bau- bzw. einsatzartübergreifend Verwendung finden können. So können beispielsweise Reisebusse (im Sinne der Bauart) durchaus auch als Schul- oder Linienbus eingesetzt werden. Darüber hinaus finden Linienbusse sehr häufig Verwendung als Schulbusse. Die Anteile der unterschiedlichen Kraftomnibusarten im Datenbestand ist in Abbildung 5-1 zu sehen. Linienbusse waren mit ca. 50%

Linienbusse: 49,4 %

Reisebusse: 40 %

Schulbusse: 7,5 %

Abbildung 5-1:
Anteil der verschiedenen Kraftomnibusarten (n = 160 ≙ 100%) mit Beispielabbildung [44, 45, 46]

6 Untersuchungen zur Insassensicherheit

Den Untersuchungen zur Insassensicherheit standen aus dem Gesamtbestand der Datenbank des UDV (n = 213) insgesamt 160 Kraftomnibusunfälle (75%) mit 164 beteiligten Kraftomnibussen zur Verfügung. Das einbezogene Fallmaterial stammte zum größten Teil aus den Jahren 2005 – 2007. Aufgrund der guten Datengrundlage bzw. Datenerfassung wurden zusätzlich Einzelfälle aus den Jahren 2001 bis 2004 in die Betrachtungen einbezogen, die jedoch mit < 7% nur einen geringen Anteil am gesamten Fallmaterial bildeten. Kollisionen zwischen Kraftomnibussen und motorisierten bzw. nicht motorisierten einspurigen Fahrzeugen sowie Fußgängern wurden bei den folgenden Betrachtung hinsichtlich der Insassensicherheit von Kraftomnibussen nicht einbezogen, da lediglich drei Businsassen bei Kollisionen mit VRU leicht verletzt wurden. Bezüglich der Verletzungsschwere der Unfallbeteiligten wurden ausschließlich die Verletzungen der Businsassen ausgewertet, Verletzungen der Kollisionsgegner (Pkw-Insassen, Lkw-Insassen) wurden nicht berücksichtigt. Das Durchschnittsalter der Kraftomnibusse, bei denen das Jahr der Erstzulassung bekannt war (n =140), lag zum Unfallzeitpunkt bei etwa 8,2 Jahren. Ferner wurde gut die Hälfte der Kraftomnibusse vor dem Jahr 2000 und damit vor der Einführung der Gurtanlegepflicht in Kraftomnibussen erstmalig zugelassen.

Wie bereits beschrieben, müssen bei der Analyse des vorliegenden Datenmaterials zunächst zwei große Gruppen der Unfallszenarien unterschieden werden. Die erste und mit mehr als 2/3 am häufigsten vertretene Gruppe des Datenbestands bilden Unfälle, bei denen es zu einer Kollision mit einem zweispurigen Fahrzeug bzw. einem Hindernis neben der Fahrbahn kam. Die zweite Gruppe wird mit ca. 1/3 durch die sogenannten „Non-crash-events“ gestellt, bei denen es zwar zu einer Verletzung von Businsassen jedoch ohne eine vorausgehende Kollision mit anderen Verkehrsteilnehmern (Pkw, Lkw usw.) kam, Abbildung 6-1. Bei diesem Unfallszenario handelte es sich stets um umstürzende Businsassen aufgrund eingeleiteter fahrdynamischer Vorgänge (Brems-, Beschleunigungsvorgänge sowie Kurvenfahrten) bzw. um zu Fall kommende Insassen beim Ein- und Aussteigen aus dem Kraftomnibus (Kom). Bei den folgenden Auswertungen wird zuerst auf Kollisionen von Kraftomnibussen mit anderen Verkehrsteilnehmern eingegangen. Im zweiten Teil werden dann die Unfälle ohne Kollision („Non-crash-events“) näher beleuchtet.

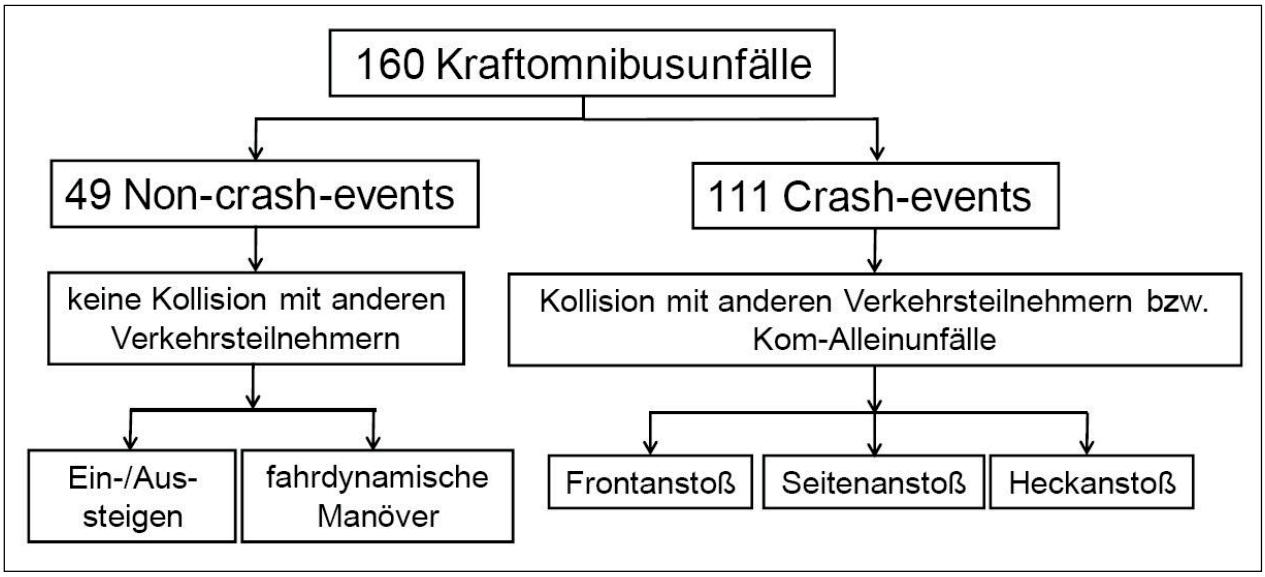


Abbildung 6-1:
Verteilung der Kraftomnibusunfälle im Datenbestand

Tabelle 6-1:
Vergleich der Quotienten der Getöteten, Leicht- und Schwerverletzten des UDV-Datenbestands und der amtlichen Statistik aus den Jahren 2005 – 2007 [2]

verletzte Businsassen	leichtverletzt		schwerverletzt		getötet		Verunglückte
	Anzahl	Quotient	Anzahl	Quotient	Anzahl	Quotient	Anzahl
Datenbank	232	0,814	50	0,175	3	0,011	285
Statistik	14.608	0,921	1.205	0,076	47	0,003	15.860

An dieser Stelle soll angemerkt werden, dass ein Vergleich des vorliegenden Datenbestands mit der amtlichen Statistik [2] nur sehr schwer durchzuführen ist. Zum einen unterscheiden sich die Definitionen der Kraftomnibusse in der amtlichen Statistik von jenen in der Datenbank. Sind in der Datenbank die Definitionskriterien Reise-, Linien- und Schulbus vermerkt, so sind in der amtlichen Statistik zusätzlich Oberleitungsbusse und sonstige Kraftomnibusse aufgeführt. Zum anderen sind aufgrund der Erfassungskriterien für die Datenbank die Quotienten der schwerverletzten und getöteten Businsassen bezogen auf alle Verunglückten deutlich höher als die der Bundesstatistik. Dies ist unter anderem auf den Ausschluss der Verkehrsunfälle mit ungeschützten Verkehrsteilnehmern (Fußgänger, Fahrradfahrer und Motorradfahrer), bei denen durchaus mit verletzten Businsassen zu rechnen ist, wenngleich die Verletzungsschwere eher gering ausfallen dürfte, zurückzuführen. Ferner findet in der amtlichen Statistik keine Unterscheidung der Verletzungsart der Businsassen im Hinblick auf die Art der Verkehrsbeteiligung des Unfallgegners statt, so wie sie in der Studie vorgenommen wird. Damit bildet das vorliegende Datenmaterial eine bessere Grundlage für die Bewertungsmöglichkeit der Verletzungsrisiken von Businsassen als die amtliche Statistik.

Anzumerken ist, dass die Datenbank der UDV nicht alle schweren Busunfälle, die im beschriebenen Zeitraum auf innerdeutschen Straßen geschahen, enthält. Zum einen kommt es immer wieder zu Unfällen mit ausländischen Fahrzeugen, die nicht in den Schadenakten aller dem GDV angeschlossenen Versicherungsunternehmen enthalten sind. Zum anderen sind die Verkehrsbetriebe, also die Betreiber des öffentlichen Personennahverkehrs, oft Eigenversicherer, bei denen das Unternehmen selbst Sach- und Personenschäden reguliert.

6.1 Crash-events

Wie die Literaturrecherche und die statistischen Auswertungen des Unfallgeschehens von Kraftomnibussen in den Kapiteln 1 bis 3 bereits aufgezeigt haben, ist das Risiko, als Businsasse verletzt zu werden, sehr gering. Der Quotient der Getöteten pro einer Milliarde Personenkilometer lag im Jahr 2008 im Kraftomnibusverkehr bei 0,16 [3]. Im Vergleich dazu lag der Quotient im Pkw-Verkehr bei 2,77 Getöteten pro einer Milliarde Personenkilometer. Damit lag das Risiko im Pkw getötet zu werden um mehr als das 17fache höher als beim Kraftomnibusverkehr.

Eine erste Übersicht der Häufigkeitsverteilung der Kraftomnibusunfälle hinsichtlich der Differenzierung des Kollisionsgegners zeigt Abbildung 6-2. Die mit 80 Fällen am häufigsten vertretene Gruppe bildeten die Kraftomnibus-Pkw-Unfälle, gefolgt von den Kraftomnibus-Lkw- (17 Fälle) und Kraftomnibus-Alleinunfällen (10 Fälle). Unter Kraftomnibusalleinunfällen sind solche Unfälle zu verstehen, bei denen es zum Abkommen von der Straße oder zur Kollision mit Objekten am Straßenrand gekommen ist, ohne dass ein weiterer motorisierter Verkehrsteilnehmer beteiligt gewesen war. Unfälle mit anderen Kraftomnibussen und sonstigen Verkehrsteilnehmern (in einem Fall war der Unfallgegner eine Regionalbahn) waren in der vorliegenden Datenbank selten. Die Gesamtanzahl von 111 Unfällen dient für die folgenden Auswertungen als Datengrundlage.

6.1.1 Verletzungsart

Tabelle 6-2 zeigt die Verteilung der Verunglückten gemäß der Definitionen der amtlichen Unfallstatistik. Insgesamt wurden in der Datenbank 285 verunglückte Businsassen verzeichnet. Bezogen auf die Art der Ver-

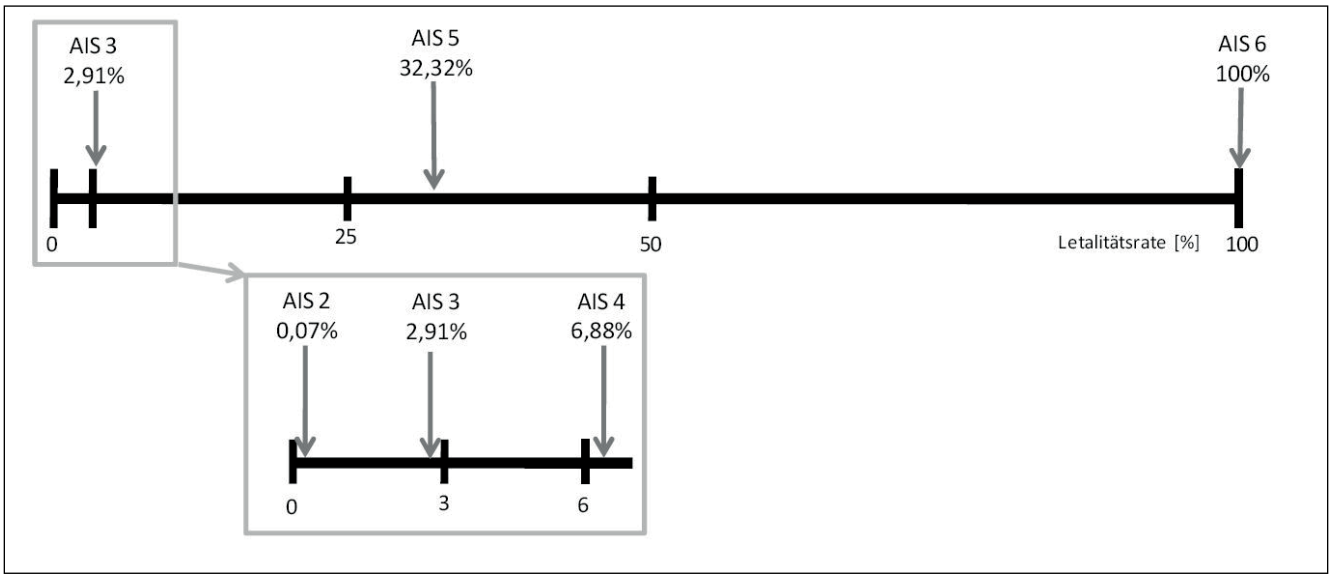


Abbildung 6-8:
Zusammenhang der AIS-Skalierung und der Letalitätsrate nach [35] und [36]

- **Kopf / Hals**
  (Gehirn, Schädel, Nacken und Halswirbelsäule)
- **Gesicht**
  (Gesichtsknochen, Kiefer, Augen, Nase, Mund, Ohren)
- **Thorax**
  (Brustkorb, Lunge, Herz und Brustwirbelsäule)
- **Abdomen**
  (Organe im Bauchraum und im Becken, Lendenwirbelsäule)
- **Extremitäten**
  (Arme und Hände einschließlich Schulter, Beine und Füße einschließlich Becken)
- **Weichteile**
  (Haut- und Weichteilverletzungen aus allen Körperregionen, Verbrennungen)

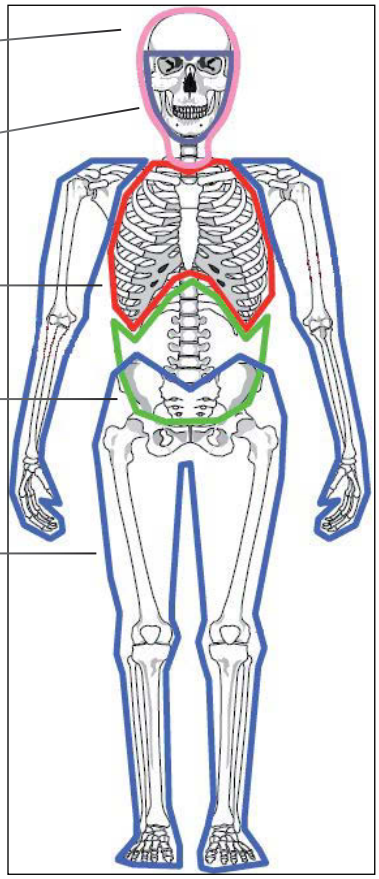


Abbildung 6-9:
Die sechs Körperregionen zur Berechnung des ISS, aus [34]

7 Aktive Sicherheit

7.1 Methodisches Vorgehen

Eine retrospektive Analyse des Sicherheitspotenzials von Fahrerassistenzsystemen kann auf zwei verschiedene Art und Weisen erfolgen. So kann beispielsweise ein Vergleich zwischen zwei Unfallgruppen durchgeführt werden: „Fahrzeuge mit FAS“ und „Fahrzeuge ohne FAS“. Dieser Ansatz wurde hier jedoch nicht verfolgt, da zum einen noch zu wenig Fahrzeuge mit modernen Fahrerassistenzsystemen im Gesamtbestand (und im Unfallgeschehen) zu finden sind und zum anderen ein Vergleich spezieller Produkte nicht erfolgen sollte. Eine weitere Möglichkeit bietet die Methode “Was wäre wenn“. Hier wird der Unfallablauf betrachtet, so wie er in der Realität stattfand und ihm der errechnete Unfallablauf mit dem Fahrerassistenzsystem gegenübergestellt. So kann ermittelt werden, welchen Einfluss ein Fahrerassistenzsystem auf das Unfallgeschehen hätte, wenn alle Fahrzeuge mit dem betrachteten System ausgestattet wären.

Für die Umsetzung der Methode „Was wäre wenn“ müssen die Unfallumstände (Unfallablauf) und die Eigenschaften des zu untersuchenden Systems bekannt sein. Das zur Verfügung stehende Fallmaterial mit dem Selektionskriterium „Unfälle mit mindestens 15.000€ Schadenaufwand“ bieten aufgrund der hohen Informationsdichte in den Akten eine gute Datenbasis. Darüber hinaus wurden notwendige, generische Eigenschaften für die Fahrerassistenzsysteme abgeleitet. Somit waren alle Voraussetzungen für eine Auswertung des Datenmaterials nach dieser Methode erfüllt.

Die Unfallforschung der Versicherer hat theoretisch Zugriff auf alle dem GDV gemeldeten Kraftfahrzeug-Haftpflicht-Schadenfälle. Für das Jahr 2010 waren dies 3,6 Mio. Schadenfälle, davon ca. 14.000 Schadenfälle von Kraftomnibussen. Für die Zwecke der Unfallforschung existiert bei der UDV eine Unfall-Datenbank (UDB), die einen repräsentativen Ausschnitt aus diesem großen Datenbestand aller dem GDV angeschlossenen Versicherungsunternehmen abbildet. Basis der UDB sind die Inhalte der Schadenakten der Versicherer. Dabei übersteigt die Informationstiefe der UDB die der Bundesstatistik deutlich. Sie ist vergleichbar mit GIDAS, allerdings ist die Aussagefähigkeit einiger UDB-Merkmale eingeschränkt, da keine Analyse des Unfalls vor Ort durchgeführt wird.

Für die UDB werden ausschließlich Kraftfahrzeug-Haftpflicht-Schadenfälle mit Personenschaden und mindestens 15.000€ Schadenaufwand berücksichtigt. Fälle mit nur Sachschaden sowie Unfälle mit Personenschaden und einem Schadenaufwand <15.000€ sind in der UDB nicht enthalten. Mit Hilfe eines Stichprobenverfahrens werden jährlich geschichtete Stichproben gezogen, die die Art der Verkehrsteilnahme, die Schadenhöhenklasse und die Jahreszeit als Schichtungsvariablen berücksichtigen. Mittels fallbezogener Hochrechnungsfaktoren ist es möglich, die in der UDB enthaltene Stichprobe („n“) auf die Grundgesamtheit aller Versicherungsschäden in Deutschland („N“) hochzurechnen. Damit ist sichergestellt, dass sich die Aussagen zum Sicherheitspotential von Fahrerassistenzsystemen auf einen repräsentativen Ausschnitt des Schadengeschehens der Deutschen Versicherer beziehen.

Die Analyse des Sicherheitspotentials erfolgte mit Hilfe eines Mehrstufen-Verfahrens. Ausgehend von den in der UDB abgelegten Unfalldaten wurden im ersten Schritt alle Unfälle für jeweils eine Fahrzeugart (hier Kraftomnibus) selektiert. Diese Gruppe von Unfällen bildete den so genannten „Datenpool“ für diese Fahrzeugart. Auf diese Grundgesamtheit von Fällen sollten sich später die ermittelten FAS- Sicherheitspotenziale beziehen.

Im zweiten Schritt wurden die Schwerpunkte im Unfallgeschehen ermittelt. Hierzu eignen sich der „Unfalltyp“ oder die „Unfallart“. Der vom GDV entwickelte dreistellige „Unfalltyp“ beschreibt den ersten Konflikt zwischen zwei Verkehrsteilnehmern, der den Unfall ausgelöst hat. Die „Unfallart“ [37] hingegen gibt die Stellung der eigentlichen Kollisionskontrahenten zueinander unmittelbar vor ihrem Zusammenstoss an. Diese Merkmale sind von der Definition her voneinander unabhängig, bieten aber beide eine gute Möglichkeit, die Unfälle in Gruppen zusammenzufassen, um daraus Tendenzen im Hinblick auf mögliche Unfallschwerpunkte zu erkennen.

Bei der hier vorliegenden Fragestellung zur Unfallvermeidung war jedoch eine kombinierte Abfrage der beiden Merkmale erforderlich, um wirklich alle Szenarien (z.B. alle Auffahrunfälle) erfassen zu können.

Die Zusammenstellung der typischen Unfallszenarien kann nun für eine erste Vorauswahl sinnvoller FAS- Gruppen benutzt werden. Diese Aufstellung gibt jedoch noch nicht das theoretische Sicherheitspotenzial der generischen FAS wieder, vielmehr können mögliche vielversprechende FAS-Gruppen entsprechend der Methodik identifiziert werden. Die festgelegten Unfallszenarien ergeben innerhalb des Datenpools wiederum Teilmengen, die für jedes der zu untersuchenden FAS getrennt betrachtet werden können („Relevanzpool 1“). Dieser Relevanzpool1 (z.B. alle Auffahrunfälle) zeigt für das jeweilige FAS eine erste Relevanz im Unfallgeschehen, ohne dabei konkrete Systemauslegungen zu berücksichtigen (z.B. System kann keine stehenden Hindernisse erkennen).

In einem dritten Schritt wurden für die festgelegten FAS generische Systemeigenschaften (Funktionalitäten) abgeleitet. Je nach System erfolgte dies unter der Annahme mehrerer Entwicklungsstufen (z.B. Notbremsassistent 1, Notbremsassistent 2), so dass die höchste Entwicklungsstufe die fortschrittlichsten Systemeigenschaften aufweist und somit das höchste Potenzial erwarten lässt. Dabei spielte es für die Analyse keine Rolle, ob die technischen Systemeigenschaften heute bereits realisiert werden können und ob die betrachteten Systeme bereits auf dem Markt verfügbar sind. Es war auch nicht beabsichtigt, Produktvergleiche anzustellen. Mit genauer Kenntnis darüber, was die Systeme tatsächlich können müssen, wurde der Relevanzpool 1 weiter eingegrenzt. Aus diesem Pool 1 wurden nur noch diejenigen Unfälle gefiltert, die ausschließlich über die definierten Systemeigenschaften adressiert werden konnten (z.B. nur Auffahrunfälle auf bewegte Fahrzeuge). Dieser Relevanzpool 2 berücksichtigt also auch die Systemgrenzen und ist eine Teilmenge von Relevanzpool 1. Im vierten Schritt der „Was wäre wenn-Methode“ wurde der Relevanzpool 2 einer Einzelfallanalyse unterzogen. Für jeden Fall aus diesem Pool wurde detailliert der Frage nachgegangen, ob ein positiver Einfluss durch das FAS zu erwarten gewesen wäre. Dabei wurde nach zwei Aspekten unterschieden, und zwar ob der Unfall
a) vermeidbar, oder
b) nur positiv beeinflussbar
gewesen wäre.

Für die vorliegende Untersuchung wurde festgelegt, dass ein Unfall als theoretisch vermeidbar gilt, wenn dieser durch den Einfluss eines FAS nicht mehr stattgefunden hätte.

Zeigt die Analyse aber, dass der Unfall auch unter dem Einfluss eines FAS passiert wäre, jedoch möglicherweise mit leichteren Unfallfolgen, so gilt dieser als positiv beeinflussbar (z.B. Senkung der Kollisionsgeschwindigkeit → Verringerung der Fahrzeugbeschädigung → Verringerung der Verletzungsschwere der Insassen).

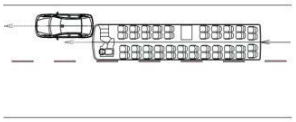
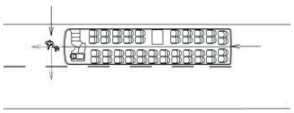
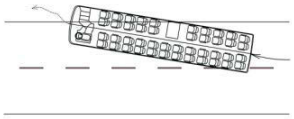
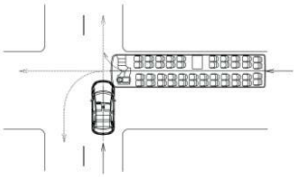
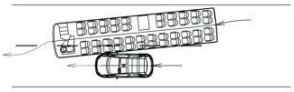
Der vorliegenden Untersuchung standen insgesamt n = 213 Kraftomnibusunfälle mit 218 beteiligten Kraftomnibussen aus der UDV-Datenbank zur Verfügung. Mittels fallbezogener Hochrechnungsfaktoren konnten diese 213 Fälle auf eine Gesamtheit von N = 3.596 Unfälle unter Kraftomnibusbeteiligung hochgerechnet werden. Die im Folgenden ermittelten Nutzenpotenziale von FAS beziehen sich auf diese Grundgesamtheit von N = 3.596 Fällen. Das einbezogene Fallmaterial stammte zu 92,5% aus den Jahren 2005 – 2007. Weitere 7,5% der Unfälle ereigneten sich bereits in den Jahren 2001 bis 2004.

Neben den einbezogenen Unfällen mit anderen Verkehrsteilnehmern (Fußgänger, Radfahrer, Lastkraftwagen, Personenkraftwagen und Kraftomnibusse) fanden ferner auch Alleinunfälle, die jedoch nur einen Anteil von ca. 5% des gesamten Datenpools bilden, Eingang in die Betrachtungen.

7.2 Kom-Fahrerassistenzsysteme

Anhand des Merkmals „Unfallart“ wurden die zur Verfügung stehenden Kraftomnibusunfälle klassifiziert und nach der Häufigkeit ihres Auftretens sortiert, Tabelle 7-1.

Tabelle 7-1:
Übersicht der häufigsten Unfallszenarien mit Kraftomnibussen

Die häufigsten Unfallszenarien ($n_{Datepool}$=213)		Anteil	Die häufigsten Unfallszenarien ($n_{Datepool}$=213)		Anteil
(1) Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das - vorausfährt oder wartet - anfährt, anhält oder im ruhenden Verkehr steht		24,9%	(5) Zusammenstoß zwischen Fahrzeug und Fußgänger		11,7%
(2) Unfall anderer Art	Ausschließlich Insassenunfälle	24,4%	(6) Abkommen von der Fahrbahn nach rechts/links		7,0%
(3) Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das einbiegt oder kreuzt		14,6%	(7) Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das seitlich in gleicher Richtung fährt		4,2%
(4) Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das entgegenkommt		13,2%			

In Hinblick auf die Ermittlung der Leistungsfähigkeit zur Vermeidung von Kraftomnibusunfällen mit Personenschaden wurden die folgenden Fahrerassistenzsysteme, die teils für Neufahrzeuge ab 11/2014 bzw. ab 07/ 2015 (EG 661/2009) gesetzlich vorgeschrieben sind [50], analysiert:

- Notbremsassistent
- Abbiegeassistent (für Fußgänger und für Radfahrer)
- Lane Departure Warning-System – LDW (Spurverlassenswarner)
- Totwinkelwarner
- ESP.

Den größten Anteil des Kom-Unfallgeschehens bildeten mit ca. 25 % Auffahrunfälle auf vorausfahrendende oder stehende Kraftfahrzeuge. Diese könnten beispielsweise durch intelligente Notbremssysteme adressiert werden. Daneben waren in gleicher Anzahl „Unfälle anderer Art" vertreten. Bei diesem Unfallszenario handelte es sich stets um stürzende Businsassen aufgrund eingeleiteter fahrdynamischer Vorgänge (Brems-, Beschleunigungsvorgänge sowie Kurvenfahrten) bzw. um zu Fall kommende Insassen beim Ein- und Aussteigen aus dem Bus. Für die Analysen der Fahrerassistenzsysteme spielte dieses Unfallszenario keine Rolle.

Des Weiteren könnten die Unfallszenarien (4), (6) und (7), die zusammen einen Anteil von ca. 24 % am gesamten Kraftomnibusunfallgeschehen bildeten, durch ESP, Lane Departure Warning-System bzw. Totwinkelwarner beeinflusst werden.

7.2.1 Notbremsassistent (NBA)

Bei dieser Analyse wurden nur Notbremsassistenten untersucht, die ausschließlich Auffahrunfälle adressieren und sich damit stark an den heute bereits auf dem Markt verfügbaren Notbremssystemen orientieren. Es wurden zwei Auslegungsstufen definiert: Der Notbremsassistent 1 (NBA 1) reagiert nur auf vorausfahrende, zweispurige Fahrzeuge, während der Notbremsassistent 2 (NBA 2) in seiner zweiten Auslegungsstufe auch stehende Fahrzeuge detektieren kann.

Das hier zu betrachtende System NBA 1 stellt einen Notbremsassistenten der heutigen Generation dar und entspricht in etwa dem Active Brake Assist (ABA), wie er auch schon im Reiseomnibus Mercedes Benz Travego verfügbar ist. Es handelt sich dabei um ein vollautomatisches System, das bei akuter Gefahr warnt, eine Teilbremsung einleitet und schließlich bei ausbleibender Fahrerreaktion eine Vollbremsung bis zum Stillstand durchführt. Der NBA 1 reagiert ausschließlich auf vorausfahrende Fahrzeuge. Die Systemeigenschaften sind noch einmal in Tabelle 7-2 zusammenfassend beschrieben. Das Fahrerassistenzsystem NBA 2 beruht, wie bereits erwähnt, auf den Systemeigenschaften des NBA 1, erweitert um die Funktionalität des Erkennens stehender Fahrzeuge.

Ausgehend von einem Datenpool von N = 3.596 wurden zunächst alle Fälle ausgewählt, bei denen keine Kollision vorausgegangen und der Kraftomnibus das auffahrende Fahrzeug war (Relevanzpool 1). Anschließend erfolgte die Selektierung bezüglich zweispuriger, vorausfahrender Kraftfahrzeuge (Relevanzpool 2).

Wie Tabelle 7-3 zeigt, errechnet sich die positive Beeinflussbarkeit durch den heutigen Notbremsassistenten bezogen auf alle Unfälle zu 9%, bezogen auf alle Auffahrunfälle sogar zu etwa 54% (Relevanzpool 1 N = 591). Für die Gruppe Reisebusse ergibt sich eine positive Beeinflussbarkeit von etwa 4,5 %, für die Gruppe der Linienbusse von ca. 12 %. Bezüglich der tödlich Verletzten könnten mit dem heutigen Notbremsassistenten ca. 17% adressiert werden, Tabelle 7-4.

Durch die Erweiterung des NBA 1 um die Erkennung stehender Fahrzeuge (NBA 2) erhöhte sich das Potenzial adressierbarer Unfälle von ca. 9% auf etwa 15%, Tabelle 7-5. Bei den Leichtverletzten ist eine Erhöhung des Potenzials um 5,8%, bei den Schwerverletzten ist eine Steigerung um etwa das sechsfache im Vergleich zum Notbremsassistenten der heutigen Generation zu erwarten, Tabelle 7-6. Dies zeigt deutlich den hohen Nutzen eines solchen Fahrerassistenzsystems.

Differenziert man in einem weiteren Schritt nach der Kraftomnibusart, so errechnet sich für alle beteiligten Linienbusse eine positive Beeinflussbarkeit durch den morgigen Notbremsassistenten (NBA 2) von ca. 17 %,

Tabelle 7-2:
Systemeigenschaften und abgeleitete Datenbankmerkmale für den Kom- Notbremsassistenten der heutigen (NBA 1) und zukünftigen Generation (NBA 2)

Systemeigenschaften	Datenbankmerkmale
NBA 1	
▪ Umfelderkennung nach vorn (Nutzung der Radarsensoren des Abstandsregeltempomats) ▪ Detektion von 2spurigen, vorausfahrenden Fahrzeugen (nicht stehend)	▪ Auffahrunfälle auf 2spurige, vorausfahrende Fahrzeuge
NBA 2	
▪ wie NBA 1 ▪ Detektion von 2spurigen, vorausfahrenden und stehenden Fahrzeugen	▪ Auffahrunfälle auf 2spurige, vorausfahrende und stehende Fahrzeuge

Tabelle 7-3:
Positiv beeinflussbare Unfälle durch durch NBA 1

pos. beeinflussbare Kom-Unfälle durch	**Datenpool [100 %]**	**Relevanzpool 1**	**Relevanzpool 2**	**SP_{theor}**
NBA 1 alle Busse	3.596	591	319	319 **8,9 %**
NBA 1 Linienbusse	2.349	---	279	279 **11,9 %**
NBA 1 Reisebusse	883	---	40	40 **4,5 %**
NBA 1 Schulbusse	278	---	0	0 **0 %**
NBA 1 Kom-Art n.e.	278	---	0	0 **0 %**

Tabelle 7-4:
Adressierbare Verunglückte durch NBA 1

adressierbare Verunglückte durch **NBA 1**	Anzahl Verunglückte im Datenpool (alle Kom-Unfälle)	adressierbare Verunglückte	
		Anzahl	SP_{theor}%
Getötete	151	25	**16,6**
Schwerverletzte	2.111	14	**0,7**
Leichtverletzte	5.942	571	**9,6**

Tabelle 7-5:
Positiv beeinflussbare Unfälle durch NBA 1 sowie NBA 2

pos. beeinflussbare Kom-Unfälle durch	**Datenpool [100 %]**	**Relevanzpool 1**	**Relevanzpool 2**	**SP_{theor}**
NBA 1 alle Busse	3.596	591	319	319 **8,9 %**
NBA 2 alle Busse	3.596	591	543	224 (6,2 %) **15,1 %**

Tabelle 7-6:
Positiv beeinflussbare Verunglückte durch NBA 2

adressierbare Verunglückte durch **NBA 2**	Anzahl Verunglückte im Datenpool (alle Kom-Unfälle)	adressierbare Verunglückte	
		Anzahl	SP_{theor}%
Getötete	151	25	**16,6**
Schwerverletzte	2.111	90	**4,3**
Leichtverletzte	5.942	914	**15,4**

Tabelle 7-7:
Positiv beeinflussbare Unfälle durch NBA 2 nach Kraftomnibusart

pos. beeinflussbare Kom-Unfälle durch	**Datenpool [100 %]**	**Relevanzpool 1**	**Relevanzpool 2**	**SP_{theor}**
NBA 1 Linienbusse	2.349	---	391	391 **16,6 %**
NBA 2 Reisebusse	883	---	153	153 **17,3 %**
NBA 2 Schulbusse	86	---	0	0 **0 %**
NBA 2 Kom-Art n.e.	278	---	0	0 **0 %**

für die Gruppe Reisebusse ergibt sich ebenfalls eine positive Beeinflussbarkeit von etwa 17 %, Tabelle 7-7. Auf eine weiterführende Betrachtung zwischen verletzten Businsassen und verletzten Insassen des jeweiligen Unfallgegners, so z.B. Pkw-Insassen, wird an dieser Stelle verzichtet. Es soll nur so viel gesagt werden, dass im Hinblick auf die Einführung des Notbremsassistenten vor allem in Linienbussen ein Zielkonflikt zwischen dem Vermeidungspotenzial von Kollisionen und dem hohen Verletzungsrisiko von stürzenden Businsassen durch eine abrupt eingeleitete Verzögerung des Linienbusses gegeben ist.

7.2.2 Abbiegeassistent

Da ein derartiges Fahrerassistenzsystem gegenwärtig bei keinem Kraftomnibushersteller verfügbar ist, entsprechen die generischen Systemeigenschaften des Abbiegeassistenten für Kraftomnibusse denen, die bereits heute in modernen Lkw in Erprobung sind. Die grundlegenden Systemeigenschaften des Kom-Abbiegeassistenten und die abgeleiteten Datenbankmerkmale zeigt Tabelle 7-8.

Bei diesem System wird der Kom-Fahrer beim Abbiegemanöver nach rechts unterstützt. Mittels Sensoren werden die Bereiche vor und neben dem Fahrzeug überwacht, die Warnung erfolgt, sobald sich ein Fußgänger bzw. Radfahrer nähert. Ferner erhält der Fahrer eine Warnung, sofern sich beim Anfahrvorgang ein Fußgänger unmittelbar vor dem Fahrzeug befindet, Abbildung 7-1. Eine weiterführende mögliche Systemeigenschaft besteht darin, dass eine Warnung des Kraftomnibusfahrers beim Heranfahren an bzw. beim Abfahren von Haltestellen erfolgt, sofern sich Fußgänger in der direkten Umgebung zum Bus aufhalten.

Die weiterführenden Analysen des zur Verfügung stehenden Fallmaterials (N = 3.596) ergaben, dass ca. 15 % der Kom- Unfälle sich beim Abbiegen ereigneten. 12 % dieser Fälle waren auf eine Kollision des Kraftomnibusses mit einem Radfahrer oder einem Fußgänger zurückzuführen. Für die Analyse eines geeigneten Fahrerassistenzsystems wurden in einem ersten Schritt alle Kom- Abbiegeunfälle sowie Fälle, bei denen sich Fußgänger beim Heranfahren an bzw. beim Abfahren von Haltestellen in unmittelbarer Nähe des Kraftomnibusses aufhielten, zusammengefasst (Relevanzpool 1; N = 690). Aus diesem Pool wurden alle Kollisionen mit Radfahrern und Fußgängern selektiert und zum Relevanzpool 2 mit N = 86 Fällen zusammengefasst.

Für die Einzelfallanalyse wurde ein idealer Fahrer angenommen, der rechtzeitig auf die Warnung reagiert und entsprechend bremst. Jeder Fall wurde in seinem Ablauf neu betrachtet und dabei beurteilt, ob unter den getroffenen Annahmen eine Vermeidbarkeit gegeben wäre. Um den Fall hinsichtlich der Vermeidbarkeit eindeutig zu beurteilen, wurden die Analysen ausschließlich unter dem Aspekt durchgeführt, dass im Realunfall ein Fehlverhalten des Fahrers vorlag. Unfälle die sich

Tabelle 7-8:
Systemeigenschaften und abgeleitete Datenbankmerkmale für den Abbiegeassistenten für Kraftomnibusse bezüglich Radfahrer und Fußgänger

Systemeigenschaften		Datenbankmerkmale
Abbiegeassistent (Rf - Fg)		
Umfelderkennung nach vorne (sensorenabhängig)		Abbiegeunfälle mit Radfahrern und Fußgängern
Detektion von:	langsam, sich rechts neben derm Fahrzeug bewegenden Radfahren, die vom Kom mit geringem Seitenabstand überholt werden	Alle Kom-Abbiegeunfälle mit Fußgängern und Radfahrern, Unfälle mit Fußgängern, die den stehenden bzw. anfahrenden Kom kreuzen sowie Unfälle mit Überholen des Radfahrers durch den Kom
	Radfahrern, die sich beim Rechtsabbiegen des Kom von hinten auf diesen zu bewegen	
	Radfahrern, die sich rechts neben dem stehenden Kom einordnen	
	Fußgängern, die sich dem stehenden oder abbiegenden Kom seitlich nähern	
	Fußgängern, die sich beim Anfahrne des Kom vor dem Fahrzeug befinden	
	kein Potenzial beim Linksabbiegen, wenn sich der Fußgänger oder Radfahrer von rechts nähert	

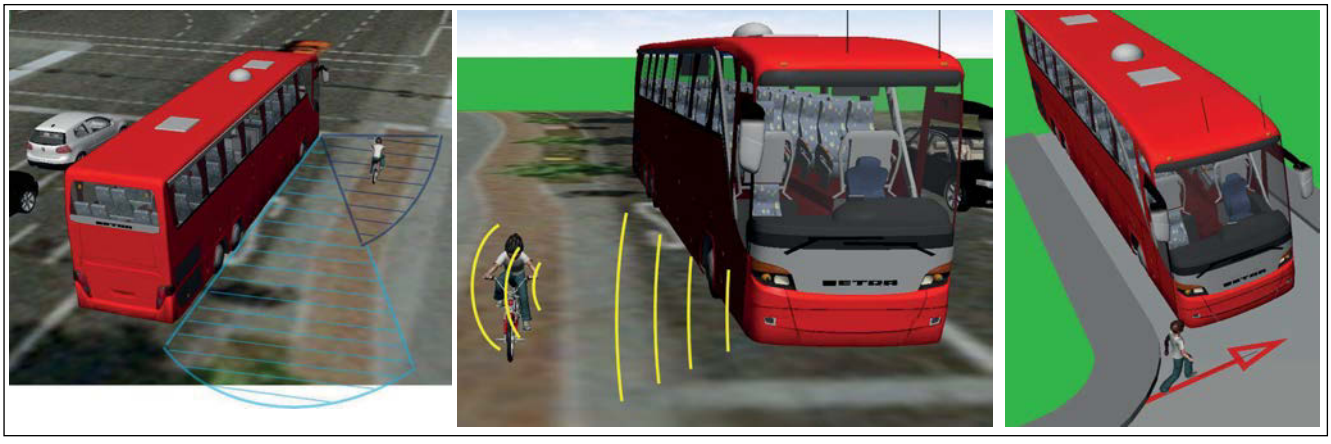


Abbildung 7-1:
Schematische Darstellung des Abbiegeassistenten für Kraftomnibusse bezüglich Radfahrer und Fußgänger

durch ein eindeutiges Fehlverhalten eines überholten Fahrradfahrers ereigneten, wurden als nicht vermeidbar betrachtet und fanden somit keinen Eingang in die Vermeidbarkeitsbetrachtungen. Auf eine differenzierte Unterscheidung zwischen Fußgängern und Radfahrern wurde verzichtet.

Bezogen auf den gesamten Datenpool ergab sich für den Abbiegeassistenten ein theoretisches Vermeidungspotenzial von etwa 2 %, Tabelle 7-9. Für die Gruppe der Linienbusse ergab sich eine Vermeidbarkeit von 3,4 %. Darüber hinaus wären 4 % der Schwerverletzten bei diesen Unfällen vermeidbar, Tabelle 7-10. Da im vorliegenden

Relevanzpool 2 keine getöteten bzw. leichtverletzten Radfahrer und Fußgänger vorhanden waren, war eine Analyse des Vermeidungspotenzials bei diesen beiden Gruppen der Verunglückten nicht möglich. Weiterführende Analysen ergaben, dass etwa 19 % aller Fußgänger- und Radfahrer-Kom-Unfälle durch einen Abbiegeassistenten theoretisch vermeidbar wären, Tabelle 7-11. Sowohl Reise- als auch Schulbusse waren bei Unfällen, die durch einen Abbiegeassistenten adressiert werden könnten, nicht vorhanden.

Tabelle 7-9:
Vermeidbare Kom- Unfälle durch den Abbiegeassistenten

Vermeidbare Kom-Unfälle durch	**Datenpool [100 %]**	**Relevanzpool 1**	**Relevanzpool 2**	**SP_{theor}**
Abbiegeassistent alle Busse	3.596	690	86	86 **2,4 %**
Abbiegeassistent Linienbusse	2.349	---	81	81 **3,4 %**
Abbiegeassistent Reisebusse	883	---	0	0 **0 %**
Abbiegeassistent Schulbusse	86	---	0	0 **0 %**
Abbiegeassistent Kom-Art n.e.	278	---	5	5 **1,8 %**

Tabelle 7-10:
Vermeidbare Verunglückte durch den Kom- Abbiegeassistenten bei Unfällen zwischen Kraftomnibussen und Fußgänger/ Radfahrern

adressierbare Verunglückte durch **Abbiegeassistenten**	Anzahl Verunglückte im Datenpool (alle Kom- vs. Fußgänger/ Radfahrer-Unfälle)	adressierbare Verunglückte	
		Anzahl	SP_{theor} %
Getötete	151	0	**0,0**
Schwerverletzte	2.111	86	**4,1**
Leichtverletzte	5.942	0	**0,0**

Tabelle 7-11:
Vermeidbare Kom- vs. Fußgänger/ Radfahrer-Unfälle durch den Abbiegeassistenten

vermeidbare Kom vs. Fußgänger/Radfahrer-Unfälle durch	**Datenpool**	**Relevanzpool 1 [100 %]**	**Relevanzpool 2**	**SP_{theor}**
Abbiegeassistent	3.596	462	86	86 **18,6 %**

7.2.3 Lane Depature Warning-Systems (LDW) – Spurverlassenwarner

Unfälle durch unbeabsichtigtes Verlassen der Fahrbahn (Unfallszenario 6) und der seitliche Zusammenstoß mit Fahrzeugen, die in gleicher Richtung fahren (Unfallszenario 7), bilden zusammen etwa 11 % des gesamten Fallmaterials und könnten durch einen Spurwechselassistenten und durch das Lane Departure Warning-System positiv beeinflusst werden.

Das betrachtete LDW-System basiert in seiner Funktionalität auf dem heute bereits bei einigen Herstellern (Mercedes Benz, Evobus, MAN) erhältlichen Spurverlassenwarner. Über die Hell-Dunkel-Kontraste der Mittellinien bzw. die hellen Markierungen der Fahrbahnbegrenzungen ermittelt eine Videokamera hinter der Frontscheibe den Verlauf der Fahrbahn vor dem Fahrzeug, Abbildung 7-2. Die Warnung des Fahrers vor einem unbeabsichtigtem Verlassen des Fahrstreifens erfolgt durch akustische, visuelle oder haptische Signale [38, 39]. Das System unterstützt den Fahrer damit auf Autobahnen und auf gut ausgebauten Landstraßen, die Spur zu halten, auch wenn er unaufmerksam ist.

Die erste Gruppe innerhalb des Unfallschwerpunkts „Unfälle durch Wechseln der eigenen Fahrspur“ (Relevanzpool 1; N = 371) wurde zunächst aus Unfällen, die durch ein ungewolltes Abkommen von der Fahrspur verursacht worden sind (Relevanzpool 2; N = 19 Fälle), gebildet. Für die Einzelfallanalysen wurde ein idealer Fahrer vorausgesetzt, der unmittelbar auf die Warnungen des Fahrerassistenzsystems reagiert und dem Verlassen der Fahrspur entgegenwirkt. Waren ausreichend Anknüpfungstatsachen vorhanden, um anzunehmen, dass unter dem Einfluss des Systems der Bus seine Fahrspur nicht verlassen hätte, galt der Unfall als vermeidbar.

Bei den durchgeführten Analysen errechnete sich - bezogen auf den gesamten Datenpool - eine Vermeidbarkeit von etwa einem halben Prozent. Bezogen auf „Unfälle durch Wechseln der eigenen Fahrspur“ um etwa 5 %, Tabelle 7-12. Für die Gruppe der Linienbusse ergab sich eine Vermeidbarkeit von 0,3 %. Darüber hinaus wären 1,5 % der Unfälle unter Reisebusbeteiligung vermeidbar. Die Verunglückten (Schwer- und Leichtverletzte) würden sich etwa um jeweils 2 % reduzieren lassen, Tabelle 7-13. Da im vorliegenden Relevanzpool 2 keine getöteten Unfallbeteiligten bzw. Insassen vorhanden waren, war eine

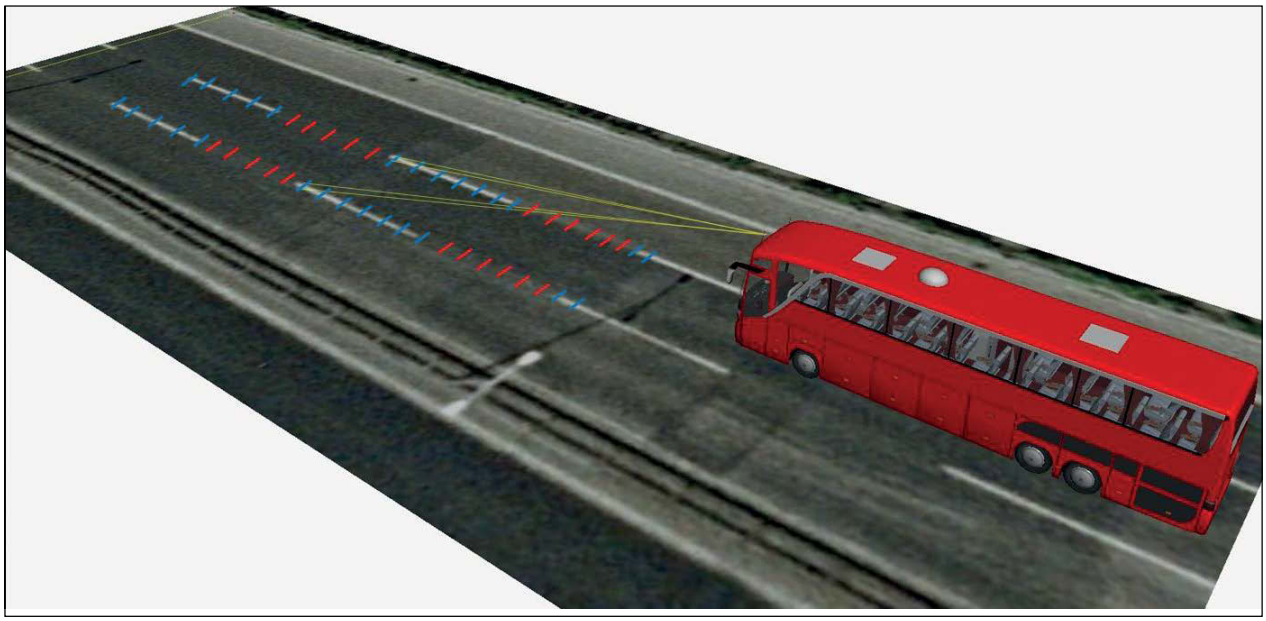


Abbildung 7-2:
Schematische Darstellung der Funktionsweise des LDW für Kraftomnibusse

Analyse des Vermeidungspotenzials bei dieser Gruppen der Verunglückten nicht möglich. Auf weiterführende Differenzierungen hinsichtlich der Art des Kraftomnibusses wurde aufgrund des „geringen" Vermeidungspotenzials verzichtet.

7.2.4 Spurwechselassistent – Totwinkelwarner

Bei dem Spurwechselassistenten (Totwinkelwarner) handelt es sich um ein rein generisches System, das bei den Kraftomnibusherstellern gegenwärtig noch nicht verfügbar ist. Das System überwacht die benachbarten Fahrspuren und informiert den Fahrer mittels akustischer oder visueller Signale über Fahrzeuge, die sich im toten Winkel aufhalten. Dabei werden sowohl zwei- als auch einspurige motorisierte Verkehrsteilnehmer detektiert, Abbildung 7-3.

Die zweite Gruppe des Unfallschwerpunkts „Unfälle durch Wechseln der eigenen Fahrspur" (Relevanzpool 1; N = 371) wurde aus Unfällen gebildet, die durch einen gewollten Wechsel der eigenen Fahrspur verursacht worden sind (Relevanzpool 2; N = 137). Aufgrund oft fehlender Anknüpfungstatsachen, wie z.B. die genaue Kenntnis der Unfallstelle bzw. die exakte Anstoßkonstellation zwischen den Beteiligten, konnten keine Berechnung hinsichtlich des Vermeidbarkeitspotenzials durchgeführt werden. Um dennoch das Potenzial solcher Fahrerassistenzsysteme zu untersuchen, wurde jeder in Frage kommende Fall zumindest auf seine positive Beeinflussbarkeit durch das System hin untersucht.

Die Analyse des Relevanzpools 2 ergab, dass etwa 37 % der „Unfälle durch Wechseln der eigenen Fahrspur" bzw. 4 % aller Unfälle durch einen Totwinkelwarner positiv be-

Tabelle 7-12:
Vermeidbare Unfälle durch den Spurverlassenswarner für Kraftomnibusse

Vermeidbare Kom-Unfälle durch	**Datenpool [100 %]**	**Relevanzpool 1**	**Relevanzpool 2**	**SP_{theor}**
LDW alle Busse	3.596	371	19	19 **0,5 %**
LDW Linienbusse	2.349	---	6	6 **0,3 %**
LDW Reisebusse	883	---	13	13 **1,5 %**
LDW Schulbusse	86	---	0	0 **0 %**
LDW Kom-Art n.e.	278	---	0	0 **0 %**

Tabelle 7-13:
Vermeidbare Verunglückte durch den Spurverlassenswarner für Kraftomnibusse

vermeidbare Verunglückte durch den **LDW**	Anzahl Verunglückte im Datenpool (alle Kom-Unfälle)	vermeidbare Verunglückte	
		Anzahl	SP_{theor} %
Getötete	151	0	**0,0**
Schwerverletzte	2.111	40	**1,9**
Leichtverletzte	5.942	100	**1,7**

Abbildung 7-3:
Schematische Darstellung der Funktionsweise eines Totwinkelwarners für Kraftomnibusse

Tabelle 7-14:
Positiv beeinflussbare Unfälle durch den Totwinkelwarner für Kraftomnibusse

pos. beeinflussbare Kom-Unfälle durch	**Datenpool [100 %]**	**Relevanzpool 1**	**Relevanzpool 2**	**SP_{theor}**
Totwinkelwarner (TWW) alle Busse	3.596	371	137	137 **3,8 %**
Totwinkelwarner (TWW) Linienbusse	2.349	---	4	4 **0,2 %**
Totwinkelwarner (TWW) Reisebusse	883	---	129	129 **14,6 %**
Totwinkelwarner (TWW) Schulbusse	86	---	0	0 **0 %**
Totwinkelwarner (TWW) Kom-Art n.e.	278	---	4	4 **1,4 %**

Tabelle 7-15:
Positiv beeinflussbare Verunglückte durch den Totwinkelwarner für Kraftomnibusse

pos. beeinflusbare Verunglückte durch den **Totwinkelwarner**	Anzahl Verunglückte im Datenpool (alle Kom-Unfälle)	vermeidbare Verunglückte	
		Anzahl	SP_{theor} %
Getötete	151	0	**0,0**
Schwerverletzte	2.111	92	**4,4**
Leichtverletzte	5.942	265	**4,5**

einflussbar wären, Tabelle 7-14. Für Unfälle mit Reisebussen ergab sich eine positive Beeinflussbarkeit von etwa 15 %, für Linienbusse von 0,2 %. Sowohl bei den Leicht- als auch bei den Schwerverletzten liegt das theoretische Sicherheitspotenzial ebenfalls bei etwa 4 %, Tabelle 7-15, das damit etwa doppelt so hoch ist, wie das des Lane Departure Warning-Systems.

Gleich dem LDW war die Berechnung des theoretischen Sicherheitspotenzials bei den Getöteten nicht möglich.

7.2.5 ESP

Für die nachfolgenden Analysen kam das Elektronische Stabilitätsprogramm (ESP) in Frage, ein System, das heute bereits bei einigen Herstellern von Kraftomnibussen, so z.B. Neoplan, Setra, Mercedes Benz oder MAN, serienmäßig verfügbar ist. Es wurde untersucht, ob ein möglicher positiver Einfluss durch den Eingriff des Systems gegeben wäre. Keiner der Busse im folgenden Fallkollektiv war bereits mit einem ESP ausgerüstet.

Das System überwacht mittels verschiedener Sensoren den fahrdynamischen Zustand des Fahrzeugs. Bei Über- bzw. Untersteuern des Fahrzeugs greift das System durch die gezielte Abbremsung einzelner Räder und, sofern notwendig, in die Motorsteuerung ein und stabilisiert damit das Fahrzeug, Abbildung 7-4.

Unfälle durch Schleudern kamen im vorliegenden Datenpool der Kraftomnibusunfälle mit ca. 6 % selten vor. Die Analyse der UDB ergab, dass in etwa 45 % der betroffenen Fälle mindestens ein Schwerverletzter verzeichnet wurde. Aus dem Datenpool (N = 3.596 Fälle) wurde der Relevanzpool 1 (N = 130 Fälle) gebildet. Dieser Relevanzpool 1 entspricht auch dem Relevanzpool 2 und wurde im Hinblick auf ein Fahrerassistenzsystem untersucht.

Sowohl Pool 1 als auch Pool 2 beinhalteten alle Unfälle, bei denen ein Kraftomnibus aus einem instabilen fahrdynamischen Zustand heraus verunfallte. Dieser instabile Zustand hatte verschiedene Ursachen, wie z.B.:

- Ausweichmanöver (Kom kam durch ein vorangegangenes Ausweichmanöver, wie z.B. Überholen bei Gegenverkehr, ins Schleudern)
- Schleudern/Kippen in der Kurve (durch Abkommen von der Fahrbahn aufgrund zu schlechter Witterungsverhältnisse)
- Schleudern/Kippen in der Kurve (durch unangepasste Geschwindigkeit)

Im Hinblick auf alle Kraftomnibus- Unfälle ergibt sich für ESP ein theoretisches Potenzial von etwa 3,4 % positiv beeinflussbarer Unfälle, für die Gruppe der Reisebusse von etwa 10 %, für die Gruppe der Schulbusse von etwa 20 %, Tabelle 7-16. Mehr als 3 % der Schwer- und etwa 16% der Leichtverletzten wären zudem positiv beeinflussbar, Tabelle 7-17, d.h., dass möglicherweise Verletzungen in diesen Fällen hätten vermieden bzw. die Verletzungsschwere hätte vermindert werden können. Damit zeigt das Fahrerassistenzsystem ESP, neben dem Abbiegeassistent der zukünftigen Generation (NBA 2), den hohen Nutzen solcher Systeme.

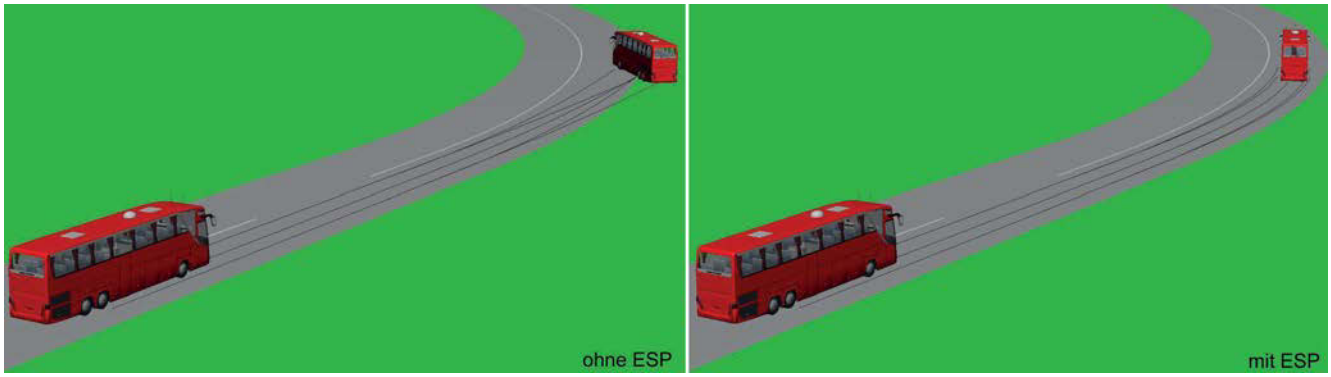


Abbildung: 7-4:
Schematische Darstellung der Funktionsweise eines ESP für Kraftomnibusse

7.2.6 Zusammenstellung der Nutzenpotenziale von Fahrerassistenzsystemen für Kraftomnibusse

Die errechneten Potenziale der einzelnen Fahrerassistenzsysteme sind in Tabelle 7-18 zusammenfassend aufgelistet. Wie in den Kapiteln zuvor beschrieben, können etwa 15 % der Kraftomnibusunfälle durch den Notbremsassistenten der morgigen Generation (NBA 2) adressiert werden. In etwa dem halben Umfang ließen sich Unfälle beim Spurwechsel durch LDW, Totwinkelwarner und Unfälle in Folge von Schleudervorgängen durch ESP vermeiden, bzw. positiv beeinflussen.

Tabelle 7-16:
Adressierbare Unfälle durch ESP für Kraftomnibusse

adressierbare Kom-Unfälle durch	**Datenpool [100 %]**	**Relevanzpool 1**	**Relevanzpool 2**	**SP_{theor}**
ESP alle Busse	3.596	130	123	123 **3,4 %**
ESP Linienbusse	2.349	---	17	17 **0,7 %**
ESP Reisebusse	883	---	89	89 **10,1 %**
ESP Schulbusse	86	---	17	17 **19,8 %**
ESP Kom-Art n.e.	278	---	0	0 **0 %**

Tabelle 7-17:
Adressierbare Verunglückte durch ESP für Kraftomnibusse

adressierbare Verunglückte durch **ESP**	Anzahl Verunglückte im Datenpool (alle Kom-Unfälle)	adressierbare Verunglückte	
		Anzahl	SP_{theor} %
Getötete	151	0	**0,0**
Schwerverletzte	2.111	74	**3,5**
Leichtverletzte	5.942	929	**15,6**

Tabelle 7-18:
Vergleich der Potenziale der verschiedenen Fahrerassistenzsysteme

Vermeidbare bzw. adressierbare Kom-Unfälle durch	SP_{theor}
NBA 1	8,9 % adressierbar
NBA 2	15,1 % adressierbar
Abbiegeassistent	2,4 % vermeidbar
LDW	0,5 % vermeidbar
Totwinkelwarner	3,8 % adressierbar
ESP	3,4 % adressierbar

8 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Auswertung der amtlichen Kraftomnibusunfallstatistik hat gezeigt, dass sich die Zahlen der verunglückten Businsassen in einem längeren Zeitraum nur geringfügig geändert haben. Sowohl bei den leicht- als auch bei den schwerverletzten Businsassen waren keine eindeutigen Trends sinkender Zahlen zu erkennen. Auch die Zahlen der getöteten Businsassen ließen einen eindeutigen Abwärtstrend nicht erkennen, da sich schon ein Einzelfall bei der Betrachtung der Absolutzahlen über einen längeren Zeitraum sehr stark auswirken kann. Im Vergleich zu allen anderen Verkehrsbeteiligten ist der Kraftomnibus neben der Bahn hinsichtlich eines Risikovergleiches eines der sichersten Verkehrsmittel. Der Quotient der Getöteten pro einer Milliarde Personenkilometer lag im Jahr 2008 im Kraftomnibusverkehr bei 0,16 [33].

Die Hauptunfallgegner der Kraftomnibusse im Datenbestand der UDV waren Pkw, gefolgt von den ungeschützten Verkehrsteilnehmern: Fußgängern, Radfahrern sowie motorisierten Zweiradfahrern. Die meisten Unfälle ereigneten sich innerorts. Hauptproblem stellten dabei Kreuzungen und Einmündungen aber auch Kurven dar. Im Hinblick auf das gesamte Kraftomnibusunfallgeschehen waren Unfälle auf winterglatten Fahrbahnen nur wenig vertreten. Allerdings kristallisierte sich eben dieser Straßenzustand mit einem Anteil von 60 % bei den Alleinunfällen als besonders häufig vertreten heraus.

Weiterführende Forderungen nach neuen, geänderten oder modifizierten Sicherheitsregelungen zur Insassensicherheit von Kraftomnibussen als die bereits bestehenden Regulierungen (ECE-R66, ECE-R80 usw.), ließen sich aus der Analyse des vorliegenden Datenmaterials nicht ableiten. Der Datenpool erlaubte keine tiefgehenden Untersuchungen bezüglich der Aufbausteifigkeit der Kraftomnibusstruktur bzw. der Widerstandsfähigkeit der Sitze, die in den vergangenen Jahren Schwerpunkt von Untersuchungen [3, 4, 6, 11] waren. Zum einen waren keine Unfälle im Datenbestand vorhanden, bei denen die Struktur des Kraftomnibusses versagte. Zum anderen fehlte es oft an Informationen zum genauen Kraftomnibustyp. Ein weiteres Problem stellte die Bewertung der Verletzungen hinsichtlich der Gurtbenutzung dar. In nur 10% der Fälle lagen Informationen über das Vorhandensein von Sicherheitsgurten auf den Passagiersitzplätzen vor. Berücksichtigt man weiterführend die Gurtbenutzung, reduziert sich die Fallzahl weiter, da die Information über das Anlegen des Gurtes im Datenbestand fehlte. Das Merkmal zur Gurtbenutzung ist zwar in der Datenbank enthalten, in den Akten fehlten diese Informationen jedoch häufig. Mit der äußerst geringen Kenntnis über die Gurtbenutzung lassen sich keine verlässlichen Rückschlüsse auf den Zusammenhang zwischen Verletzungsschwere und Gurtbenutzung ziehen.

Die Literaturstudie im ersten Teil des Berichtes hat aufgezeigt, dass das Risiko bei Kraftomnibusüberschlagunfällen schwer verletzt bzw. getötet zu werden durch den Kontakt des Insassen mit Strukturteilen des Busses oder intrudierenden Gegenstände besonders hoch ist. In der vorliegenden Studie konnten bezüglich der Überschlagunfälle keine Analysen durchgeführt werden. Zwar waren im Datenbestand auch Kippunfälle vorhanden. Diese Unfälle verliefen aufgrund ihres geringen Kippwinkels für die Insassen weniger folgenschwer und waren in Hinblick auf die Verletzungsschwere mit den sonst schweren Folgen bei Überschlagunfällen nicht vergleichbar.

Der Frontaufprall des Kraftomnibusses, bei dem der Fahrer besonders gefährdet ist, stellte mit 65 % den größten Anteil am Unfallgeschehen dar. Wie zuvor erwähnt, wurde zum besseren Schutz von Fahrer und Beifahrer von Mercedes Benz der „Front-Collison-Guard“ (FCG), bei dem Lenkung, Pedalerie und Sitz auf einem Rahmen angeordnet sind, für den Reisebus Travego eingeführt. Bei diesem Sicherheitssystem wird bei schweren Frontalunfällen die Rahmenkonstruktion nach hinten verschoben und dadurch der zur Verfügung stehende Überlebensraum vergrößert [47]. Allerdings zeigten die Untersuchungen zur Gesamtverletzungsschwere, dass die meisten Verletzungen nicht den Kraftomnibuslenker sondern vielmehr die Kraftomnibuspassagiere betrafen. Daher sollte neben der Steigerung der Fahrer- und Beifahrersicherheit auch der Kraftomnibusgesamtsicherheit auch bei Frontalunfällen große Aufmerksamkeit geschenkt werden. Dies

könnte u.a. durch die Kombination von Sicherheitsgurten und sitzintegrierten Airbags [25], wodurch der Kontakt des Kopfes mit der Rückenlehne des vorderen Sitzes verhindert sowie die Nackenbelastung des Insassen deutlich reduziert wird, erfolgen.

Der bei der Literaturstudie erkennbare Trend, dass Stürze von Businsassen durch Fahrmanöver eine wesentliche Verletzungsursache sind, wird durch das vorliegende Datenmaterial und die Auswertungen im vollen Umfang bestätigt. Wie von Kirk et al.[16] sowie Halpern et al. [19] bereits bei ihren Studien festgestellt wurde, waren auch im vorliegenden Datenbestand überwiegend Frauen von Verletzungen betroffen. Dies ist unter anderem auf die erheblich höhere Nutzungsquote von öffentlichen Verkehrsmitteln durch Frauen zurückzuführen [49].

Mit einem Anteil von ca. 60% waren Sturzunfälle von Kraftomnibusinsassen durch fahrdynamische Manöver als Teil von „Non-crash-events“ im Datenpool zahlreich vertreten. Weiterführende Auswertungen zeigten, dass das Bremsen des Kraftomnibusses in annähernd 47% ursächlich für den Sturz des Insassen gewesen ist. Die zweithäufigste Ursache war bei den Anfahrvorgängen mit ca. 33% zu finden. Diese Ergebnisse unterscheiden sich allerdings von denen, die bei der MAS Fachtagung im Jahr 2001 zu Untersuchungen von gestürzten Businsassen bei Fahrmanövern vorgestellt wurden [22]. Dort wurde das starke Bremsen des Kom bei annähernd 70 % als verletzungsursächlich ermittelt. Worauf die prozentualen Unterschiede zurückzuführen sind, lässt sich nicht ermitteln.

Stehende ältere Businsassen sind beim Anfahren bzw. Abbremsen des Kraftomnibusses besonders gefährdet. Zum einen sinkt mit steigendem Alter die Fähigkeit, auf plötzlich durchgeführte extreme fahrdynamische Manöver entsprechend zu reagieren. Zum anderen ist von einer geringeren Belastbarkeit älter Businsassen beim Sturz/ Aufprall auszugehen. Besondere Aufmerksamkeit sollte daher auf die Optimierung des Betriebsablaufes im Busverkehr gelegt werden. Ein „gedämpftes“ Anfahrverhalten der Kraftomnibuslenker kann zur Vermeidung von Stürzen älterer Businsassen beitragen. Wie in [40] festgestellt wurde, ist der Schaltruck in der ersten Schaltstufe, also beim Wechsel vom ersten in den zweiten Gang, am deutlichsten zu spüren. Bei den Untersuchungen wurden Längsbeschleunigungen von bis zu 2 m/s^2 und daraus resultierende Schaltrucke von bis zu 15 m/s^3 ermittelt. Inwieweit sich diese Ergebnisse auf Linienbusse mit modernen stufenlosen Automatikgetrieben übertragen lassen, kann aufgrund fehlender Vergleichsversuche mit modernen Fahrzeugen nicht gesagt werden. In [15] wurde festgestellt, dass im innerstädtischen Linienverkehr Beschleunigungen in einer Höhe von bis 2,5 m/s^2 und Verzögerungen im Bereich von 3 m/s^2 auftreten können. Damit ist die maximale Beschleunigung/ Verzögerung (etwa 1,3 m/s^2), bei der das Gleichgewicht im „freien Stand“ noch aufrechterhalten werden kann, überschritten.

Der durchschnittliche Schadenaufwand betrug bei den „Non-crash-events“ ca. 60.000 € und war damit genau so hoch wie die durchschnittliche Schadensumme der „Crash-events“ mit zweispurigen motorisierten Fahrzeugen. Dies zeigt, wie auch andere Studien zuvor, so z.B. [19] und [22], dass „Non-crash-events“ nicht nur häufig vorkommen, sondern auch erhebliche Kosten verursachen. Wie schon in [19] und [22] festgestellt wurde, muss der Fokus der Kraftomnibussicherheit auf eine verbesserte Innenraumgestaltung gelegt werden. Energieabsorbierende Fußböden sowie deutlich besser gepolsterte Halteeinrichtungen und Rückenlehnen von Sitzen sollten neben rutschfesten Bodenbelägen zur Verringerung des Verletzungsrisikos stürzender Businsassen beitragen. Es gibt derzeit keine verbindlichen Vorgaben zum Festhalten bzw. „sicheren Halt“ während der Fahrt von Kraftomnibussen. Weiterführend sollte daher besondere Aufmerksamkeit auf eine erhöhte Sensibilisierung der Busfahrer und übrigen Businsassen auf ältere Passagiere gerichtet werden.

Fahrerassistenzsysteme, die den Fahrer in bestimmten Situationen unterstützen, gewinnen in modernen Fahrzeugen zunehmend an Bedeutung. Ein besonderes Augenmerk sollte daher auch auf die aktive Sicherheit von Kraftomnibussen und damit auf die Vermeidbarkeit bzw. positive Beeinflussbarkeit von Unfällen gerichtet wer-

den. Im Rahmen des Projekts erfolgte neben den Untersuchungen zur Insassensicherheit eine retrospektive Analyse des Sicherheitspotenzials verschiedener Fahrerassistenzsysteme. Für die Analysen standen 213 Kraftomnibusunfälle zur Verfügung. Um Unfälle gänzlich zu vermeiden bzw. deren Folgen zu mindern, sind folgende Ansätze zielführend:

- Ausstattung der Fahrzeuge mit Notbremsassistenten. Dem heutigen Notbremsassistenten (NBA 1) ist mit annähernd 10%, dem „morgigen Notbremsassistenten" (NBA 2) mit 15% das größte Sicherheitspotenzial zuzurechnen. Die ab 11/2013 bzw. ab 07/ 2015 für Neufahrzeuge gültige europäische Verordnung EG 661/2009 trägt daher wesentlich zur Verringerung von Unfällen unter Kraftomnibusbeteiligung bei. Allerdings besteht – und das haben die Literaturrecherche sowie die Analysen der „Non-Crash-Events" aus dem Datenbestand gezeigt – im Hinblick auf die Einführung des Notbremsassistenten vor allem in Linienbussen ein Zielkonflikt zwischen dem Vermeidungspotenzial von Kollisionen und dem hohen Verletzungsrisiko von stürzenden Businsassen durch eine abrupt eingeleitete Verzögerung des Linienbusses. Dagegen stellt der NBA bei Reisebussen keinen Zielkonflikt im Hinblick auf die Insassensicherheit vs. Unfallvermeidungspotenzial dar.
- Um die Kraftomnibuslenker beim Rechtsabbiegen im innerstädtischen Verkehr zu unterstützen, könnten die Fahrzeuge mit einem Abbiegeassistenten, so wie bereits in schweren Lkw in Erprobung, ausgestattet werden. So wären etwa 18 % der Unfälle zwischen Fußgängern/ Radfahrern und Kraftomnibussen positiv beeinflussbar.
- Durch die Ausstattung der Fahrzeuge mit Totwinkelwarnern könnten die Kraftomnibusfahrer über sich von hinten annähernde Fahrzeuge gewarnt werden. Dadurch lassen sich etwa 4 % aller KOM-Unfälle adressieren.
- Durch die Ausstattung aller Fahrzeuge mit dem elektronischen Stabilitätsprogramm (ESP), so wie es bereits von mehreren Herstellern angeboten wird und ab 2014 für Neufahrzeuge der Klasse M3 gesetzlich vorgeschrieben ist, wären etwa 3,5 % aller Busunfälle adressierbar. Allein für die Gruppe der Reisebusse ergäbe sich ein Anteil von immerhin 2,5 %.

Literatur

[1] Statistisches Bundesamt (Hrsg.)Statistisches Jahrbuch 2008 Verkehr Fachserie 8, Reihe 7. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2009

[2] Statistisches Bundesamt (Hrsg.) Unfälle von Kraftomnibussen 2007. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2008

[3] European Commission 5th Framework Enhanced Coach and Bus Occupant Safety (ECBOS) – Final Published Report, 2003

[4] Anderson, J., et al.: Influence of Passengers During Coach Rollover, Paper No. 216. 18. ESV Konferenz Nagano (J), 2003

[5] Belingardi, G., et al.: Multibody Analysis of M3 Bus Rollover: Structural Behavior and Passenger Injury Risk, Paper No. 288. 18. ESV Konferenz Nagano (J), 2003

[6] Belingardi, G., et al.: Coach Passenger Injury Risk during Rollover: Influence of the Seat and the Restraint System, Paper No. 05-0439. 19. ESV Konferenz Giugno (USA), 2005

[7] Vincze-Pap, S., et al.: Real and Simulated Crashworthiness Tests on Buses, Paper No. 05-0233. 19. ESV Konferenz Giugno (USA), 2005

[8] Bach, P., et al. Crash tests with coaches. ATZ Worldwide, 107, No. 7/8

[9] Walton, A., et al. Preventing passenger ejection from buses, coaches and minibuses Cranfield Impact Centre, 2006

[10] Matolcsy, M.: The Severity of Bus Rollover Accidents, Paper No. 07-0989. 20. ESV Konferenz Lyon (F), 2007

[11] Vincente Corral, T., et al.: Seats and their Anchorages´ Strength in Coaches under Rollover, Paper No. F2008-08-145. 32. FISITA Kongress München (D), 2008

[12] Blai, S.: New bus optimized structure to improve the roll-over test (ECE R66) using structural Foam with strength steel. 2. EHTC Strasbourg (F), 2008

[13] Bach, P.: Sicherheit insbesondere von Doppeldeckerreisebussen – Struktursteifigkeit des Aufbaus und Gurtanlegeverhalten. 5. DEKRA-Symposium „Sicherheit von Nutzfahrzeugen“ Neumünster (D), 2008

[14] Elitok, K.: An Investigation on Roll-Over Crashworthiness of an Intercity Coach, Influence of Seat Structure and Passenger Weight. 9th International LS-DYNA® Users Conference. Michigan (USA), 2006

[15] Walter, B. : Stand- und Sitzsicherheit im innerstädtischen Linienverkehr – Eine Untersuchung der tolerierbaren Beschleunigungen. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik. Verlag Information Ambs Gmbh. Kippenheim, 12/ 1999

[16] Kirk, A., et al.: Passenger Casualties in Non-Collision Incidents on Buses and Coaches in Great Britain, Paper No. 296. 18. ESV Konferenz Nagano (J), 2003

[17] Albertsson, P., et al.: Is there a pattern in European bus and coach incidents? A literature analysis with special focus on injury causation and injury mechanism. Accident Analysis & Prevention 37, 2005, S. 225-233

[18] Albertsson, P.: Occupant Casualties in Bus and Coach Traffic. Medical Dissertation No. 951. Umeå University, 2005

[19] Halpern, P., et al.: Non-collision injuries in public buses: a national survey of a neglected problem. Emergency Medicine Journal 22, 2005, S. 108-110

[20] Palacio, A., et al.: Non-collision injuries in urban buses- Strategie for prevention. Accident Analysis & Prevention 41, 2009, S. 1-9

[21] National Transportation Safety Board (NHTSA). Highway Special Investigation Report on Bus Crashworthiness Issues. Washington, 1999

[22] Gwehenberger, J., et al.: Der Kraftomnibus im aktuellen Unfallgeschehen. 43. MAS Fachtagung. München, 2001

[23] Nicklisch, F., et al.: Sicherheitsmaßnahmen bei Reisebussen. 4. DEKRA-Symposium „Sicherheit von Nutzfahrzeugen". Neumünster (D), 2004

[24] Griffiths, M., et al.: Three Point Seat Belts on Coaches – The First Decade in Australia, Paper No. 05-0017. 19. ESV Konferenz. Giugno (USA), 2005

[25] Elias, J., et al.: Large School Bus Safety Restraint Evaluation – Phase II, Paper No. 313. 18. ESV Konferenz. Nagano (J), 2003

[26] McCray, L., et al.: Child Safety Research in School Buses, Paper No. 05-325. 19. ESV Konferenz. Giugno (USA), 2005

[27] Bus Industry Conferderation. Information Brief on Bus Vehicle Safety. Australia, 2006

[28] Safety Institute of Australia Inc.. Improving Safety management in Australia´s Bus industry Australia, 2008

[29] ECE-Regelung 66 Revision 1: Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Kraftomnibussen hinsichtlich der Festigkeit ihres Aufbaus. Ergänzung 1, November 2005

[30] DEKRA Unfallforschung. Untersuchungen zur inneren Sicherheit von Kraftomnibussen. FAT Schriftenreihe Nr. 122. Frankfurt am Main, 1995

[31] Niewöhner, W., Berg, A.: Überblick und ausgewählte Unfallszenarien des Unfallgeschehens mit Bussen in Deutschland und Europa. 5. DEKRA-Symposium „Sicherheit von Nutzfahrzeugen". Neumünster, 2006

[32] Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Unfälle von Kraftomnibussen 2008. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2009

[33] Allianz Pro Schiene e.V. (Hrsg.): Mit Sicherheit Bahn. http://www.allianz-pro-schiene.de/publikationen/mit-sicherheit-bahn/mit-sicherheit-bahn.pdf. Berlin

[34] Malczyk, A.: Schwerstverletzungen bei Verkehrsunfällen. Fortschritt-Berichte Reihe 12, Nr. 722. VDI Verlag GmbH. Düsseldorf, 2010

[35] Kramer, F.: „Passive Sicherheit von Kraftfahrzeugen" 2. überarbeitete Auflage. Vieweg & Sohn Verlag. Wiesbaden, 2006

[36] Appel, A., Krabbel, G.: Unfallforschung, Unfallmechanik und Unfallrekonstruktion. Verlag Information Ambs GmbH. Kippenheim, 1994

[37] Kühn, M., Hummel, T., Bende, J.: „Benefit Estimation of Advanced Driver Assistance Systems for Cars Derived from Real-Life Accidents". 21. ESV Konferenz, Paper No. 09-0153

[38] Winner, H., Hakuli, S., Wolf, G. (Hrsg): Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Vieweg + Teubner Verlag. Wiesbaden, 2010

[39] Hoepke, E., Breuer, S. (Hrsg): Nutzfahrzeugtechnik. Vieweg + Teubner Verlag. Wiesbaden, 2010

[40] Kühn, M. Festlegung eines sinnvollen Schwellenwertes für die Auslösung der Speicherung des Unfalldatenspeichers (UDS) bei BVG-Bussen. Studienarbeit TU-Berlin. Berlin, 1998

[42] Langwieder, K., Danner, M., Hummel, T.: Collision Types an characteristics of bus accidents. 10. International Technical Conference on Experimental Safety Vehicles. Oxford, 1985

[43] Langwieder, K., Hummel, T.: Unfälle von Omnibussen – Auftretensformen und die Folgen für die Businsassen. Der Nahverkehr 1/88. Alba Fachverlag. Düsseldorf, 1988

[44] http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Mercedes-Benz_Integro_100_1716.jpg&filetimestamp=20050929091812, download: Februar 2011

[45] http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei: Tourino_100_2649.jpg&filetimestamp=20051126204023, download: Februar 2011

[46] http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:EVAG_ 4651.jpg&filetimestamp=20101021142655. download: Februar 2011

[47] http://media.daimler.com/dcmedia/0-921-1151281-49-1151492-1-0-0-0-0-0-11702-614316-0-1-0-0-0-0-0.html. Februar 2011

[48] Genesis-Online Datenbank, Bevölkerung: Deutschland, Stichtag, Altersjahre März, 2011 https://www.genesis.destatis.de/genesis/online;jsessionid=3FFE1B55AE40276302513618F15C2DC4.tomcat_GO_1_2?operation=statistikAbruftabellen&levelindex=0&levelid=1299140703543&index=2

[49] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Mobilität in Deutschland 2008, Ergebnisbericht. Struktur – Aufkommen – Emissionen – Trends. Bonn, 2010

[50] Verordnung (EG) Nr. 661/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juli 2009 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen, Kraftfahrzeuganhängern und von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge hinsichtlich ihrer allgemeinen Sicherheit

Anhang 2: Vergleich FAT, ECBOS und UDB

Gegenüberstellung der Merkmale und Merkmalsausprägungen

Tabelle 1 Unterschiede der Merkmalsausprägungen der ECBOS und FAT Erfassung im Vergleich zu Euska/ZUF

0=nicht vorhanden

	ECBOS	FAT	EUSKA/ZUF
Allgemeines			
Wochentag			0
1 Umfeld			
Merkmal / Merkmalsausprägung			
Lokation innerorts/außerorts			
Straßentyp			
Anzahl der Richtungsfahrbahnen		0	0
Material der Fahrbahn			
wechselnder Belag	0		0
Fahrbahnbeschaffenheit			
Rollsplit	0		0
u-Splitt	0		0
Wetterkonditionen	Textfeld	0	
Nebel			
Wind			
Blendung		0	
Lichtverhältnisse			
Straßenbeleuchtung			0
Steigung / Gefälle in ...%	0		0
Sichtbehinderungen für den Busfahrer	0		0
keine	0		0
parkende Fahrzeuge	0		0
wartende, vorbeifahrende Fahrzeuge	0		0
Strauchwerk, Bäume	0		0
Gebäude	0		0
Sonstige	0		0
2 Unfalldaten			
Merkmal / Merkmalsausprägung			
Anzahl der Businsassen			
Anzahl der leicht Verletzten Businsassen			
Anzahl der schwer verletzten Businsassen			
Anzahl tödliche Verletzter im Bus			
Wer hatte Vorrang?			
Hauptschuldiger			
Mitschuld des Busfahrers?			

3 Fahrzeugdaten - Bus			
Merkmal / Merkmalsausprägung			
Nationalität (Registration)		0	
Fahrzeugart			
Hersteller			
Typ	Textfeld		
Reisebus mit Gelenk			0
Hochdecker			0
Superhochdecker mit Unterflurcockpit			0
Kategorie		0	
Baujahr			
technische Mängel			
Links-/Rechtslenker		0	0
Leergewicht (kg)		0	
Geschätzte Masse des Busses inklusive Insassen und Gepäck			0
Fahrzeuglänge (mm)		0	0
Fahrzeugbreite (mm)		0	0
Fahrzeughöhe (mm)		0	0
Türpositionen	0		0
vorne	0		0
mittig	0		0
hinten	0		0
Fahrertür	0		0
sonstige	0		0
Anzahl der Stehplätze			0
Anzahl der Sitzplätze			
Art der Sitze		0	0
Aufpolsterung		0	0
Sicherheitsgurte			
Art der Sicherheitsgurte	Textfeld	0	
Kopfstützen Fahrer-, Beifahrer, Fahrgastsitze	0		0
Alter der Fahrerlaubnis zur Personenbeförderung			
Alkohol (‰)			
Drogen / Medikamente			
Geschwindigkeitsbeschränkung für Busse (km/h)			
Fahrgeschwindigkeit (km/h)			
Kollisionsgeschwindigkeit (km/h)	0		
Nachkollisionäre Geschwindigkeit (km/h)		0	0
Geschwindigkeitsänderung (km/h)		0	0
EES (km/h)		0	
Richtung des Impulses	(°)		
prinzipielle Richtung der Kraft [°]		0	0
Bus entspricht ECE-R66 Richtlinien		0	0
Bus entspricht ECE-R80 Richtlinien		0	0
Kollisionsart	im Text		
Fahrzeugbrand			
Reifen	0		0
Gepäck	0		0
Innenausstattung	0		0
Überschlag	(°)		
nach links	0		0
nach rechts	0		0
Endlage des Busses			
Busbewegung mit Richtungsänderung		0	0
Busbewegung ohne spezif. Richtungsänderung		0	0
Schleudern vor dem Unfall		0	
Anfahren		0	0
Anhalten / Bremsung			
Teilbremsung	0		0
Vollbremsung	0		0
Rückwärtsfahrt		0	0/Skizze

Rückwärtsfahrt		0	0/Skizze
Fahrzeugbeschädigungen (Lage)	Textfeld	0	
Beschädigungsgrad	Textfeld	0	
Beschädigungsgrad linke Seite	0		0
Beschädigungsgrad rechte Seite	0		0
max. Deformationstiefe in cm	0		0
Deformationen an Sitzen und Teilen der Inneneinrichtung	Textfeld		0
Beschädigungen im Fahrer/Begleiterbereich	0		0
WSS/Seitenscheiben	0		0
Armaturenbrett	0		0
Lenkrad/Lenksäule	0		0
Fuß-/Beinraum	0		0
Zubehör(Radio, Funkgerät, o.ä.)	0		0
Bedienelemente	0		0
Sitz / Sitzbefestigung	0		0
Rückhaltesystem /-befestigung	0		0
Beschädigungen im Fahrgastbereich	0		0
Sitz / Sitzbefestigung	0		0
Scheiben	0		0
Haltevorrichtungen	0		0
Seitenwände	0		0
Boden	0		0
Dach	0		0
Sonstiges	0		0
Beschädigungsursachen (inkl. Ausprägungen)	0		0

4 Unfallgegner - Fahrzeugdaten

Merkmal / Merkmalsausprägung			
Beteiligtennummer			
Fahrzeugart/-typ			
Links-/Rechtslenker		0	0
Nationalität (Registration)		0	
Hersteller			
Fahrzeugmasse zum Zeitpunkt der Kollision (kg)			0
Art der Kollision mit dem Bus			
Geschwindigkeitsbeschränkung (auf das Fahrzeug bezogen)		0	
Fahrgeschwindigkeit (km/h)			
vorkollisionäre Geschwindigkeit (km/h)			
Differenzgeschwindigkeit		0	0
nachkollisionäre Geschwindigkeit (km/h)		0	0
Geschwindigkeitsänderung (km/h)		0	0
EES (km/h)		0	
Richtung des Impulses (°)		0	0
prinzipielle Richtung der Kraft [°]		0	0
Schleudern vor dem Unfall		0	
Fahrzeugbeschädigungen		Textfeld	

5 Personendaten/Verletzungen (nur für verletzte Businsassen)			
Merkmal / Merkmalsausprägung			
Person Nr.			
Art des Insassen			
Alter			
Geschlecht			
Person mit Behinderung		0	
Aktion der Person zum Unfallzeitpunkt		0	0
Position der stehenden Person im Bus		0	0
Sitzreihe (nur sitzende Personen)			
Ober/Unterdeck		0	
Sitzposition (nur sitzende Personen)			
Sitz - Ausrichtung		0	0
Benutzung / Art des Sicherheitsgurtes		0	
Gegenstand, der die Hauptzverletzung erzeugte			0
MAIS Kopf oder Hals		0	AIS
MAIS Gesicht		0	AIS
MAIS Brustkorb		0	AIS
MAIS Bauch- oder Beckenbereich		0	AIS
MAIS Extremitäten		0	AIS
MAIS äußerlich		0	AIS
ISS (Injury Severity Scale/Gesamtverletzungsschwere)		0	0
Nr. der Kollision, die die Hauptverletzung hervorrief.		0	0
Verletzungsursachen im Fahrer/Begleiterbereich	0		0
WSS/Seitenscheiben	0		0
Armaturenbrett	0		0
Lenkrad/Lenksäule	0		0
Fuß-/Beinraum	0		0
Zubehör(Radio, Funkgerät, o.ä.)	0		0
Bedienelemente	0		0
Sitz / Sitzbefestigung	0		0
Rückhaltesystem /-befestigung	0		0
andere Businsassen	0		0
Sonstiges (Gepäckstücke o.ä.)	0		0
Verletzungsursachen im Fahrgastbereich	0		0
Sitz / Sitzbefestigung	0		0
Scheiben	0		0
Haltevorrichtungen	0		0
Seitenwände	0		0
Boden	0		0
Dach	0		0
andere Businsassen	0		0
Sonstiges (Gepäckstücke o.ä.)	0		0
Verletzungsursache außen	0		0
Überrollen durch eigenes Fahrzeug	0		0
Überrollen durch femdes Fahrzeug	0		0
Straße	0		0

6 Verfügbarkeit von generellen Informationen			
Merkmal / Merkmalsausprägung			
Bilder vom Unfallort vorhanden		0	allgemein `Bilder`
Bilder des Fahrzeuges vorhanden		0	allgemein `Bilder`
Bilder des Fahrzeuginnenraumes vorhanden		0	allgemein `Bilder`
Unfallskizze vorhanden		0	kein Merkmal
Rekonstruktion vorhanden		0	
Insassenbewegung ermittelbar		0	0
Gutachten		0	
Tabellen		0	0
Diagramme		0	0

In der Auswertung enthalten sind:

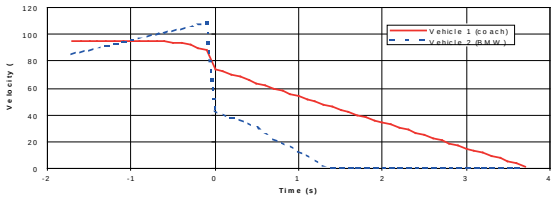
7 Beschreibung des Unfallablaufes - Expertise

8 Ergebnisse PC Crash

9 Tabellen

10 Diagramme

Bsp.: v/t Diagramm



11 Bilder

12 Schlußfolgerung

13 Anlagen

Anhang 2: Seite 5/5